

Н.Г. Афендиков /к.т.н./, А.В. Шендрик  
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

*Приведены результаты производственных исследований надежности девяти горнопроходческих комбайнов КСП-32 в условиях восьми шахт ПО «Макеевуголь» при проведении подготовительных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях. С использованием аппарата теории вероятностей установлены математические ожидания, дисперсии, среднеквадратические отклонения, а также законы плотности вероятности времени наработки до отказов и времени восстановления.*

**Ключевые слова:** горнопроходческие комбайны избирательного действия, надежность, наработка до отказа, время восстановления.

### Постановка проблемы

Комбайновый способ проходки горных выработок в шахтах и рудниках является более прогрессивным в сравнении с буровзрывным. Поскольку он позволяет совместить во времени операции, связанные непосредственно с разрушением и погрузкой горной массы. Однако эффективность применения проходческих комбайнов во многом определяется их надежностью.

Высокие показатели надежности проходческих комбайнов избирательного действия, как известно, обеспечиваются на нескольких этапах – при проведении научно-исследовательских и проектно-конструкторских работах, при заводском изготовлении и при эксплуатации. Для разработки рекомендаций по повышению надежности на этих этапах необходимо знание статистических показателей надежности, полученных в реальных шахтных условиях.

Исследования в области эксплуатации проходческих комбайнов избирательного действия показали [1], что среди всех систем горных машин гидросистемы являются наименее надежными, и значительное количество простоев горной техники происходит по причине отказов элементов гидроприводов.

Также известно, что за весь срок эксплуатации проходческого комбайна гидросистема как минимум один раз подвергается капитальному ремонту или замене наиболее нагруженных узлов гидросистемы. Поэтому для повышения качества и надежности комбайнов, в первую очередь, очень важно получение статистических оценок показателей надежности гидравлических приводов.

### Анализ последних исследований и публикаций

Для оценки фактического технического состояния и контроля качества проходческих комбайнов (их основных систем и подсистем) необходимы данные по показателям надежности. В соответствии с [2] нормативными документами, установлен перечень параметров, характеризующих надежность машин (безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность), параметров безопасности оборудования (ресурс, срок службы, наработка до капитального ремонта).

В связи с тем, что на надежность машин оказывает влияние большое число конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, рассчитать ее практически невозможно. Надежность можно оценить только с использованием теории вероятностей и математической статистики [3], причем показатели надежности при этом должны [4] определяться за период не менее двух лет эксплуатации в реальных шахтных условиях.

Основными показателями надежности являются вероятность безотказной работы, т. е. вероятность того, что в заданный промежуток времени отказ изделия не возникает. Оценка фактических показателей надежности проходческих комбайнов производилась в работах [5,6,7] при эксплуатации комбайнов типов ГКПС, КП-20 и КП-21 в условиях Кузнецкого угольного бассейна и на шахтах ПО «Гуковуголь». Работ по фактическому определению показателей надежности проходческих комбайнов, оснащенных мощными приводами, при работе в горно-геоло-

гических и горнотехнических условиях шахт Донецкого бассейна проведено недостаточно. Поэтому в настоящей работе поставлена цель исследований для восполнения этого пробела.

**Цель (задачи) исследования**

Целью настоящего исследования является получение статистических данных показателей надежности элементов систем проходческих комбайнов избирательного действия при их эксплуатации. Показатели надежности необходимы для определения рациональной периодичности проведения технических обслуживаний и ремонтов, а также определения необходимого количества и номенклатуры запасных частей для оперативного восстановления проходческих комбайнов после отказов.

Для достижения поставленной цели получения информации о показателях надежности проходческих комбайнов избирательного действия типа КСП-32 в настоящей работе поставлены следующие задачи: проанализировать данные об отказах элементов систем проходческих комбайнов в реальных шахтных условиях, полученных из регистраций, выполненных диспетчерскими и электромеханическими службами шахт; выполнить специальные выборочные наблюдения при эксплуатации комбайнов для сравнения и критического анализа данных с данными из шахт.

**Основной материал исследования**

Для получения полных и достоверных данных о надежности проходческих комбайнов и для разработки на основе этих данных эффективных мер по повышению надежности в трех периодах – при проектировании, изготовлении и при эксплуатации оборудования, необходимы сведения о количестве и характере отказов, возникших в рассматриваемое время эксплуатации. Поэтому в соответствии с работами [8,9] запланирован пассивный эксперимент при эксплуатации проходческих комбайнов в шахтных условиях.

Входными контролируемыми, но не управляемыми факторами при проведении этих экспериментов являлись следующие параметры: тип, крепость и абразивность горных пород, сечения и длины проводимых выработок. Выходными факторами приняты значения наработок до отказов, количество отказов и значения времени восстановления.

Задача планирования сводилась к определению репрезентативной выборки комбайнов, обеспечивающей достоверность полученных результатов для совокупности рассматриваемого

типа комбайнов, а также к определению оптимальной организации сбора информации и выбору методов обработки результатов наблюдений.

Основным преимуществом данных об отказах, полученных в шахтных условиях эксплуатации, является то, что в этом случае наиболее полно учитываются горно-геологические условия работы комбайнов и достаточно полно учитывается влияние на надежность режимов работы, влияние конструкции, технологии изготовления машин и качество управления при их работе.

В соответствии с планом проведения исследований отказы элементов механических и гидравлических систем подразделялись на: ремонтируемые (замена резиновых уплотнений, манжет, очистка сапунов, заливка и замена масла редукторов и рабочей жидкости гидросистемы до требуемого уровня, очистка сапунов), неремонтируемые (замена элементов фильтров, гибких рукавов высокого давления) и условно неремонтируемые (ремонт гидроцилиндров, гидрозамков, обратных клапанов, предохранительных клапанов и других элементов гидросистем, которые не ремонтируются в подземных условиях, но ремонтируются после выдачи на дневную поверхность в специализированных ремонтных мастерских или на ремонтных заводах). Замены изношенных и поломанных резцов на исполнительных органах комбайнов в данном исследовании не фиксировались как отказы.

Статистическая информация получена из регистраций выходов из строя комбайнов КСП-32 диспетчерскими и электромеханическими службами шахт ПО «Макеевуголь», которые производились на восьми предприятиях (табл. 1).

Табл. 1. Шахты ПО «Макеевуголь», на которых получены статистические данные о надежности комбайнов КСП-32

№ п/п	Наименование шахты	Заводской № комбайна КСП-32	Длина проведенных выработок на шахте, м
1	Имени В.М. Бажанова	263	2122
2	Калиновская-Восточная	268	885
3	Чайкино	336	962
4	Холодная балка	323	1406
5	Имени С.М. Кирова	293	1445
6	Иловайская	295	1166
7	Бутовка	246	3119
8		123	1405
9	Северная	317	2363

В диспетчерских журналах и электромеханических журналах учета отказов фиксируется время всех остановок проходческого комбайна, их причины и проведенные работы.

Следует отметить, что записанная в журналах диспетчерских и электромеханических служб информация в большой степени зависит от добросовестности и квалификации обслуживающего ремонтного персонала. Поэтому в настоящей работе проводились и специально контролируемые наблюдения при эксплуатации проходческих комбайнов. Затем данные, полученные при специальных наблюдениях, и данные, полученные из журналов шахт, сравнивались между собой для установления их сходимости.

На рис. 1 представлены графики, на которых приведены три периода эксплуатации комбайнов – А, Б и В. Период А обозначает время, при котором рассматриваемые машины уже работали, но пассивный эксперимент с ними еще не проводился. К таким машинам относятся комбайны № 1, № 6, № 7 и № 9. Период Б обозначает время, при котором производились наблюдения за работой всех комбайнов от № 1 до № 9. Период В обозначает время, при котором наблюдения за работой комбайнов уже прекратили, но проходческие комбайны продолжали работать некоторое время. К таким комбайнам относятся машины № 1, № 6 и № 7.

В связи с тем, что неучет времени работы комбайнов в периодах А и В приводит к снижению достоверности показателей их фактической надежности, в работе использован математический аппарат [10,11,12], который позволяет учитывать распределение выборок при цензурировании справа (учет работы комбайнов до начала пассивного эксперимента) и при цензурировании слева (учет работы комбайнов после окончания пассивного эксперимента).

Во время сбора статистических данных по

надежности работы девяти комбайнов КСП-32 на шахтах, приведенных в табл. 1, при суммарной проходке более 13,5 км горных выработок в различных горно-геологических условиях, выявлены различные неисправности исполнительных органов и приводов исполнительных органов, питателей, конвейеров, ходовых частей, маслобака, магистральных трубопроводов, систем управления, подсистем подъема, поворота и телескопа исполнительных органов, а также корпусов комбайнов.

Результаты этих наблюдений по выявлению неисправностей комбайнов КСП-32 приведены в табл. 2.

В табл. 3 приведены сведения о количестве отказов подсистем и групп подсистем девяти проходческих комбайнов за время работы более двух лет. При этом в таблице разделены данные об отказах по механическим и гидравлическим составляющим подсистем.

Из данных, приведенных в табл. 3, следует, что число отказов гидравлических подсистем составляет 78 % от всех отказов, зафиксированных при работе девяти проходческих комбайнов. Число отказов механических систем при этом составляет 22 %. Следует отметить, что в этих данных не учитывались отказы электрических систем комбайнов. Такое распределение числа отказов обуславливается двумя факторами. Во-первых, в проходческом комбайне типа КСП-32 количество гидравлических подсистем, узлов и элементов значительно больше, чем механических и электрических подсистем, узлов и элементов. Во-вторых, надежность гидравлической системы комбайна значительно ниже, чем надежность механической системы.

Наибольшее число отказов механических систем приходится на конструкции конвейеров, а наибольшее число отказов гидравлических систем приходится на подсистемы поворота, подъема и телескопа исполнительного органа.

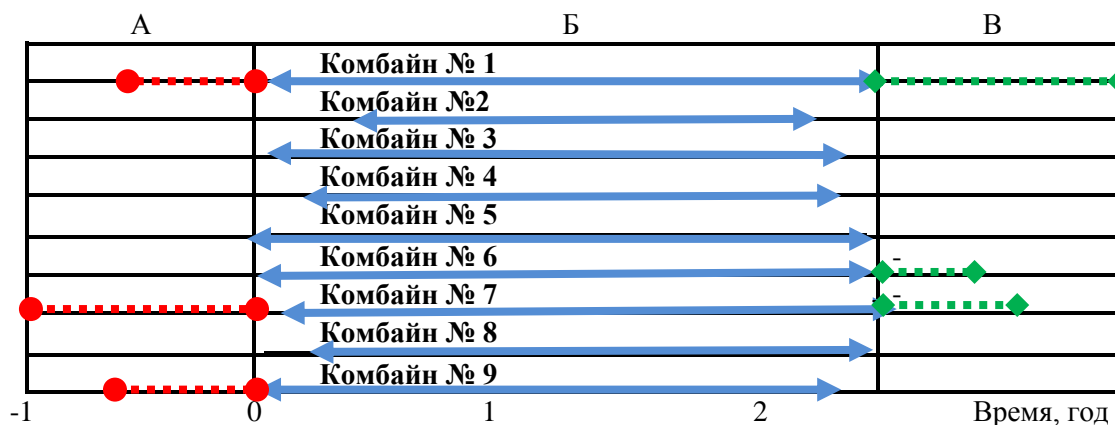


Рис. 1. Временные графики работы исследованных проходческих комбайнов в 3-х периодах: А – до проведения пассивного эксперимента; Б – во время проведения эксперимента; В – после окончания эксперимента

Табл. 2. Выявленные неисправности комбайнов КСП-32

№ п/п	Виды неисправностей	№ п/п	Виды неисправностей
1	2	3	4
Исполнительные органы и приводы исполнительных органов			
1	Разрушение резцедержателей режущей коронки	5	Ослабление болтовых соединений корпусов исполнительного органа
2	Выход из строя форсунок системы орошения	6	Снижение уровней смазки в отсеках редуктора
3	Выход из строя двигателя исполнительного органа (2ЭДКОФВ 250LB4У2,5)	7	Ослабление затяжки винтовой стяжки клиновой опоры под электродвигателем исполнительного органа
4	Течь масла через уплотнения на выходном валу исполнительного органа	8	Выход из строя зубчатых колес и (или) подшипников редуктора исполнительного органа
Гидропривод нагребующих лап			
9	Течь гидроцилиндров подъема питателя КСП-32.36.00.000А с гидрозамком	12	Поломка гибких листов конвейера
10	Засорение сапунов редукторов конвейера	13	Выход из строя электродвигателя конвейера (ЗВР160S4)
11	Засорение сапунов редукторов питателя	14	Ослабление болтовых соединений секций стола питателя
Гидропривод подъема-опускания стола питателя			
15	Снижение уровней смазки в редукторах питателя	17	Выход из строя гидроцилиндров питателя КСП-32.36.00.000В
16	Ослабление крепления гидромоторов питателя	18	Выход из строя гидромотора КСП-32.43.05.200 на питателе
Конвейеры			
19	Поломка редукторов приводов конвейеров	21	Выход из строя гидроблока конвейера КСП-42.09.46.000
20	Выход из строя гидроцилиндра подъема конвейера КСП-32.40.01.000 А	22	Выход из строя гидроцилиндра поворота конвейера КСП-33.03.01.000А
23	Выход из строя траков	28	Выход из строя зубчатых передач и подшипников редукторов
24	Заклинивание опорных катков ходовых тележек	29	Недопустимое состояние качества смазки в редукторах
25	Снижение уровней смазки в редукторах	30	Снижено натяжение траковой цепи
26	Выход из строя винтов натяжения	31	Износ кулачков на тормозах
27	Ослабло крепления ходовых тележек	32	Ослабло крепления катков
Гидроприводы хода правые и левые			
33	Выход из строя гидромотора КСП-32.43.05.200 на ходовой тележке	36	Выход из строя гидроблока хода КСП-32.09.01.100А
34	Ослабление крепления гидромоторов КСП-32.43.05.200	37	Выход из строя гидроблока подпора хода КСП-33.09.04.000
35	Выход из строя гидроблока тормозного КСП-32.37.04.000		
Гидроагрегат КСП-33.09.01.000 В, система управления, трубопроводы			
38	Выход из строя электродвигателя маслостанции (2ЭДКОФ 250М4У2,5)	44	Выход из строя гидроблока управления КСП-32.37.10.000
39	Выход из строя насосов шестеренных НШ50М-4 и НШ10-3 на приводе маслонасосов КСП-33.09.02.000	45	Выход из строя гидроблока тормозной КСП-32.37.04.000
40	Выход из строя устройства управления КСП-33.20.00.000	46	Выход из строя установки для заправки масла (АИУ90L4У2,5)
	Выход из строя гидроблока предохранительно-измерительного КСП-32.24.09.000А	47	Течь масла в соединениях металлических трубопроводов и рукавов высокого давления (РВД)

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
41	Течь масла по рукавам высокого давления (РВД)	48	Выход из строя фильтров 2ФГА-32.00.000-25
42	Ослабление крепления редуктора маслонасосов	49	Выход из строя насоса шестеренчатого НШ 10-3
43	Засорение сапуна 20, ОСТ2-Г45-74		
Подсистемы поворота, подъема и телескопа исполнительного органа			
50	Выход из строя гидроцилиндра подъема исполнительного органа КСП-32.16.00.000А	54	Выход из строя гидрозамка одностороннего с дросселем и обратным клапаном КП-32.00.01.200Б
51	Выход из строя гидроцилиндра телескопа КСП-32.33.00.000А	55	Выход из строя переключателя КСП-32.37.00.300
52	Выход из строя гидроблока предохранительно-измерительный КСП-32.24.09.000А	56	Выход из строя гидроблока конвейера КСП-22.29.05.000
53	Выход из строя гидроблока исполнительного органа КСП-32.09.04.000М	57	Выход из строя гидроцилиндра поворота исполнительного органа КСП-32.19.04.000А
Гидропривод опор			
58	Ослабление крепления станции управления и гидробака	62	Ослабление соединения рамы корпуса комбайна с задней рамой
59	Ослабление крепления нижних крышек гидроопор	63	Увеличение люфта – качания верхней поворотной рамы исполнительного органа
61	Выход из строя гидроопор	64	Выход из строя гидроблока КСП-32.37.10.000

Эти подсистемы являются наиболее нагруженными из всех систем проходческого комбайна. Следует отметить, что в число отказов, приведенных в табл. 3, включены как нетрудоемкие в части восстановления отказы, такие

как засорение сапунов редукторов, снижение уровней смазки в редукторах, течь рабочей жидкости из соединений трубопроводов, так и отказы, для устранения которых требуются значительные трудовые и материальные затраты.

Табл. 3. Сведения о количестве отказов подсистем проходческих комбайнов КСП-32

Наименование подсистем (групп подсистем) комбайнов	Механическая составляющая подсистем (групп подсистем) комбайнов		Гидравлическая составляющая подсистем (групп подсистем) комбайнов	
	количество отказов	%	количество отказов	%
Исполнительные органы и привода исполнительного органа	35	23	-	-
Гидропривод нагребающих лап	-	-	86	16
Гидропривод подъема опускания стола питателя	-	-	69	13
Механическая составляющая правых и левых ходовых частей	51	32	-	-
Конвейеры	72	45	43	8
Гидроприводы хода правые и левые	-	-	45	8
Гидроагрегат КСП-33.09.01.000 В, система управления, трубопроводы	-	-	82	15
Подсистемы поворота, подъема и телескопа исполнительного органа	-	-	152	28
Гидропривод опор	-	-	67	12
Всего:	158	100	544	100
Процент отказов механической и гидравлической систем от всех отказов комбайнов	-	22	-	78

В их число входит также замена гидродомкратов и гидромоторов после износных отказов. Данные средних наработок между отказами и данные среднего времени восстановления приведены в табл. 4.

Эксплуатационные наблюдения за механической частью проходческих комбайнов КСП-32 и гидравлическими приводами показали, что распределения наработок на отказ и время восстановления гидравлических подсистем подчиняются экспоненциальному закону распределения (табл. 5 и рис. 2), на котором приведены функции плотности распределений наработок между отказами и функции плотности времени восстановления. Из данных табл. 5 и рис. 2 следует, что преобладающим законом плотности распре-

деления времени наработки на отказы гидравлических подсистем (групп подсистем) проходческих комбайнов КСП-32 является экспоненциальный закон.

Экспоненциальный закон распределения свидетельствует о преобладании внезапных отказов с небольшими значениями времени безотказности над износными отказами со значительными значениями времени безотказности.

Следует отметить, что и плотности распределения времени восстановления также подчиняются экспоненциальным законам, которые характеризуются значительным преобладанием частоты небольших значений времени восстановления над длительными значениями.

Табл. 4. Данные о средних наработках на отказ и о средних затратах времени на восстановление

Наименование подсистем (групп подсистем) комбайнов	Механическая составляющая подсистем (групп подсистем) комбайнов		Гидравлическая составляющая подсистем (групп подсистем) комбайнов	
	средняя наработка на отказ, $T_{cp}$	среднее время восстановления, $\tau_{cp}$	средняя наработка на отказ, $T_{cp}$	среднее время восстановления, $\tau_{cp}$
Исполнительный орган и привод исполнительного органа	2002	15,1	-	-
Гидропривод нагребающих лап	-	-	813	4,2
Гидропривод подъема-опускания стола питателя	-	-	1014	3,3
Конвейеры	1372	6,5	1627	4
Механическая составляющая правых и левых ходовых частей	972	7,0	-	-
Гидроприводы хода правые и левые	-	-	1555	7
Гидроагрегат КСП-33.09.01.000 В, система управления, трубопроводы	-	-	853	4,5
Подсистема поворота, подъема и телескопа исполнительного органа	-	-	460	5,2
Гидропривод опор	-	-	1044	3,5

Табл. 5. Результаты статистической обработки информации о надежности гидравлических подсистем (групп подсистем) проходческих комбайнов типа КСП-32

Наименование подсистем (групп подсистем) проходческих комбайнов	Статистические значения параметров безотказности		Статистические значения параметров восстановления	
	закон распределения	дисперсия, $\sigma^2$	закон распределения	дисперсия, $\sigma^2$
Гидропривод подъема-опускания стола питателя	экспоненциальный, $P(t)=\exp(-986 \cdot 10^{-6} \cdot t)$	$1,03 \cdot 10^6$	экспоненциальный, $P(t)=\exp(-0,303 \cdot t)$	10,9
Гидроагрегат КСП-33.09.01.000 В, система управления, трубопроводы	экспоненциальный, $P(t)=\exp(-117 \cdot 10^{-5} \cdot t)$	$0,73 \cdot 10^6$	экспоненциальный, $P(t)=\exp(-0,222 \cdot t)$	20,25
Подсистемы поворота, подъема и телескопа исполнительного органа	экспоненциальный, $P(t)=\exp(-2,17 \cdot 10^{-3} \cdot t)$	$0,21 \cdot 10^6$	экспоненциальный, $P(t)=\exp(-0,192 \cdot t)$	27
Гидроприводы хода правые и левые	экспоненциальный, $P(t)=\exp(-643 \cdot 10^{-6} \cdot t)$	$2,43 \cdot 10^6$	экспоненциальный, $P(t)=\exp(-0,143 \cdot t)$	49

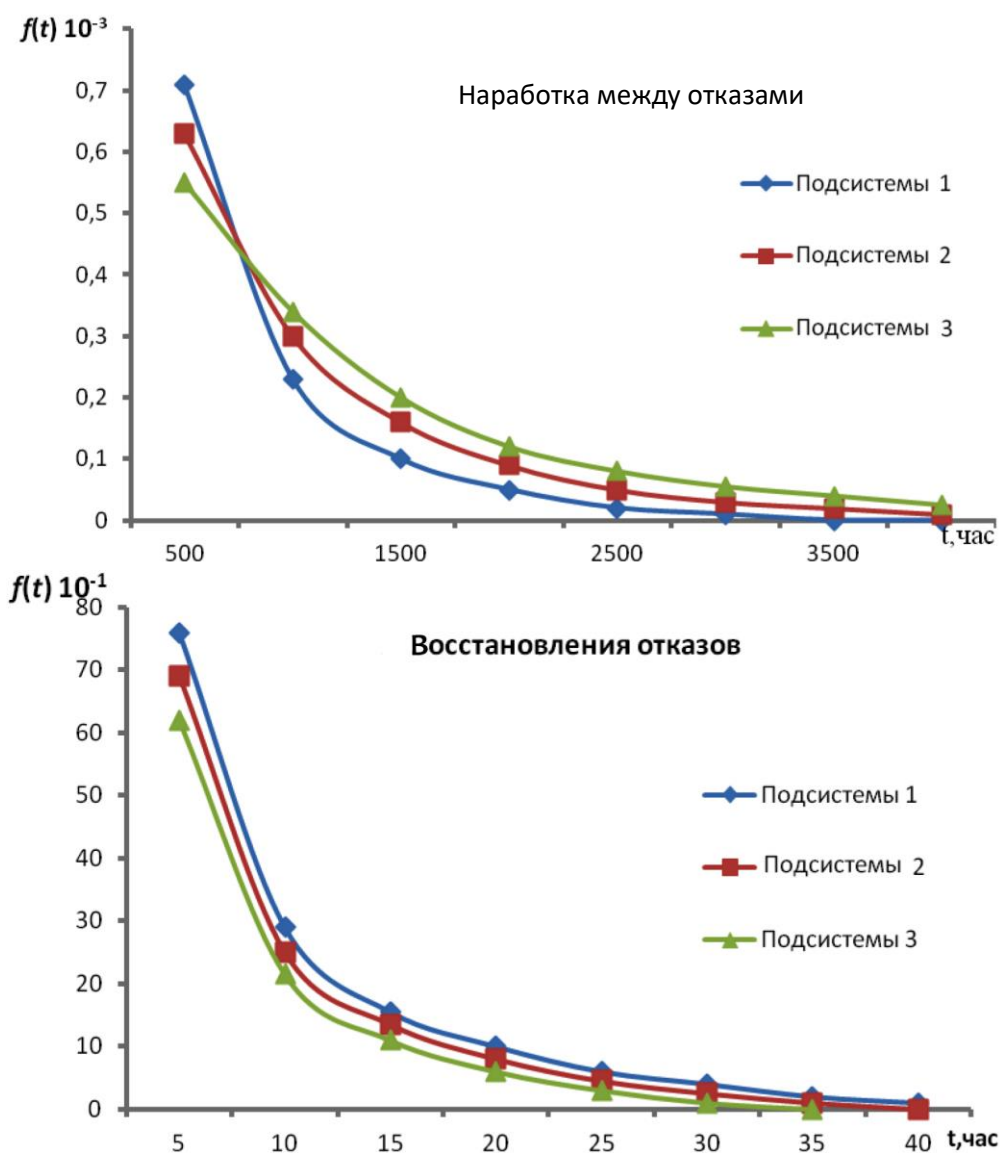


Рис. 2. Зависимости плотности вероятностей времени наработок между отказами и времени восстановления подсистем:

1 – поворота, подъема и телескопа исполнительных органов; 2 – гидроагрегатов КСП-33.09.01.000В; 3 – подъема-опускания столов питателей проходческих комбайнов типа КСП-32

Проведенный анализ выхода элементов гидравлических подсистем свидетельствует, что чаще всего при внезапных отказах теряют работоспособность уплотняющие манжеты и резиновые кольца (которые не обеспечивают герметичность), чистильщики, элементы силовых гидроблоков, управляющих гидравлических распределителей и др.

На основе анализа статистической информации о надежности элементов гидравлических подсистем и составных узлов разработаны рекомендации по конструктивному изменению элементов гидроприводов проходческих комбайнов. Эти изменения связаны в основном с устранением наиболее частых отказов вышеперечисленных узлов, которые приводили к значительным простоям комбайнов.

### Выводы

Для возможности разработки рекомендаций по совершенствованию конструкций и для выбора рациональных параметров комбайнов проведены исследования по оценке данных о фактической эксплуатационной надежности машин в реальных шахтных условиях.

При проведении наблюдений за работой девяти комбайнов КСП-32 на восьми шахтах при суммарной проходке более 13,5 км горных выработок в различных горно-геологических условиях зафиксированы различные виды неисправностей: исполнительных органов и их приводов, питателей, конвейеров, ходовых частей, гидроагрегатов, магистральных трубопроводов, систем управления, а также подсистем подъема, поворота и телескопа исполнительных органов.

Установлено, что число отказов гидравлических подсистем составляет 78 % от всех отказов, зафиксированных при работе девяти проходческих комбайнов. Число отказов механических систем при этом составляет 22 %. Это свидетельствует о том, что надежность гидравлической системы комбайна значительно ниже, чем надежность механической системы. Причем средняя наработка до отказов механических систем комбайнов более значительная, чем средняя наработка до отказа гидравлических систем.

Исследования позволили выявить, что преобладающим законом плотности распределения времени наработки до отказов гидравлических подсистем (групп подсистем) проходческих комбайнов КСП-32 является экспоненциальный закон. Этому закону подчиняется распределение времени восстановления гидравлических подсистем (групп подсистем).

Экспоненциальный закон распределения наработки до отказа свидетельствует о преобладании внезапных отказов над износными отказами. Проведенный анализ выхода элементов гидравлических подсистем свидетельствует, что чаще всего при внезапных отказах теряют работоспособность уплотняющие манжеты и резиновые кольца (из-за снижения пластичности и герметичности), чистильщики, гидрозамки, обратные клапаны, элементы силовых гидроблоков и управляющих электрогидравлических распределителей.

#### Список литературы

1. Афендииков, Н.Г. Повышение надежности проходческих комбайнов избирательного действия со стреловидными исполнительными органами / Н.Г. Афендииков, А.В. Шендрик, К.Б. Ломаковский // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2018. – № 4(14). – С. 16-23.
2. Система государственного управления качеством продукции: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/638346/>
3. Вопросы математической теории надежности / Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Радио и связь. – 1983. – 376 с.
4. ГОСТ 27.004-2015. Надежность в технике. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://standart.gost.ru/g/ГОСТ 27.002-2015>
5. Носенко, И.А. Повышение надежности горнопроходческих комбайнов применением оперативной диагностики привода исполнительного органа: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.05.06 / Носенко Иван Алексеевич. – Новочеркасск, 2008. – 23 с.
6. Ковалев, В.А. Эксплуатация проходческих комбайнов на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / В.А. Ковалев и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – С. 26-33.
7. Носенко, С.И. Методика организации сбора и анализа информации об эксплуатационных качествах проходческого оборудования в условиях Российского Донбасса / С.И. Носенко, Е.А. Шемшура. – Шахты, 1996. – 40 с.
8. Лапач, С.Н. Планирование в пассивном эксперименте // Математические машины и системы. – 2013. – №4. – С. 156-160.
9. Славутский, Л.А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента. – Чебоксары: ЧГУ, 2006. – 200 с.
10. Аронов, И.З. Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний / И.З. Аронов, Е.И. Бурдасов. – М.: Изд. стандартов, 1987. – 184 с.
11. Лемешко, Б.Ю. К оцениванию параметров надежности по цензурированным выборкам / Б.Ю. Лемешко, С.Я. Гильдебрант, С.Н. Постовалов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2001. – №1. Т.67. – С. 52-64.
12. Diccio, T.J. Bootstrap Confidence Intervals / T.J. Diccio, B. Efron // Statistical Science. – 1996. – Vol.11. No.3. – P. 189-228.

**N.G. Afendikov /Cand. Sci. (Eng.)/, A.V. Shendrik**  
*Donetsk National Technical University (Donetsk)*

### STATISTICAL ESTIMATION OF RELIABILITY INDICES OF HYDRAULIC ACTUATORS OF SELECTIVE ACTION ROADHEADERS

**Background.** *The high reliability of selective action roadheaders provided at many stages – in conducting scientific-research and design works, the factory production and operation. In order to develop recommendations to improve reliability at these stages, it is necessary to know the statistical actual reliability indicators.*

**Materials and/or methods.** *The authors planned and carried out a passive experiment in the operation of nine of roadheaders in eight mines. The input controlled but uncontrollable factors during these*



experiments were the following parameters: type, strength, and abrasiveness of rocks, cross-section, and length of excavations. The output factors were the values of the operating time before the failures, the values of the recovery time and the number of failures.

**Results.** Determined that the number of failures of hydraulic subsystems is 78 % of all failures recorded during the operation of roadheaders. The number of failures of mechanical systems is 22 %. This result indicates that the reliability of the hydraulic system of the header is much lower than the reliability of the mechanical system. Moreover, the average time before failure of mechanical systems is more significant than the average time to failure of hydraulic systems. Studies revealed that the governing law of the density distribution of operating time to failure of hydraulic subsystems (groups of subsystems) of KSP-32 headers is an exponential law. The same law applied to the distribution of recovery times of hydraulic subsystems (groups of subsystems).

**Conclusion.** The obtained values of reliability parameters of hydraulic system elements allowed developing recommendations for improving the elements of hydraulic drives of selective action roadheaders.

**Keywords:** selective action roadheader, reliability, operation time to failure, recovery time.

**Сведения об авторах**

**Н.Г. Афонди́ков**

ORCID iD: 0000-0001-8876-7254

Телефон: +380 (71) 376-13-46

Эл. почта: an77tn@gmail.com

**А.В. Шендри́к**

Телефон: +380 (71) 311-09-88

Эл. почта: gormash@i.ua

Статья поступила 13.03.2019 г.

© Н.Г. Афонди́ков, А.В. Шендри́к, 2019

Рецензент д.т.н., проф. А.П. Кононенко

