

Повышение надежности и совершенствование управления эксплуатацией карьерных гидравлических экскаваторов с использованием измерительно-информационных комплексов.



В современной практике горного производства широко используются карьерные гидравлические экскаваторы (КГЭ) с ковшем более 20 куб.м. Их эффективность, в сравнении с мехлопатами, обусловлена низкой металлоемкостью, высокой маневренностью, равно как и широкими технологическими возможностями, подтвержденными многолетней мировой практикой [1]. За 25 лет доля гидравлических машин в общем парке экскавационного оборудования выросла в 4 раза [2], соответственно возросла их надежность (рис.1).

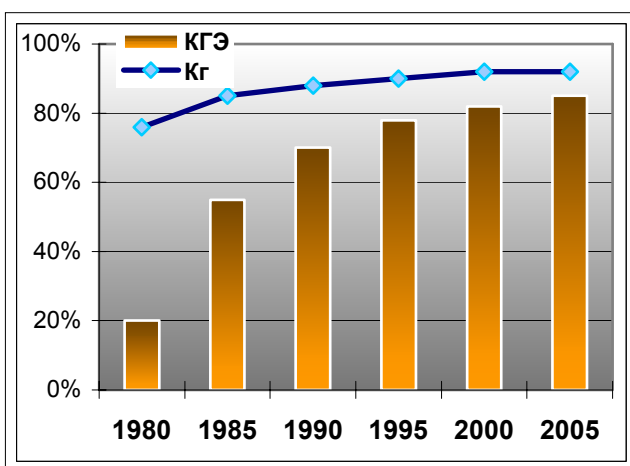


Рис.1. Распространенность (КГЭ) и коэффициент технической готовности (K_r) карьерных гидравлических экскаваторов по обобщенным экспериментальным данным

Тем не менее, желательно дальнейшее, и существенное, увеличение надежности основных узлов и агрегатов КГЭ, поскольку:

- Годовой фонд рабочего времени для этих машин превышает 8000 часов, и, соответственно, дорогостоящие узлы дизель-гидроприводов вырабатывают свой ресурс (табл. 1) в течение 2-3 лет;
- Аварийные простои весьма значительны (по данным эксплуатации машин РС-5500 в Якутии, они превышают 10% от времени работы машин, см. табл. 2);
- Расходы на материалы и запасные части составляют 65% общих расходов на эксплуатацию машин [2];
- Из общеэкономических соображений желательно продление срока службы экскаватора с 60000 часов (наминальное значение) хотя бы до 90000 часов; между тем даже и за номинальный срок службы расходы на заменяемые агрегаты превышают первоначальную стоимость экскаватора.

Таблица 1. Средний ресурс гидроагрегатов по обобщенным данным подконтрольной эксплуатации экскаваторов с ковшем 26 м³ в северных условиях

Гидроагрегат	Ресурс, мч
Аксиально-поршневой насос	15671
Гидромотор хода	24161
Гидромотор поворота	13792
Гидроцилиндр рукояти	22166
Гидроцилиндр стрелы	16541
Гидроцилиндр ковша	19417
Гидроцилиндр челюсти	5554
Гидрораспределитель	33875
Масляный радиатор	22697
Ротоплотнение	20740

Естественно, разработка мероприятий по повышению надежности может базироваться только на знании причин неисправностей, существенно зависящих от особенностей эксплуатации оборудования. Многие закономерности могут быть вскрыты на основании анализа стандартных документов системы учета, принятой на предприятии. Так, анализируя отчетность ГУП «Якутуголь», касающуюся работы экскаваторов РС-5500 в 2004 году, можно сделать следующие выводы (табл. 2-4):

- Имеются значительные резервы роста эффективности эксплуатации машин, в том числе за счет повышения их технической готовности;
- Наиболее важной задачей при этом является повышение надежности гидропривода;
- Из всех агрегатов привода наибольшее влияние на показатели надежности машины в целом оказывают неисправности элементов гидролиний (рукавов, трубопроводов, уплотнений), проявляющиеся в негерметичности, а также гидромашин (насосов, моторов, цилиндров);
- В ряде случаев имеется недоработка агрегатами номинального ресурса (так, на обеих машинах имелись случаи выхода из строя гидромоторов механизма поворота, при этом ресурс составил 10868 мч, или 78.80% ожидаемого, см. табл. 1).

Таблица 2. Данные учета эксплуатации экскаваторов РС-5500 (местимость ковша 20 м³) в ГУП «Якутуголь»

Показатель	Экскаватор		Среднее значение
	№3	№4	
Календарный фонд рабочего времени, ч	8760		
Фактическая наработка, мч. дизеля	6296	5957	6126.5
Фактическая наработка, мч. гидропривода	5679	5474	5576.5
Аварийные простои, мч	678	436	557
Аварийные простои свыше 2 ч, мч	594	379	486.5
Количество отказов	60	47	53.5
Среднее время простоя из-за отказа, мч	9.90	8.06	9.09
Коэффициент использования, %	64.83	62.49	63.66
Козф.технической готовности, %	89.23	92.68	90.91

Система	Усредненные данные для экскаваторов Komatsu	Фактические данные по экскаваторам №3 и №4
Металлоконструкция	16.78%	5.04%
Гидропривод	20.32%	54.06%
Двигатель	11.80%	12.54%
Ход	10.33%	15.21%
Система смазки	4.81%	8.12%
Электросистема	3.67%	2.88%

Таблица 3. Потери рабочего времени из-за отказов различных систем и агрегатов

Агрегат	Ср. время простоя из-за отказа, ч	Доля простоев
Дизель	5.81	12.54%
Элементы гидролиний	7.13	22.71%
Гидромашин	24.40	25.08%
Гидроаппаратура	6.10	6.27%
Система смазки	6.08	8.12%
Система управления	5.60	2.88%

Таблица 4. Удельный вес (доля) простоев и среднее время простоя из-за отказа агрегата (см. также рис. 2)

В целом, данные отчетности позволяют поставить задачи совершенствования эксплуатации, но не дают возможности выявить причины недостаточной надежности, а значит - и определить пути ее повышения. Из общих соображений известно, что надежность и долговечность систем и агрегатов определяется:

- Конструктивным совершенством машины;

- Величиной эксплуатационной нагрузки;
- Качеством обслуживания.

В связи с разнообразием горно-геологических, климатических и технологических условий использования оборудования, обосновать универсальные рекомендации по оптимизации перечисленных факторов совершенно нереально. Соответствующие решения могут вырабатываться только непосредственно на горном предприятии, с учетом всех локальных особенностей, включая квалификацию персонала. Инструментом для этого может служить только постоянный мониторинг оборудования с помощью современных измерительно-информационных комплексов. Такой комплекс «НИКА», разработанный компанией AGA Group, Inc. совместно с ЗАО «Могормаш» и «Аэротест», и обеспечивающий постоянное измерение параметров режимов работы гидропривода с сохранением данных измерений в собственной памяти., был установлен на экскаваторе №3 (табл. 5)

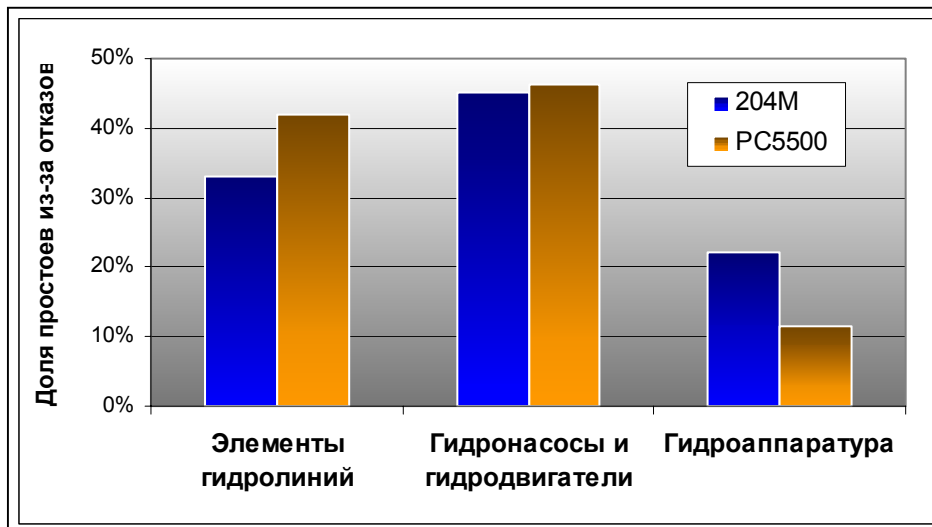


Рис. 2. Удельный вес (доля) простоев экскаваторов из-за отказов гидроагрегатов (сравнительные данные подконтрольной эксплуатации машин 204М Superfront (80е годы) и PC-5500 Komatsu (2004 год))

Таблица 5. Расположение датчиков мониторинга гидропривода экскаватора PC-5500 №3

Параметр	Канал	Место установки датчика
Давление	3	Напорная гидролиния насоса привода рабочего оборудования - ковш
	4	Напорная гидролиния насоса привода рабочего оборудования - стрела
	5	Напорная гидролиния насоса привода рабочего оборудования - рукоять
	6	Напорная гидролиния насоса привода поворота
	1	Сливная гидролиния (вход фильтровальной установки)
Температура	7	гидробак
	8	Напорная гидролиния насоса привода рабочего оборудования - стрела

Мониторинг с использованием комплексов «НИКА» (Накопитель Информации для Контроля и Анализа) существенно отличается от контроля с помощью бортовых компьютеров, которыми в настоящее время оснащено большинство машин. Дело в том, что в таких компьютерах как набор характеристик, так и способы хранения и обработки данных определяются спецификой задач сопровождения и гарантийного обслуживания по интересам изготовителя, и использование подобной информации для целей эксплуатации требует, зачастую, дополнительных измерений и специальной трудоемкой обработки. В то же время комплекс «НИКА» специально создан для получения информации в интересах эксплуатации, и предоставляет службам горного предприятия возможность гибкой перенастройки, в зависимости от конкретного набора выявленных или изучаемых проблем.

Следует отметить, что установка измерительно-информационного комплекса «НИКА» в ГУП «Якутуголь» имела экспериментальный характер, вследствие чего номенклатура измеряемых параметров не была оптимизирована. Тем не менее, результаты испытаний позволяют сделать

некоторые выводы, которые могут быть использованы как для выработки конкретных решений по увеличению надежности машин, так и для разработки технического задания на организацию постоянного мониторинга всего комплекса техники, имеющегося в эксплуатации на данном горном предприятии.

Непосредственным результатом измерений, производившихся в течение 734,45 мч на протяжении 6 месяцев (февраль-июль), являлись массивы значений давлений и температур, регистрировавшиеся с периодичностью от 1 секунды до 1 минуты, в зависимости от настройки анализатора АФПу [4]. Эти данные подвергались первоначальной обработке с отбраковкой грубых ошибок и визуализировались в виде гистограмм (рис. 3а-в), а также диаграмм (рис. 3г-д) нагружения.

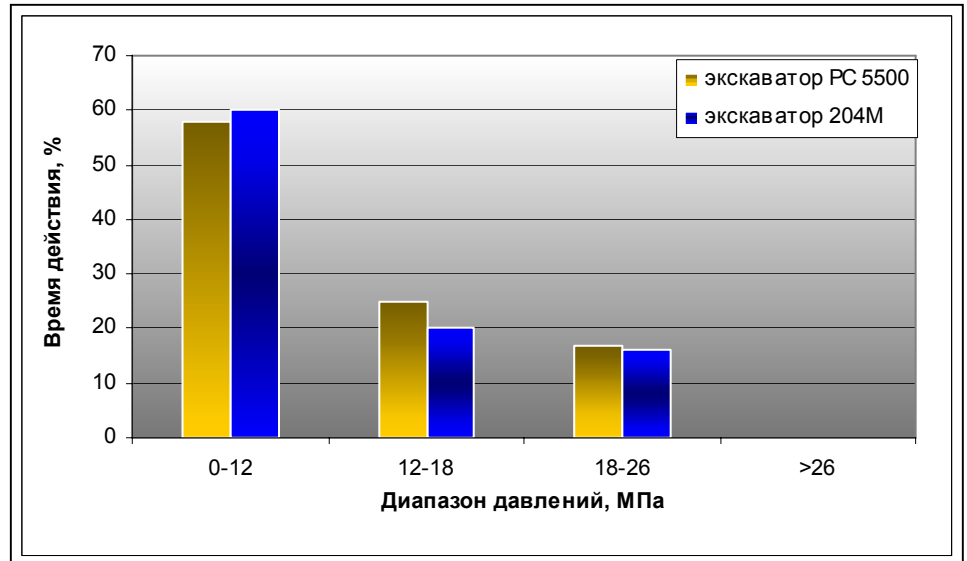


Рис. 3а. Обобщенная гистограмма нагружения привода рабочего оборудования

Из рис. 3а. видно, что гидропривод экскаватора PC-5500 существенно недогружен по сравнению с проектным значением (давление настройки клапанов: активных 31 Мпа, реактивных 35 Мпа). Интересно, что по абсолютной величине нагруженность его гидравлической системы весьма близка к таковой для экскаватора 204М Superfront [7], у которого клапанные давления были на 20% меньше. В целом, за все время работы, то есть с учетом и холостого хода, и погрузки, эквивалентное рабочее давление для экскаватора PC-5500 у словиях ГУП «Якутуголь» составляет 8.2 МПа (рис. 3б). Именно эту величину и следует принимать во внимание при прогнозировании ресурса агрегатов, хотя, разумеется, непосредственно при погрузке нагруженность гидросистемы несколько выше (рис. 3в)

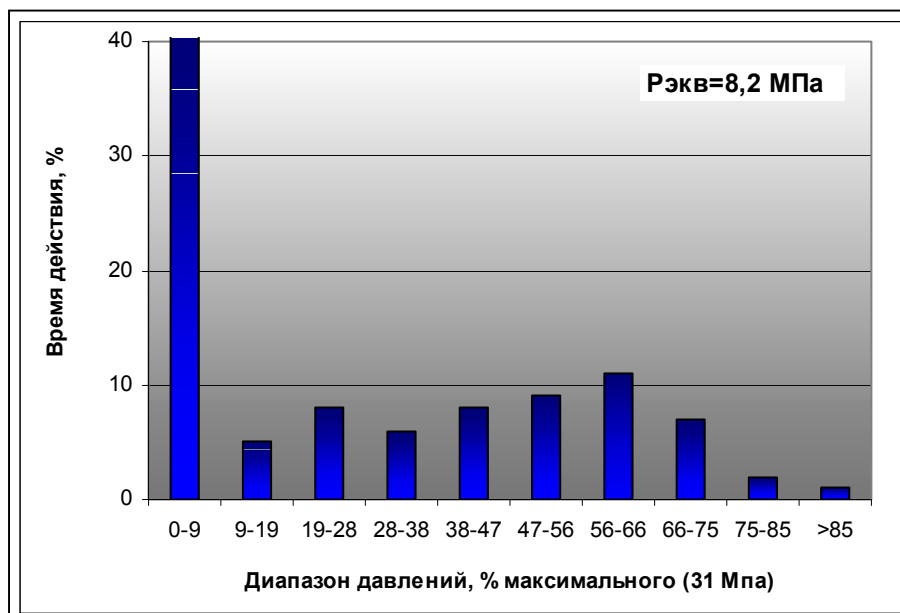


Рис. 3б. Гистограмма нагружения гидропривода рабочего оборудования экскаватора PC-5500

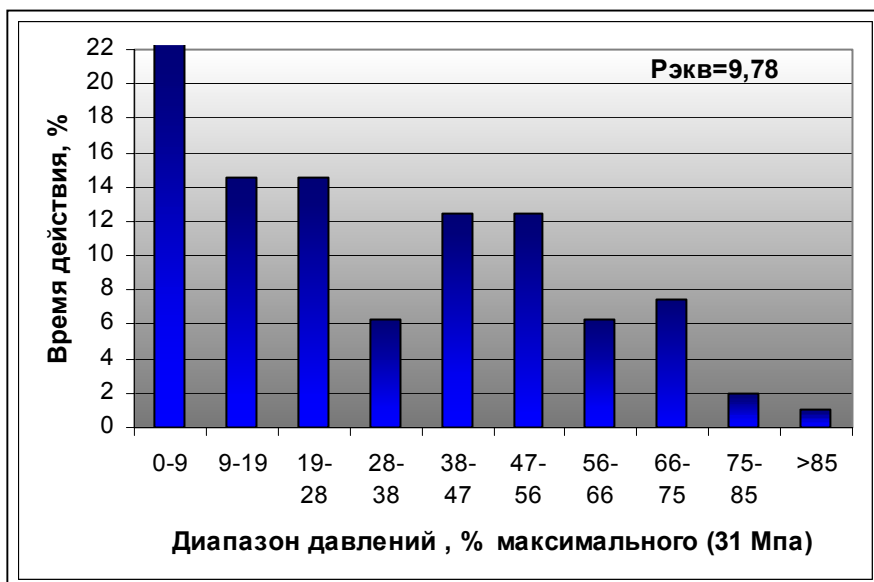


Рис. 3в. Гистограмма нагружения гидропривода рабочего оборудования экскаватора РС-5500 в ходе рабочего цикла (погрузки)

С учетом реальной динамики работы привода (рис. 3г), прогнозируемая долговечность гидромашин по фактору нагрузки может быть рассчитана по формуле:

$$R_A = k_d * R_{номА} * (\sum p_i^2) / p_{ном}^2$$

$$k_d = 1 - (p_{макс} - p_{мин}) / (2 * p_{макс})$$

Здесь R_A , $R_{номА}$ –соответственно прогнозируемый и номинальный ресурсы (по имеющимся данным, долговечность гидромашин A7V1000 Rexroth при номинальном давлении 315 бар в режиме насоса составляет 7500 а гидромотора – 8500 моточасов), p_i , $p_{ном}$ – соответственно давление каждого диапазона нагрузки и номинальное; $p_{макс}$, $p_{мин}$ – максимальное и минимальная реализуемые величины давления (рис. 3.г).

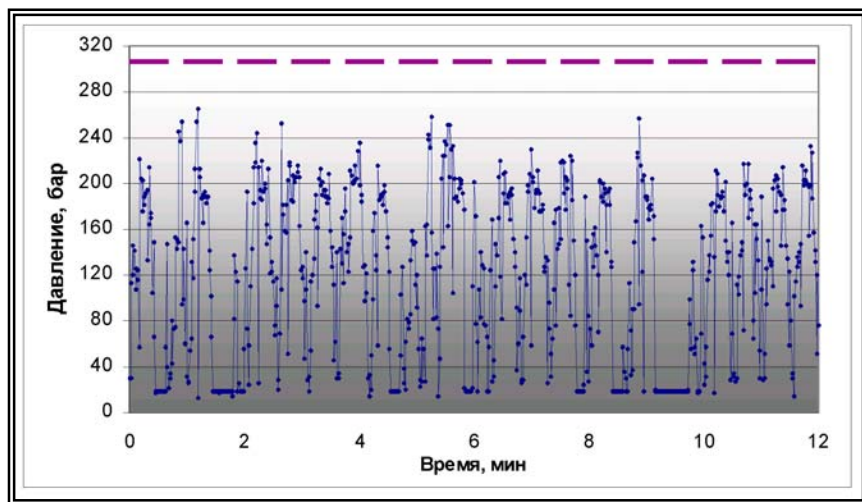


Рис. 3г. Типичная диаграмма нагружения (давление в напорной гидрوليнии) привода рабочего оборудования экскаватора РС-5500 в процессе погрузки. Пунктиром обозначено давление настройки активных предохранительных клапанов (31 МПа)

Подстановка измеренных величин показывает, что, в реальных условиях ПО «Якутуголь», при соблюдении надлежащего качества рабочей жидкости, температурных режимов и условий всасывания, долговечность насосов экскаватора РС-5500 сожет быть обеспечена на уровне 22-24 тыс.мч, а гидромоторов – на уровне 25-27 тыс. мч, что на 40-60% превышает рекламируемую фирмой Komatsu и более, чем вдвое – реально достигнутую (применительно к гидромотору поворота, см. выше).

Истинной причиной преждевременного выхода агрегатов из строя является недопустимо высокая динамика сливной магистрали (рис. 3д), приводящая к кавитации и повышенным вибрациям.

Неудивительно, что на деталях вышедших из строя гидромоторов и гидрораспределителей явно видны следы кавитационного износа (рис. 4). Правда, следует отметить, что устранение кавитационных явлений, хотя и сыграет несомненно положительную роль, но все же не позволит обеспечить максимальную долговечность гидромашин вследствие недопустимо высокой загрязненности жидкости в гидросистемах экскаваторов PC-5500 (рис. 5)

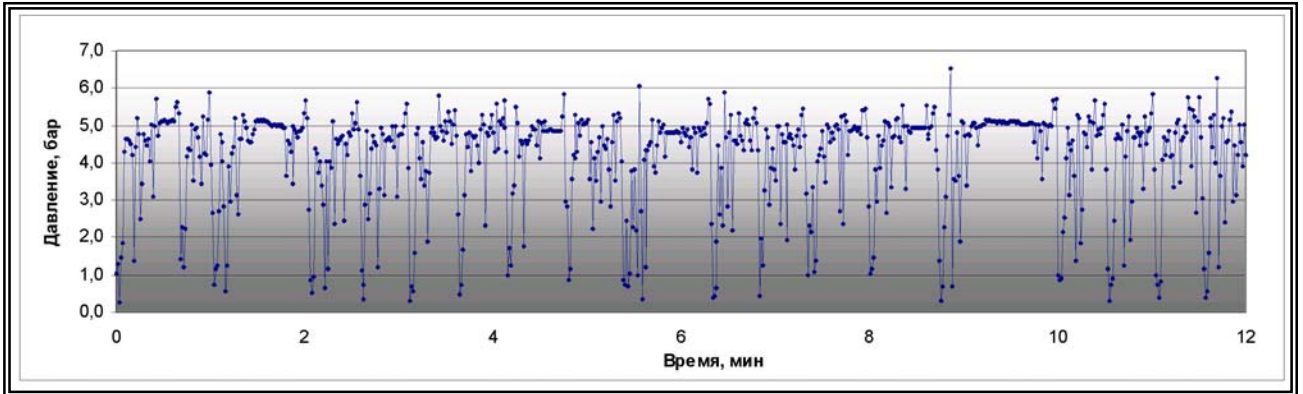
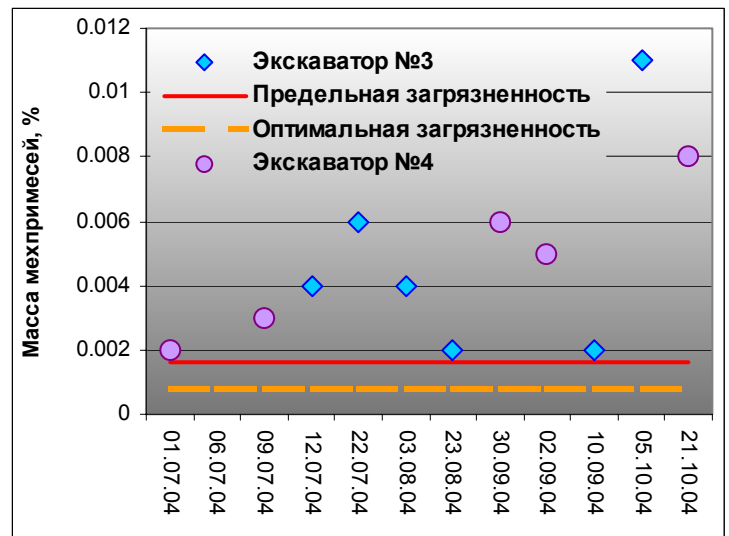


Рис. 3д. Типичная диаграмма нагружения (давление в сливной гидролинии) привода рабочего оборудования экскаватора PC-5500



Рис. 4. Кавитационный износ распределительного диска гидромотора привода поворота (слева) и золотника гидрораспределителя подъема стрелы (справа)

Рис. 5. Фактическая загрязненность жидкости в гидросистемах экскаваторов (Гравиметрический анализ по ГОСТ6370-83). Предельная концентрация – класс 17/14 ISO4406 [5], оптимальная – класс 15/13 [6]



Следует отметить, что из анализа гистограмм и диаграмм, полученных с помощью комплекса «НИКА», видна возможность существенного повышения долговечности элементов гидролиний,

основанной на специфике нагружения привода экскаватора, характерной для условий эксплуатации ГУП «Якутуголь». Увеличение ресурса рукавов, сварных соединений и уплотнений может дать существенную экономию не только от сокращения простоев, но и от сокращения расхода материалов, прежде всего рабочей жидкости и фильтров. Вообще, важность доведения случаев разгерметизации гидропривода до возможного минимума, особенно в условиях холодного климата, трудно переоценить. Разгерметизация имеет множество последствий: от крайне негативного морального эффекта до лавинообразного загрязнения гидросистемы (табл. 3) и угрозы безопасности персонала.

Таблица 3 Концентрация мехпримесей (m) в гидросистемах экскаваторов РС-5000 в 2004 году

Дата	m, масс. %	Данные об отказе гидросистемы	Превышение загрязненности	
			Предельной	Оптимальной
Экскаватор №4				
1/7/2004	0.002		в норме	2.5
9/7/2004	0.003		в норме	3.75
3/8/2004		Разгерметизация сварного соединения		
2/9/2004	0.005		1.5625	6.25
12/9/2004		Разрыв рукава высокого давления (РВД)		
27/9/2004		Разгерметизация клапана главного насоса		
30/9/2004	0.006		1.875	7.5
21/10/2004	0.008		2.5	10
Экскаватор №3				
6/7/2004	0.003		в норме	3.75
9/7/2004		Разгерметизация уплотнения РВД		
12/7/2004	0.004		1.25	5
18/7/2004		Разрыв РВД		
22/7/2004	0.006		1.875	7.5
3/8/2004	0.004		1.25	5
23/8/2004	0.002		в норме	2.5
10/9/2004	0.002		в норме	2.5
5/10/2004	0.011	Замена двигателя поворота	3.4375	13.75

Существует и весьма любопытный побочный эффект, который, к сожалению, редко учитывается, а именно: вследствие характерной для горных предприятий высокой запыленности окружающего воздуха утечки даже небольшие жидкости приводят к образованию «коросты» (рис. 6), то есть специфического агломерата пыли с маслом, который очень сложно удалить. Наличие такой «коросты» весьма затрудняет визуальную инспекцию (диагностику), а также соблюдение предписанной технологии обслуживания машины.



Рис. 6. Загрязнение поверхности масляного радиатора экскаватора РС-5500 агломератом пыли и масла

Повышение долговечности элементов гидролиний может быть достигнуто за счет оптимизации настройки предохранительных клапанов. Из диаграммы на рис.3г видно, что более 99% времени давление в напорной гидролинии не превышает 24 МПа, и более 99.7% не поднимается выше 270 МПа. Это, кстати, указывает на достаточность энерговооруженности экскаватора РС-5500 для условий ГУП «Якутуголь». Тем не менее, пиковые значения, всегда имеющие место в моменты «работы на упор», а также резких разгонов и торможений, определяются, давлением настройки предохранительных клапанов, которое, очевидно, превышает технологические потребности эксплуатации. Последнее же составляет 31 МПа для активных и 35 МПа для реактивных клапанов. Разумеется, этих пиков не видно на диаграммах, поскольку периодичность опроса датчиков составляет 1с, и за это время забросы давления демпфируются. Однако долговечность элементов гидролиний, работающих на усталость, определяется именно этими, экстремальными, а не длительно реализуемыми значениями нагрузки. В данном случае возможности повышения надежности гидропривоода может быть определена, исходя из анализа диаграмм нагружения, полученных в ходе испытаний информационно-измерительного комплекса «НИКА», а также с данных экспериментальных исследований, приводимых фирмой «Hitachi» (рис. 7, [8]).

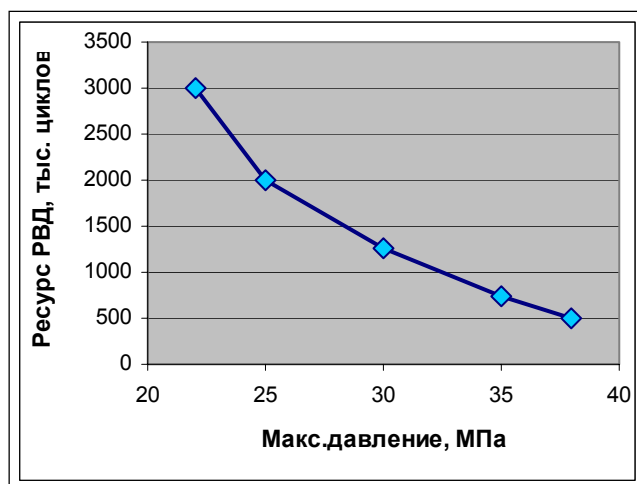


Рис. 7. Зависимость долговечности рукавов и трубопроводов от максимального рабочего давления в гидросистеме

Разумеется, данных, полученных в ходе испытаний комплекса «НИКА» недостаточно для определения конкретных величин оптимальных значений настройки активных и реактивных предохранительных клапанов, однако, тем не мене, можно предположить, что ожидаемый оптимальный уровень – от 25 до 29 МПа для активных и от 28 до 32 МПа для реактивных клапанов (исходный уровень – соответственно 31 и 35 МПа).

Тогда, применительно к условиям эксплуатации экскаваторов РС-5500 в ГУП «Якутуголь», можно ожидать, что, за счет оптимизации настройки предохранительных клапанов, долговечность элементов гидролиний возрастет на 45-80% по сравнению с реально достигнутой сегодня.

Наглядное представление о возможностях повышения надежности гидросистемы экскаваторов РС-5500 при реализации направлений, определенных на основании внедрения измерительно информационных комплексов «НИКА» дает прогноз величины наработки на отказ (рис. 8).

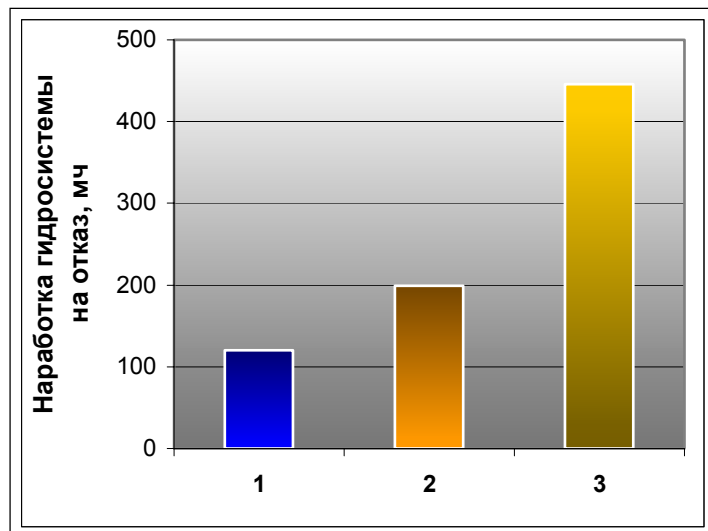


Рис. 8. Нарботка гидросистемы экскаваторов на отказ

- 1 – экскаватор 204М “Superfront”, 1985 год
- 2 – экскаватор РС-5500 №3, 2004 год
- 3 – экскаватор РС-5500, прогноз с учетом реализации направлений повышения надежности при внедрении комплексов «НИКА»

Разумеется, в процессе этой работы необходимо тесное сотрудничество служб эксплуатации с изготовителями техники. Это важно тем более, что тяжелые горные машины являются изделиями уникального или малосерийного производства, а значит – неизбежна их доводка в ходе эксплуатации. С точки зрения минимизации финансовых затрат у потребителя, при этом очень важна оперативность, с целью выявления как можно большего количества неисправностей в течение гарантийного срока.

Помимо разработки адресных мероприятий по повышению надежности, использование инструментально-измерительных комплексов «НИКА» позволяет определить приоритетные пути повышения эффективности управления экскаватором как частью горнодобывающего комплекса. Основой такой работы является определение длительности работы экскаватора в различных диапазонах нагружения, соответствующих разным технологическим режимам.

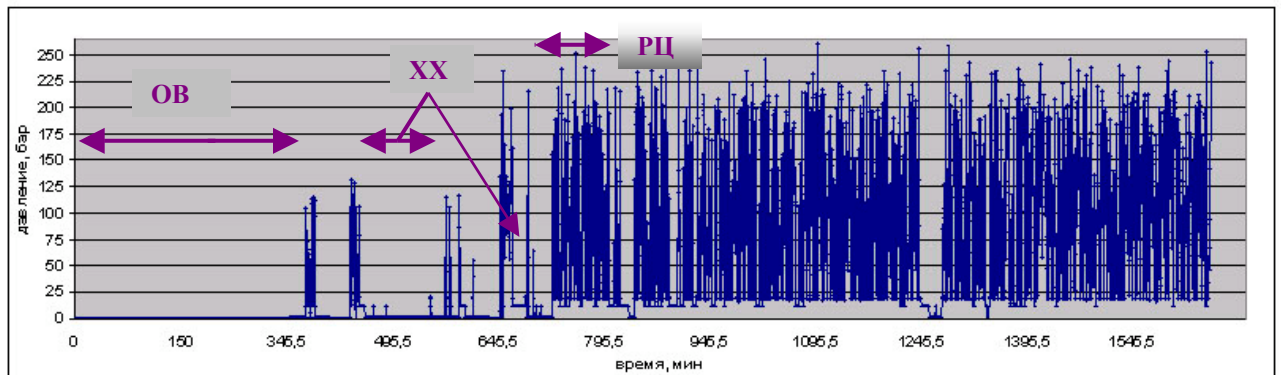


Рис. 8. Диаграмма нагружения привода экскаватора РС-5000 демонстрирующая останов (ОВ), холостой ход (XX) и рабочий цикл (РЦ)

На рис. 8 прослеживаются все три характерных составляющих эксплуатационного процесса: останов (привод выключен, напорное давление равно нулю), холостой ход (давление в напорной и сливной гидролиниях примерно равны и составляют 0.2-1.0 МПа) и рабочий цикл (напорное давление колеблется с высокой амплитудой). Очевидно, что при помощи кратковременного специального тестирования могут быть определены диапазоны колебаний давления, соответствующие различным технологическим режимам. Численный анализ полученных массивов времени работы позволит контролировать особенности реализации технологических процессов, квалификацию и аккуратность экипажа, а, разумеется, определить реальные значения коэффициента использования машины. Те же данные могут быть получены автоматически, с применением анализатора АФПу в режиме накопителя, с соответствующей разбивкой диапазонов.

В качестве примера можно привести анализ использования рабочего времени, проведенный на основании данных стандартного учета рабочего времени в ГУП «Якутуголь», а также гистограмм, полученных в ходе испытаний комплекса «НИКА». Так, на рис. 9 показаны источники потерь рабочего времени при эксплуатации экскаватора РС-5500 №3. в их числе – время функционирования привода на холостом ходу, в течение которого, очевидно, экскаватором не совершается полезная работа.

Таким образом, реальный коэффициент использования экскаватора оказывается существенно иным, чем могло бы быть показано при расчете стандартными методами, в том числе и с применением простого счетчика моточасов дизеля (рис. 10). Дальнейший анализ обнаруживает наличие существенного перепробега дизеля, соответствующего останову гидропривода или его функционированию на холостом ходу, то есть в то время, когда экскаватор не совершает полезной работы. Анализ диаграмм определяет наличие при этом трех характерных режимов:

- дизель работает во время организационно-технологического простоя в экскаватора;
- дизель работает в течение кратковременных остановок экскаватора (от 15 до 30 мин), что, очевидно, связано с недостатками организации технологического процесса непосредственно в забое;
- дизель работает в течение кратковременных остановок привода (от 2 до 14 мин), что, очевидно, связано с недостатками непосредственного управления экскаватором.

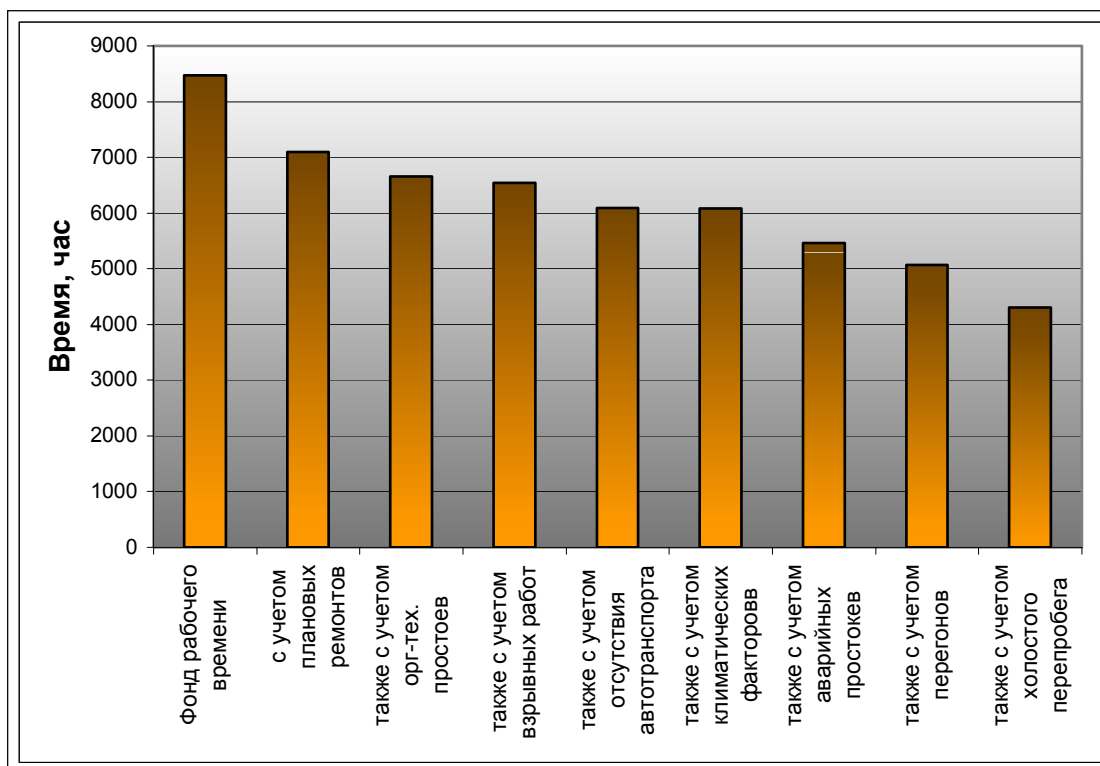


Рис. 9. Потери рабочего времени при эксплуатации экскаватора PC-5500

В целом холостой перепробег достигает 38% от общей наработки (столбец 5 на рис. 10), что, помимо громадных потерь моторесурсов, приводит к непроизводительному расходу топлива в объеме около 1650 тонн на одну машину в год (при расходе около 245 кг/мч), то есть к убыткам в размере до 680 тыс. американских долларов.

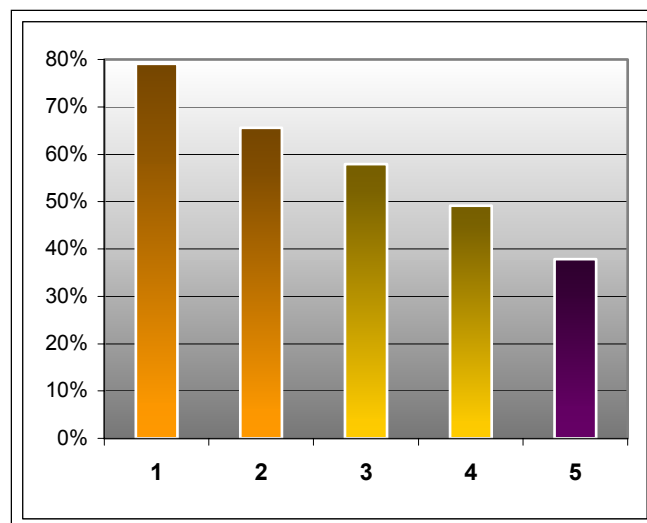


Рис. 10. Коэффициент эффективного использования ($K_{\text{эф}}$) экскаватора (1-4), рассчитанный:

- 1 – по данным счетчика моточасов дизеля;
- 2 – по данным разрезовского учета;
- 3 – по регистрации времени работы гидропривода;
- 4 – по регистрации времени работы гидропривода и с учетом времени работы на холостом ходу,
- а также коэффициент перепробега дизеля (5).

Подобная картина является несомненным основанием для подробного анализа технологических особенностей эксплуатации экскаваторов на разрезах ГУП «Якутуголь». Очевидно, что эффективность их использования может быть увеличена и, по крайней мере, имеются возможности для ресурсосбережения.

AGA Group, Inc.

107 Monadnock Rd., Chestnut Hill, MA, 02467, USA

tel: +1 (617) 630-0011

www.againc.net



Выводы:

1. Существующая система учета эксплуатации экскаваторов в ГУП «Якутуголь» позволяет адекватно определить большинство показателей производительности, надежности и эффективности использования машин в их традиционном понимании. Перекрестное сравнение величин показателей с определенными на основании результатов работы информационно-измерительных комплексов подтвердило высокое качество и достоверность данных системы учета, принятой в ГУП «Якутуголь».

Однако, данные существующей отчетности, хотя и позволяют поставить задачи совершенствования эксплуатации, но, тем не менее, не дают возможности выявить причины недостаточной надежности, а значит - и определить пути ее повышения.

2. Применение информационно-измерительных комплексов «НИКА» в дополнение к существующей системе учета, позволяет:

- Вырабатывать адресные рекомендации по повышению эффективности управления техникой, повышению надежности, экономии топлива и т.п.;
- Осуществлять ресурсосберегающую настройку систем привода;
- Контролировать качество работы экипажей машин, и обеспечивающих служб,
- Определять показатели организационно-технологической эффективности, как стандартные (коэффициенты использования и технической готовности), так и современные (например, коэффициент эффективного использования);
- В случае отказов агрегатов, определять, что явилось истинной причиной отказа, и, при необходимости, предъявлять обоснованные претензии изготовителям в части совершенствования конструкций;
- Прогнозировать остаточный ресурс узлов и агрегатов;
- Контролировать достоверность отчетности.

Для обеспечения всех перечисленных функций необходимо оснастить информационно-измерительным комплексом «НИКА» каждую крупную машину и, на этой технической базе, производить постоянный мониторинг параметров.

3. Резервы повышения надежности гидравлических экскаваторов в ГУП «Якутуголь» весьма значительны. В этой области следует выделить 3 направления работы:

- Конструктивные усовершенствования техники силами изготовителей в период гарантийных сроков, на основании претензий эксплуатации, обоснованных данными мониторинга;
- Оптимизация режимов работы машин путем ресурсосберегающей настройки их систем;
- Улучшение качества очистки рабочей жидкости путем внедрения мобильных фильтровальных установок и организации мониторинга состояния рабочей жидкости на современном уровне, с использованием аппаратуры экспресс-анализа.

При выполнении оптимизационных рекомендаций по всем упомянутым направлениям можно ожидать увеличения наработки гидропривода на отказ в 2 – 2.5 раза, повышения ресурса основных агрегатов привода в 1.5 – 2 раза

4. Основной причиной неоднократных поломок гидромоторов привода поворота, «проседания» стрелы под нагрузкой и многочисленных случаев разгерметизации системы является недопустимо высокая динамика сливной гидролинии, приводящая к кавитационным процессам и повышенной вибрации. Для устранения этих неблагоприятных явлений рекомендуется установка пневмогидроаккумуляторов с рабочим объемом не менее 16 л в сливной гидролинии и не менее 2.5 л – в замкнутых контурах привода поворота.

AGA Group, Inc.

107 Monadnock Rd., Chestnut Hill, MA, 02467, USA

tel: +1 (617) 630-0011

www.againc.net



Литература

1. Штейнцайг В.М. Мощные карьерные одноковшовые экскаваторы. М., Наука, 1993, 190 с.
2. Бродский Г.С., Слесарев Б.В. Повышение надежности гидропривода – средство эффективного внедрения гидравлических экскаваторов на горных предприятиях СНГ. «Горная промышленность», №2, 2002, с. 54-57
3. Бродский Г.С., Фаерштейн Л.Н., Шумаков А.В., Штейнцайг В.М. Информационные накопители как средство контроля и диагностики состояния техники. ИГД им. А.А.Скочинского, 2004
4. Екимов В.К., Федосеев В.Н., Енютин Ю.А., Литвинов В.А., Штейнцайг В.М., Левченко Е.М., Шумаков А.Б., Бродский Г.С., Бродская Е.С., Волкова С.В. Применение мобильного измерительного комплекса для мониторинга мостовых сооружений. «Приборы+Автоматизация», №5(47)б 2004, с. 23-30
5. Rexroth Bosch Group. Variable Displacement pump A7V0 RE92.203.05.99, 2002, 24 p.
6. Бродский Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин. М., «Горная промышленность», 2004 – 360 с.
7. Бродский Г.С. Повышение надежности гидрофицированных роторных экскаваторов путем создания систем кондиционирования рабочей жидкости. Дисс. к.т.н., М., ИГД им. А.А. Скочинского, 1986, 289 с.
8. Hydraulic shovels H-501 and H-801 Hitachi Construction Machinery Co, 1984, 67 p.
9. Козин Г.Ю., Бродский Г.С., Мельников А.С. Современные карьерные гидравлические одноковшовые экскаваторы. М., ЦНИЭИуголь, 1989, 38 с.

AGA Group, Inc.

107 Monadnock Rd., Chestnut Hill, MA, 02467, USA

tel: +1 (617) 630-0011

www.againc.net

