



УДК 622.271.022

## ИЗМЕНЕНИЕ НАРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭКСКАВАТОРОВ ЭКГ ОТ УСЛОВИЙ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

**С.Л.ИВАНОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет, Россия*

Отечественные карьерные экскаваторы составляют серьезную конкуренцию зарубежным гидравлическим машинам. Предложено оценивать потенциал карьерного экскаватора через базовый коэффициент эффективности функционирования, который равен отношению полезной нагрузки в ковше к номинальному расходу экскаватора в нормальных условиях эксплуатации. Сравнение теоретических значений эталонной работы гидравлических экскаваторов третьей типоразмерной группы при добыче угля и отечественного ЭКГ-18Р по коэффициенту использования показал, что экскаватор ЭКГ-18Р в 2,7-3,3 раза лучше гидравлических зарубежных моделей этой группы.

Приведено теоретическое обоснование комплекса факторов, влияющих на величину наработки карьерных одноковшовых экскаваторов, предложена структура модели комплексной оценки величины наработки карьерных экскаваторов. Обоснованы и предложены комплексные показатели сохранения эффективности эксплуатации экскаваторов. Дана оценка эффективности эксплуатации экскаваторов ЭКГ-18Р по критерию энергопотребления на экскавацию горной массы. Приведен обобщающий анализ комплекса факторов, влияющих на величину наработки экскаватора ЭКГ-18Р. Даны предложения по совершенствованию регламента технического обслуживания и ремонтов экскаватора ЭКГ-18Р.

Задача оценки технического состояния требует использования интегральных критериев, позволяющих идентифицировать текущее техническое состояние и остаточный ресурс машинных агрегатов, отказ которых может привести к созданию аварийных ситуаций, сопровождающихся значительным ущербом. В качестве некоторого обобщенного показателя целесообразно использовать интегрированный показатель степени деградации объекта, получаемый при комплексной оценке текущего технического состояния объекта при проведении диагностических процедур. В свою очередь, интегральный показатель состояния объекта определяется усредненным значением приведенных к базовой величине единичных диагностических показателей с учетом их коэффициента весомости.

**Ключевые слова:** карьерный экскаватор, ресурс, наработка, коэффициент использования потенциала, коэффициент эффективности функционирования, надежность, моделирование.

**Как цитировать эту статью:** Иванов С.Л. Изменение наработки современных отечественных экскаваторов ЭКГ от условий их функционирования // Записки Горного института. 2016. Т.221. С.692-700. DOI 10.18454/PMI.2016.5.692

**Введение.** Увеличение объемов разработки твердых полезных ископаемых открытым способом зависит от эффективности функционирования широко применяемых в современных циклических и циклично-поточных комплексах одноковшовых карьерных карьеров. Сегодня в Российской Федерации эксплуатируют около 180 механических лопат отечественного производства заводов «ИЗ-КАРТЕКС» и «УЗТМ» с ковшами вместимостью 12-32 м<sup>3</sup>, а также около 20 экскаваторов с ковшами 35-55 м<sup>3</sup> в составе примерно 300 карьерных гидравлических экскаваторов с ковшами 12-45 м<sup>3</sup> компаний Komatsu Mining Germany (KMG), Liebherr, Hitachi, Caterpillar, P&H, Taiyuan HM Group [8, 10, 11].

Автономность и маневренность карьерных экскаваторов обуславливает их эффективное применение в сложных условиях отработки забоя применительно к широкому диапазону свойств как добываемых полезных ископаемых, так и экскавируемых горных пород. Оценка функциональных и технологических данных экскаваторов с электроприводом и гидравлических показывает, что их основные параметры сравнимы между собой [8]. В реальных условиях функционирования карьерной горной техники концентрации технологических машин в непосредственной близости от рабочих зон их эксплуатации способствуют снижению ритмичности работы как самих экскаваторов, так и технологического транспорта, обеспечивающего транспортировку добытой горной массы от забоя в рамках технологической цепи. Данная ситуация в первую очередь вызывается несбалансированностью организационно-технических мероприятий при производстве работ.

Гидравлические экскаваторы применяют в стесненных условиях забоя при отработке карьера, но с ограничением высоты забоя высотой черпания экскаватора. Сочленение рукояти со стрелой посредством шарнира позволяет снизить радиус черпания гидравлического экскаватора, поэтому такие экскаваторы располагают ближе к откосу уступа, что обеспечивает пространство для маневра с одной стороны и снижает уровень безопасности ведения работ – с другой, в сравнении с канатными.

Преимущество экскаваторов с электрическим приводом по сравнению с гидравлическим заключается в надежности относительно простых и проверенных электродвигателей, стальных канатов в сравнении с более сложными по конструкции гидроцилиндрами. Обслуживание электрических экскаваторов не требует специалистов по гидравлической системе, что заметно сказывается на скорости обслуживания и ремонта.



В рыночных условиях основным критерием является эффективность, поэтому предложено оценивать потенциал карьерного экскаватора через базовый коэффициент эффективности функционирования, который равен отношению полезной нагрузки в ковше к номинальному расходу экскаватора в нормальных условиях эксплуатации (ГОСТ 27.002-89). Сравнивая экскаваторы по предложенному коэффициенту эффективности функционирования, предпочтение следует отдавать моделям с максимально высоким его значением. Можно сделать вывод, что современные канатные российские экскаваторы линейки ЭКГ в равных условиях эксплуатации способны конкурировать с импортными экскаваторами. При этом современный электрический карьерный экскаватор ЭКГ по этому показателю на 40 % уступает экскаватору ЭГ-150 и на 20 % превышает показатель экскаватора РС8000-6 [8].

Сравнивая базовый коэффициент эффективности функционирования экскаватора с аналогичным по фактическому объему отгруженной горной массы за оцениваемый период и фактическому значению расхода энергии, затраченной экскаватором (для гидравлического экскаватора – это расход топлива), легко оценить неэффективность работы экскаватора в конкретных условиях эксплуатации и выявить слабые места этой неэффективности [8, 17]. Сравнение теоретических значений эталонной работы гидравлических экскаваторов третьей типоразмерной группы с вместимостью ковша 21-22 м<sup>3</sup> (CAT6040, Komatsu PC4000, Hitachi Ex3600, Libherr9400) при добыче угля и отечественного ЭКГ-18Р по коэффициенту использования показало, что экскаватор ЭКГ выгодно отличается от гидравлических. Коэффициент использования отечественной модели составляет 1,82, что лучше в 2,7-3,3 раза по сравнению с гидравлическими экскаваторами третьей группы [8].

Несоответствие условий эксплуатации единым нормам выработки (ЕНВ) обуславливает существенное отклонение наработки экскаваторов от ее номинальной величины, способствует интенсификации деградационных процессов, ведущих к ускоренному снижению остаточного ресурса узлов и агрегатов экскаваторов, что способствует увеличению количества отказов, повышению сложности и трудоемкости ремонтных работ и росту себестоимости экскавации горной массы.

Несмотря на большой объем теоретических и экспериментальных исследований [4-7, 9] в области повышения эффективности работы современных карьерных экскаваторов, не в полной мере учитываются конструктивные особенности, условия и режимы эксплуатации с учетом технического состояния добычных машин, а также применяемой системы технического обслуживания и ремонтов. Для оценки надежности карьерных экскаваторов и эффективности их работы часто используют нестандартизованные показатели, носящие не всегда объективный характер, вследствие отсутствия четких объективных критериев учета непроизводительного времени работы, что делает задачу комплексной оценки факторов, определяющих наработку и эффективность эксплуатации карьерных экскаваторов, актуальной, особенно в условиях создания новой линейки экскаваторов типа ЭКГ [1]. Экскаваторы новой продуктовой линейки производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» отвечают современным требованиям эргономики и безопасности горного производства. Одним из востребованных типоразмеров новых экскаваторов является ЭКГ-18Р/20К. По техническим характеристикам он успешно конкурирует с моделями экскаваторов зарубежного производства с полезной нагрузкой в ковше (Payload) 35-40 т [1, 2, 13]. Рассмотрим подробнее влияние факторов на эксплуатацию экскаваторов на примере электрических карьерных экскаваторов.

**Модель комплексной оценки наработки карьерных экскаваторов.** На основе анализа научно-методической базы оценки и обеспечения эффективности функционирования и технического состояния карьерных экскаваторов в зависимости от условий и режимов их эксплуатации установлены и классифицированы факторы, влияющие на работоспособность карьерных экскаваторов цикличного действия [15, 16]. Согласно предложенной классификации влияющие факторы разделены на шесть основных групп: 1 – горно-геологические и горно-технические; 2 – климатические; 3 – качество подготовки забоя и горной массы; 4 – управление экскаватором; 5 – техническое состояние экскаватора; 6 – организация ведения горных работ.

Создание модели комплексной оценки наработки карьерного экскаватора цикличного действия обусловлено необходимостью получения объективной комплексной оценки эффективности использования экскаватора как изделия конкретного назначения (имеющего один основной вариант назначения) в определенных условиях и режимах эксплуатации, технического обслуживания и хранения. Оценка проводится в сравнении с нормальными (базовыми) условиями и режимами эксплуатации, применительно к которым экскаватор и проектируется. На основе полученной сравнительной оценки проводится прогноз изменения технического состояния объекта, его наработки и(или) остаточного ресурса экскаватора с учетом возможного негативного влияния факторов, ведущих к снижению эксплуатационных возможностей и оптимизации системы технического обслуживания.

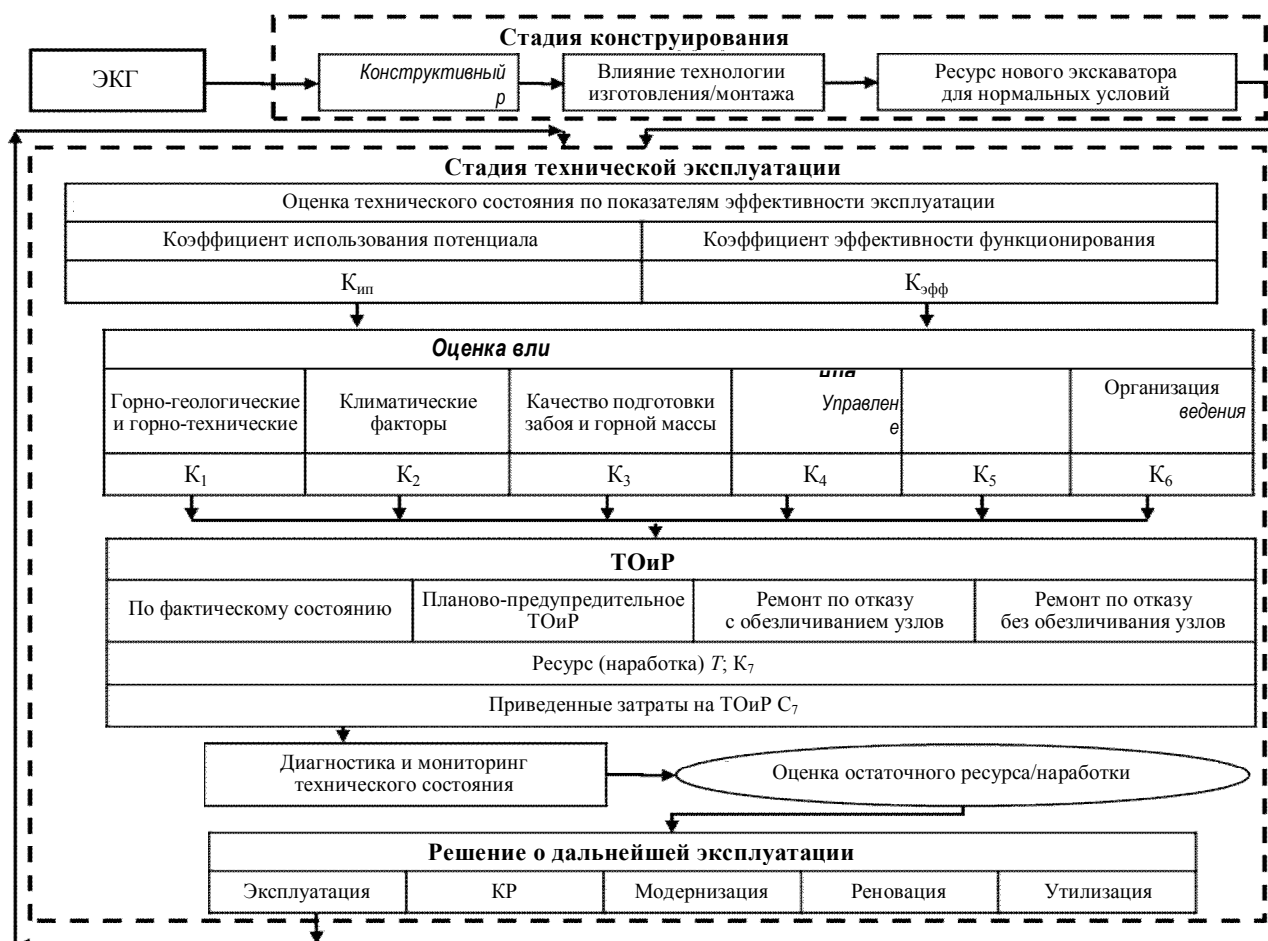


Рис.1. Структура модели оценки наработки экскаватора

Структура модели оценки наработки карьерного экскаватора (рис.1) описывает изменение наработки от приведенных выше групп влияющих факторов в процессе эксплуатации экскаватора [3, 17]. Данная модель является инструментом, позволяющим оценить интенсивность выработки ресурса конкретного экскаватора в процессе его эксплуатации, и корректно используется как при рассмотрении экскаватора в качестве единого технического объекта, так и при анализе работы отдельных элементов и систем горной машины. Номенклатура блоков информационно-аналоговой модели соответствует членам последовательности простых чисел.

Исходным является положение: на стадии проектной разработки машины закладывается ее конструктивный ресурс, соответствующий сроку службы экскаватора в нормальных условиях эксплуатации, определяемый его параметрами и особенностями конструкции. Так, для карьерных экскаваторов ЭКГ-10 и ЭКГ-15 конструктивный срок службы при эксплуатации в нормальных условиях составляет 17 лет с двумя капитальными ремонтами. В то же время срок службы экскаваторов новой линейки ЭКГ-12К, ЭКГ-32Р, ЭКГ-18Р/20К составляет 20 лет эксплуатации с одним капитальным ремонтом. При этом заводом-изготовителем гарантируется наработка редукторов главных приводов 65-75 тыс. машино-часов, что эквивалентно 10 годам эксплуатации до капитального ремонта.

Влияние технологии изготовления и монтажа снижает конструктивный ресурс узлов и деталей экскаватора. Это влияние может иметь существенный разброс и в зависимости от качества технологии изготовления и монтажа может привести к снижению до 90 % ресурса номинального значения.

В процессе исследования выявлено, что для оценки эффективности эксплуатации и работоспособности карьерных экскаваторов на горно-добывающих предприятиях РФ и СНГ широко используются показатели: коэффициент технической готовности  $K_{тг}$  и коэффициент использования оборудования  $K_{ио}$ , которые носят субъективный характер и не входят в номенклатуру стандартизованных показателей. Методика их определения существенно отличается на разных предприятиях.

Так, значение коэффициента технической готовности экскаваторов ЭКГ-18Р (рис.2, 3) в условиях ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» практически не изменяется. Величина  $X$ -неэффективности (отклонение значений фактических показателей от базовой величины) при использовании этих показателей составляет 2-3 %. Таким образом, использование коэффициента  $K_{тг}$  как индикатора фактического

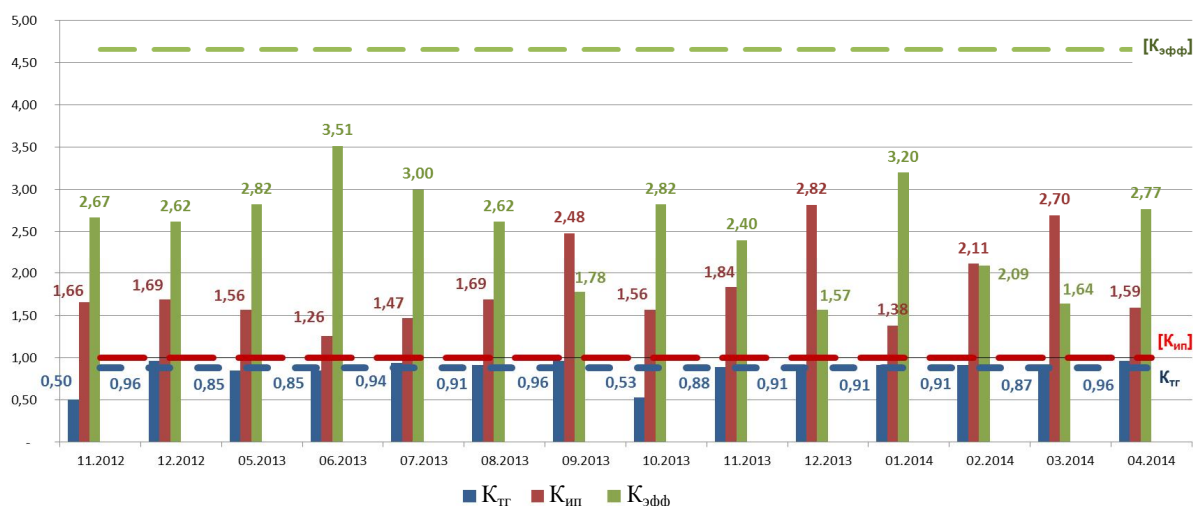


Рис.2. Фактические значения коэффициентов технической готовности, использования потенциала, эффективности функционирования и их теоретические базовые значения для экскаватора ЭКГ-18Р № 1

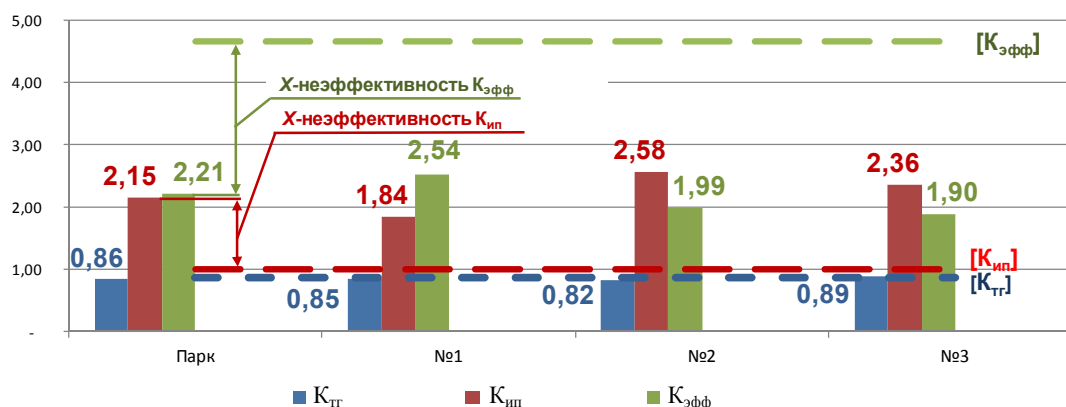


Рис.3. Средние значения коэффициентов технической готовности, использования потенциала, эффективности функционирования и их теоретические базовые значения

состояния машины и эффективности ее эксплуатации не оправдан, так как его отклик на изменение внешних условий и внутренних процессов минимален виду высокой инертности.

Для устранения выявленных противоречий предложено оценивать эффективность использования карьерных экскаваторов по следующим показателям: коэффициенту использования потенциала  $K_{ип}$  и коэффициенту эффективности функционирования  $K_{эфф}$ , которые позволяют оценить безотказность, ремонтпригодность и долговечность рассматриваемого объекта.

Коэффициент использования потенциала экскаватора  $K_{ип}$  равен отношению удельной фактически затраченной работы по отношению к базовой для определенного типа экскаватора и определяется по выражению [3]:

$$K_{ип} = \frac{W_o Q_{\phi}^{-1}}{[W_{o.н}] P_{ayload}^{-1}}, \quad (1)$$

где  $W_o$  – фактическое значение расхода электроэнергии, определяемое по счетчику экскаватора, кВт·ч;  $[W_{o.н}]$  – номинальный расход электроэнергии экскаватора в нормальных условиях эксплуатации за цикл, кВт·ч;  $Q_{\phi}$  – фактическая масса отгруженной горной породы за оцениваемый период, т;  $P_{ayload}$  – полезная нагрузка в ковше, т.

Для оценки непроизводительных затрат времени эксплуатации экскаваторов предложен показатель, равный отношению суммарной наработки экскаватора к соответствующему расходу энергии за тот же промежуток календарного времени – коэффициент эффективности функционирования:

$$K_{эфф} = \frac{Q_{\phi}}{W_o}. \quad (2)$$



Оценивать  $X$ -неэффективность коэффициента  $K_{эфф}$  при контроле энергопотребления следует по отклонению от базовой величины, определяемой как отношение полезной нагрузки в ковше экскаватора к теоретическому значению номинального расхода электроэнергии.

Теоретическое значение номинального расхода электроэнергии за единичный цикл экскавации определено на примере карьерного гусеничного экскаватора ЭКГ-18Р/20К в результате анализа цикловых диаграмм его главных приводов и с учетом потребления электроэнергии на собственные нужды составляет 8,61 кВт·ч. Полученное в результате теоретических исследований значение номинального расхода электроэнергии за цикл экскавации коррелирует с результатами экспериментальной оценки расхода электроэнергии экскаваторным приводом в условно номинальных условиях эксплуатации, проведенным разработчиком электропривода экскаватора ЭКГ-18Р компанией «Объединенная энергия».

Экспериментально эффективность функционирования карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К № 1, 2 и 3 оценена с использованием предложенных коэффициентов в производственных условиях ОАО «УК «Кузбассразрезуголь». Фиксация значений фактического расхода электроэнергии производилась по показаниям штатной информационно-диагностической системы, а наработка экскаватора – по отчетной информации разрезом.

Фактические значения коэффициентов  $K_{ип}$  и  $K_{эфф}$  (рис.2, 3) имеют высокую динамику при изменении реальных условий эксплуатации, что свидетельствует о хорошем их отклике на внешние изменения. По отклонению  $K_{ип}$  и  $K_{эфф}$  от теоретических базовых значений (красная и зеленая пунктирные линии соответственно) возможно оценить величину  $X$ -неэффективности функционирования экскаватора. Объективность оценки по предлагаемым коэффициентам сохранения эффективности гарантируется данными диспетчерской службы по наработке экскаваторов и контролем расхода электроэнергии штатной информационно-диагностической системы [3].

Теоретические базовые значения коэффициентов  $K_{эфф}$  и  $K_{ип}$  для экскаватора ЭКГ-18Р/20К при использовании в нормальных условиях эксплуатации установлены равными 4,61 и 1,0 т/(кВт·ч) соответственно.

Установлено, что отклонение фактических значений предложенных коэффициентов в среднем по парку экскаваторов ЭКГ-18Р имеет расхождение с теоретическими (базовыми) значениями примерно в 2,2 раза. Таким образом,  $X$ -неэффективность функционирования рассматриваемых экскаваторов в относительном виде составляет 110 %, что характеризует их использование как неэффективное.

Данный подход можно использовать и при оценке сохранения эффективности функционирования гидравлических экскаваторов по расходу дизельного топлива. В таком случае коэффициент использования потенциала примет вид

$$K_{ип} = \frac{\Delta_{\phi}(Q_{\phi})^{-1}}{[\Delta]P_{ayload}^{-1}} = \frac{q_{\phi}q_e^{-1}10^3}{[\Delta]P_{ayload}^{-1}}, \quad (3)$$

где  $\Delta_{\phi}$  – фактический расход энергии, кВт·ч;  $Q_{\phi}$  – фактическая наработка экскаватора за рассматриваемый календарный период, т;  $[\Delta]$  – теоретическое значение расхода энергии в номинальных условиях эксплуатации, кВт·ч;  $P_{ayload}$  – полезная нагрузка в ковше, т;  $q_{\phi}$  – фактический расход дизельного топлива гидравлического экскаватора, кг/т;  $q_e$  – удельный расход топлива двигателя, г/(кВт·ч).

Таким образом, оценка эффективности эксплуатации экскаваторов по предложенным показателям – коэффициенту использования потенциала и коэффициенту эффективности функционирования является наиболее объективной и достоверной, а также соответствует номенклатуре комплексных показателей надежности.

**Реализация оценки наработки карьерных экскаваторов.** Исходными данными для разработанной модели (см. рис.1) являются: полезная нагрузка в ковше экскаватора  $P_{ayload}$ ; доремонтный (послеремонтный) срок службы  $Y$ ; стаж машиниста  $S$ ; фактический коэффициент использования календарного фонда времени  $K_{фкв}$ . Теоретическое базовое значение наработки экскаватора в нормальных условиях эксплуатации  $[Q_{год}]$  определяется как эксплуатационная годовая производительность [3].

Годовая наработка экскаватора в любой период его эксплуатации определяется по предлагаемому выражению с учетом срока его эксплуатации до(после) капитального ремонта:

$$Q_{годY} = [Q_{год}](6 \cdot 10^{-4}Y - 5 \cdot 10^{-4}Y^2 + 1). \quad (4)$$

Номинальный срок эксплуатации до капитального ремонта, полученный с учетом формулы В.И.Русихина, предлагается оценивать по выражению

$$T_{кр} = \frac{1,75(1,7P_{ayload} - 18)}{[Q_{год}]} \quad (5)$$

Годовая наработка экскаватора в фактических условиях эксплуатации  $Q_{год}$  определяется как произведение базовой величины этой наработки и комплекса условий эксплуатации, состоящим из показателей  $K_1$ - $K_6$ ,  $K_7$  согласно блокам алгоритма (см. рис.1), характеризующим изменение величины наработки от степени проявления влияющих факторов.

Так,  $K_1$  фиксирует изменения условий эксплуатации и характеризует влияние горно-геологических и горно-технических условий, в частности, категории горных пород по трудности экскавации, при этом нормальными (базовыми) условиями являются породы III категории. При оценке климатических факторов  $K_2$  необходимо учитывать соответствие климатического исполнения карьерного экскаватора и его оснащение применительно к климатическим условиям, в которых он эксплуатируется. При этом необходимо учитывать их влияние не только на машину, но, в первую очередь, на машиниста (оператора) экскаватора. При соответствии климатического исполнения карьерного экскаватора условиям его работы, а также дополнительным оснащением для создания комфортных условий работы машиниста  $K_2 = 1$ . При некомфортной работе машиниста любые отклонения от нормальных условий автоматически переводят его квалификацию на уровень ниже.

Показатель  $K_3$ , характеризующий качество подготовки забоя и горной массы, определяется отношением наработки экскаваторов к базовой (нормальные условия) и равен для оценки «хорошее» – 1,0; «удовлетворительное» – 0,5; «неудовлетворительное» – 0,15.

Группа факторов «Управление экскаватором» оценивается показателем  $K_4$ . За единицу принято приведенное число циклов нагружения для стажевых групп машинистов экскаваторов с опытом работы более 10 лет. Учтен тот факт, что с течением времени квалификация машиниста повышается, в связи с чем изменение наработки экскаватора описывается ломаной линией (рис.4). При управлении экскаватором машинистами с опытом работы менее одного года на протяжении всего периода эксплуатации (учебный экскаватор) срок службы машины сократится до 6 лет.

Оценка показателя  $K_5$  «Техническое состояние экскаватора» осуществляется по влиянию качества оригинальных и неоригинальных запасных частей, используемых при ремонте экскаваторов. При этом оценка  $K_5$  осуществляется только по основным узлам экскаватора, влияющим на его работоспособность, и принимается равной: 0,2 – для неоригинального ЗИП; 0,7 – оригинальный и неоригинальный ЗИП; 1 – оригинальный ЗИП.

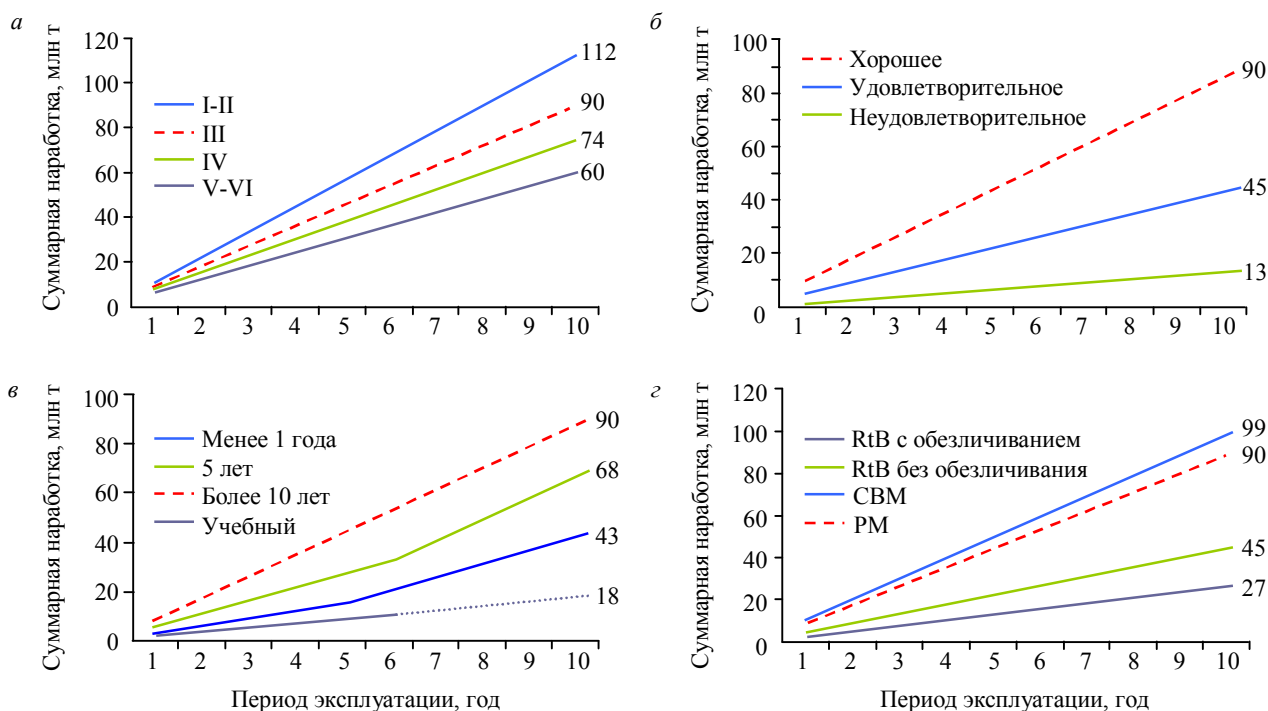


Рис.4. Изменение наработки экскаваторов ЭКГ-18Р/20К до капитального ремонта от внешних условий (пунктиром показана наработка при базовых условиях): а – горно-геологические и горно-технологические факторы (категории породы I-V); б – качество подготовки забоя и горной массы; в – управление экскаватором (стаж машиниста); г – система ТОиР

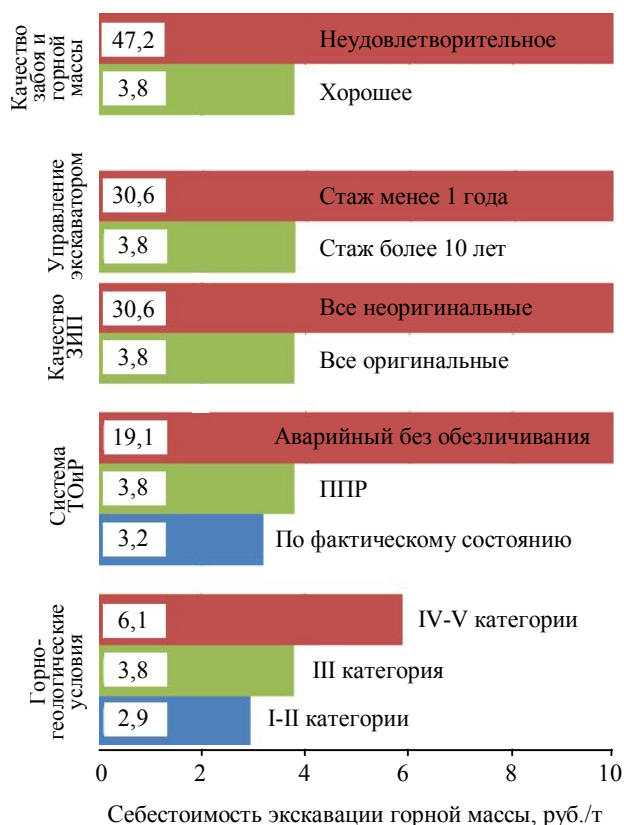


Рис.5. Себестоимость экскавации горной массы экскаватором ЭКГ-18Р/20К при единичном влиянии факторов эксплуатации

подготовки забоя и горной массы (32 %), управление экскаватором (29 %), техническое состояние экскаватора (27 %) и горно-геологические и горно-технические факторы (12 %). Результаты моделирования согласуются с экспертной оценкой влияния факторов эксплуатации на величину наработки экскаваторов.

Оценка себестоимости экскавации горной массы экскаваторами ЭКГ-18Р/20К при единичном изменении факторов влияния представлена на рис.5. Максимальное увеличение себестоимости экскавации при отклонении от нормальных (базовых) условий только фактора «Качество подготовки забоя и горной массы» приводит к увеличению себестоимости экскавации до 12,4 раза.

После определения связи между внешними условиями и внутренними процессами эксплуатации экскаватора на величину его наработки до капитального ремонта была разработана методика определения необходимого обоснованного количества запасных частей и материалов карьерного экскаватора на период его эксплуатации и алгоритм корректировки графика сервисного обслуживания карьерных экскаваторов при проведении ТОиР по фактическому состоянию. При этом уточнение интенсивности расходования ресурса проводится предложенными мероприятиями технического диагностирования в рамках планового ТО и расширением возможностей штатной информационно-диагностической системы функциями акустической эмиссии, виброакустики и вибромониторинга.

В современных условиях задача оценки технического состояния требует использования интегральных критериев, позволяющих идентифицировать текущее техническое состояние и остаточный ресурс машинных агрегатов, отказ которых может привести к созданию аварийных ситуаций, сопровождающихся значительным ущербом. В качестве некоторого обобщенного показателя, на наш взгляд, целесообразно использовать интегрированный показатель, получаемый при комплексной оценке текущего технического состояния объекта при проведении диагностических процедур [12]

$$\Delta = 1 - Q, \quad (6)$$

где  $\Delta$  – степень деградации объекта;  $Q$  – интегральный показатель состояния объекта.

В свою очередь, интегральный показатель состояния объекта определяется усредненным значением приведенных к базовой величине единичных диагностических показателей с учетом их коэффициента весомости

Влияние фактора «Организация ведения горных работ» и, как следствие, значение показателя  $K_6$  определяется по величине отклонения отношения коэффициента использования календарного фонда времени фактического к базовому, равного 0,6.

Показатель  $K_7$ , характеризующий систему ТОиР, определяется как отношение годовой наработки карьерного экскаватора при системе ТОиР, отличной от базовой, к значению наработки при базовом подходе к техническому обслуживанию и ремонтам карьерных экскаваторов (ППР по регламенту).

Проведена оценка изменения наработки экскаватора ЭКГ-18Р/20К до капитального ремонта при детерминированном изменении каждого из влияющих факторов с целью выявления степени этого влияния на изменение наработки. Изменение суммарной наработки экскаватора ЭКГ-18Р/20К до капитального ремонта от внешних факторов, оказывающих наибольшее влияние на изменение наработки экскаватора, представлено на рис.4. Величина наработки в нормальных условиях обозначена пунктирной линией и равна  $90 \cdot 10^6$  т.

По результатам моделирования степень влияния отдельных факторов эксплуатации карьерных экскаваторов распределилась в порядке снижения следующим образом: качество



Рис.6. Алгоритм оценки работоспособности экскаватора

$$Q = N^{-1} \sum_{i=1}^N \frac{[q]_i}{q_i} \alpha_i, \quad (7)$$

где  $q_i$  – величина  $i$ -го единичного показателя, полученного по результатам диагностических процедур;  $[q]_i$  – базовая величина  $i$ -го единичного диагностического показателя, соответствующая новому объекту;  $N$  – общее число диагностических показателей;  $\alpha_i$  – коэффициент весомости  $i$ -го показателя, сумма  $\alpha_i$  равняется единице. В качестве единичных показателей следует брать показатели вибрации и шума, температурные показатели оборудования, величину акустико-эмиссионного сигнала машинного оборудования, вольтамперные характеристики электродвигателей приводов, время выбега до полной остановки и ряд других.

Разработан алгоритм оценки работоспособности экскаватора (рис.6), согласно которому при его эксплуатации осуществляется оценка факторов из перечня влияющих  $K_{5x}$  и показателя  $X$ -неэффективность [14, 17]. При этом задаются ограничивающие  $K_{5x}$  и допустимая величина  $X$ -неэффективности применительно к реальным условиям эксплуатации. По результатам сравнения реальных соответствующих значений допустимым принимаются организационно-технические решения путем направленной корректировки условий и режимов эксплуатации экскаватора.

Таким образом, обеспечиваются условия рациональной эксплуатации экскаватора, после чего планируется перечень мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту в скорректированных условиях его функционирования. Через заданный промежуток времени мероприятия по оценке и корректировке условий и режимов эксплуатации повторяются. При достижении экскаватором предельного состояния принимается решение о проведении капитального ремонта, модернизации, реновации или утилизации.

**Выводы.** Отечественные карьерные экскаваторы новой линейки производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г.Коробкова» отвечают современным требованиям эргономики и безопасности горного производства и вполне конкурентоспособны в сравнении с зарубежными гидравлическими экскаваторами. При этом коэффициент использования отечественных ЭКГ лучше в 2,7-3,3 раза по сравнению с гидравлическими экскаваторами аналогичной грузоподъемности.

Для повышения достоверности оценки эффективности применения в эксплуатации карьерного экскаватора предложено отказаться от нестандартизованных показателей, использовать коэффициенты сохранения эффективности  $K_{ин}$  и  $K_{эфф}$ , определяющие  $X$ -неэффективность эксплуатации карьерных экскаваторов по критерию полноты использования потенциала экскаватора. Предложенные комплексные показатели оценивают безотказность, ремонтпригодность и долговечность экскаватора как системы.





На основе полученных в результате экспериментальных исследований значений энергопотребления, коэффициентов использования потенциала  $K_{ип}$  и эффективности функционирования  $K_{эфф}$  экскаваторов ЭКГ-18Р в производственных условиях ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» оценена  $X$ -неэффективность, которая в среднем по парку составляет 110 %, что характеризует использование экскаваторов как неэффективное.

На основе комплексной оценки факторов установлено, что на наработку карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р наибольшее влияние оказывают следующие факторы: качество подготовки забоя и горной массы, управление экскаватором, техническое состояние экскаватора и горно-геологические и горно-технические факторы. Полученные результаты коррелируют с экспертными оценками, а для экскаватора ЭКГ-18Р влияние единичного фактора снижает наработку экскаватора до 85 % и повышает себестоимость экскавации горной массы до 12,4 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ганин А.Р. Практические результаты внедрения экскаваторов новой продуктовой линейки ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г.Коробкова» на горных предприятиях России / А.Р.Ганин, Т.В.Донченко, Д.А.Шибанов // Горная промышленность. 2013. № 2. С.6-9.
2. Ганин А.Р. Современные инженерные решения и практический опыт эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К производства «ИЗ-КАРТЭКС» / А.Р.Ганин, Т.В.Донченко, Д.А. Шибанов // Горное дело. 2014. № 1(2). С.40-47.
3. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства «ИЗ-КАРТЭКС» / Д.А.Шибанов, Р.А.Шишляников, П.В.Иванова, С.Л.Иванов // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 9 (118). С.3-9.
4. Кантович Л.И. Горные машины / Л.И.Кантович, В.Н.Гетопанов. М.: Недра, 1989. 304 с.
5. Повышение эффективности ремонтного производства горного предприятия с учетом результатов аудита / Л.И.Андреева, Т.И.Красникова, Д.Р.Давлетшина, Е.С.Баранова // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 4. С.28-32.
6. Махно Д.Е. Эксплуатация и ремонт механических лопат в условиях Севера / Д.Е.Махно, А.И.Шадрин. М.: Недра, 1992. 127 с.
7. Морозов В.И. Сервисное обслуживание карьерных экскаваторов цикличного действия / В.И.Морозов, Г.К.Лазарев // Мировая горная промышленность. 1996. С.48-52.
8. Падучин Д.А. Сравнительный анализ одноковшовых карьерных экскаваторов с механическим и гидравлическим объемным приводами / Д.А.Падучин, С.Л.Иванов // Технические науки – от теории к практике: Сб. статей LVII Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК. 2016. С.37-42.
9. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров: М.: Изд-во «Майнинг Медиа Групп», 2013. 594 с.
10. Подэрни Р.Ю. Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой / Р.Ю.Подэрни, П.Булес // Горный журнал. 2015. № 1. С.55-61.
11. Подэрни Р.Ю. Экономико-вероятностная модель оценки стоимости эксплуатации, технического обслуживания и оптимального срока службы карьерного гидравлического экскаватора / Р.Ю.Подэрни, П.Булес // Горная промышленность. 2015. № 6. С.52-54.
12. Решетников С.О. Развитие системы технического обслуживания технологического оборудования для повышения его надежности / С.О.Решетников, С.Л.Иванов // Инновации на транспорте и в машиностроении: Сб. тр. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. Т.3. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2016. С.48-51.
13. Самолазов А.В. Практические результаты внедрения экскаваторов ЭКГ-18Р и ЭКГ-32Р производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г.Коробкова» на угледобывающих предприятиях России / А.В.Самолазов, Т.В.Донченко, Д.А.Шибанов // Уголь. 2013. № 4. С.36-38.
14. Совершенствование стратегии технического сервиса карьерных экскаваторов введением в систему Total Productivity Maintenance / Д.А.Шибанов, С.Л.Иванов, А.С.Фокин, И.Е.Звонарев // Записки Горного института. 2014. Т.209. С.109-115.
15. Шибанов Д.А. Влияние факторов эксплуатации карьерных экскаваторов на их техническое состояние / Д.А.Шибанов, С.Л.Иванов, И.Е.Звонарев // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: Сб. науч. тр. 9-й Междунар. конф. Т.1. БНТУ, Минск. 2013. С.430-433.
16. Шибанов Д.А. Оценка эффективности эксплуатации карьерных экскаваторов / Д.А.Шибанов, С.Л.Иванов, П.В.Иванова // Наука и образование в жизни современного общества: сб. науч. тр. Ч.3. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. С.158-160.
17. Шибанов Д.А. Тарификация влияющих факторов на работу современных карьерных экскаваторов по себестоимости экскавации горной массы / Д.А.Шибанов, П.В.Иванова, С.Л.Иванов // Открытые горные работы в XXI веке. Горный информационно-аналитический бюллетень. Специальный выпуск. 2015. № 45-2. С.24-33.

*Автор С.Л.Иванов, д-р техн. наук, профессор, lisa\_lisa74@mail.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Россия).*

*Статья принята к публикации 30.06.2016.*