

УДК 629.114:622.684

**Ю.А. Монастырский, профессор, д-р техн. наук,**  
**В.В. Потапенко, ст. преподаватель**

*ГВУЗ «Криворожский национальный университет»  
ул. XXII партсъезда, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027  
monastirskiy08@rambler.ru, romantihk@mail.ru*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕСУРСНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ**

*Выполнено моделирование ресурсных и технологических состояний функционирования карьерных самосвалов БелАЗ. Определено направление повышения эффективности эксплуатации горнотранспортных машин с возможностью адаптации для конкретного предприятия по критерию минимума затрат на владение.*

**Ключевые слова:** карьерный самосвал, ресурсные и технологические состояния, математическая модель.

**Постановка проблемы.** На промышленных предприятиях Украины эксплуатируется свыше 2500 карьерных самосвалов БелАЗ, в Криворожском железорудном бассейне сосредоточено около трети украинского парка машин, в том числе более 250 грузоподъемностью 120-130 т. Позиции открытого способа разработки полезных ископаемых укрепляются, удельный вес самосвалов увеличивается.

Углубление выработок ухудшает горнотехнические условия, повышает эксплуатационные нагрузки, снижает надежность техники и эффективность транспортировки. Одним из резервов снижения стоимости жизненного цикла машин есть усовершенствование технического обслуживания и ремонта.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Продолжительная и надежная работа карьерных самосвалов возможна при условии систематического и качественного проведения мер технического обслуживания, диагностирования и ремонта.

Среди методов исследований по усовершенствованию технического обслуживания и ремонта оборудования выделяются моделирование процессов эксплуатации [1-7]. Если обобщить рассмотренные представления о факторах, влияющих на работоспособность машины, то можно сказать, что при эксплуатации в течение срока службы все виды энергии снижают ее работоспособность (рисунок 1), а энергия, затрачиваемая при техобслуживании и ремонте, идет на поддержание и восстановление утраченной работоспособности [6]. Известно, что машина теряет свои свойства постепенно, а восстанавливает порциями. В работах [2-4, 7] предложены математические модели эксплуатации и техобслуживания различных видов горных машин.

Авторы модели, изображенной на рисунке 2 [3], представили процесс функционирования техники зависимостью работоспособности от ресурса при системе обслуживания с капитальным ремонтом.

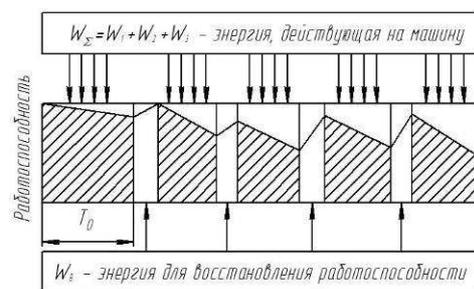


Рисунок 1 – Модель потери и восстановления работоспособности машины в течение срока службы с энергетических позиций



Рисунок 2 – Модель потери и восстановления работоспособности машины в течение ресурса с энергетических позиций

Идентификация фактического состояния сложных технических систем, обнаружение предотказного состояния, прогнозирование динамики изменения состояния в процессе эксплуатации, определение остаточного ресурса – все эти задачи составляют части единой проблемы – обеспечения безотказного функционирования техники. Решение этих задач базируется на использовании всего опыта, накопленного к настоящему времени в научно-техническом направлении «надежность». Комплексное внедрение, рационализация системы технического обслуживания и ремонта карьерных самосвалов состоит в одновременном развитии диагностических и мониторинговых систем в рамках программы

развития обслуживания по фактическому состоянию и использование всех преимуществ системы планово-предупредительного обслуживания и ремонта.

**Постановка задачи.** Целью работы является повышение эффективности эксплуатации карьерных самосвалов БелАЗ за счет использования результатов моделирования системы технического обслуживания, диагностирования и ремонта. Моделирование ресурсных и технологических состояний самосвалов позволит оценивать и прогнозировать фактическое состояние машин, корректировать структуру системы техобслуживания и повышать надежность работы с уменьшением затрат на владение.

**Материалы и результаты исследования.** Моделирование технологических процессов функционирования карьерных самосвалов является основой для оценки эффективности использования техники и прогнозирования ее состояния.

При моделировании ресурсных состояний за основу принят энергетический подход [6] описания потери, поддержания работоспособности и допущение о пропорциональности восстановленной работоспособности и трудоёмкости работ по техобслуживанию, ремонту. На рисунке 3 представлена общая модель ресурсных состояний при плановых технических обслуживаниях и ремонтах машин. Модель составлена при допущении о прямолинейности линий переходов ресурсных состояний по структуре цикла.

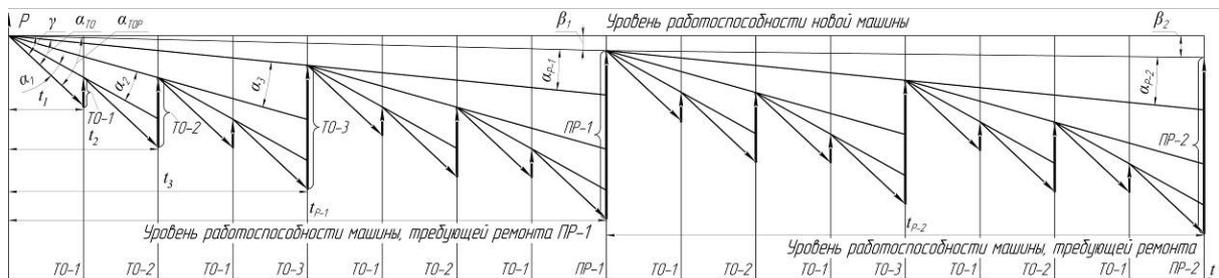


Рисунок 3 – Модель ресурсных состояний при плановых техобслуживаниях и ремонтах горных машин

Модель иллюстрирует процессы потери работоспособности горных машин под воздействием внешней энергии эксплуатационных нагрузок, зависящих от горнотехнических условий и ресурса машин. Наклонные линии показывают постепенную утрату работоспособности, а вертикальные – порционное её поддержание при техническом обслуживании и восстановление при ремонте.

Угол  $\gamma$  определяет наклон прямой потери работоспособности. Без мероприятий системы техобслуживания и ремонта, линия быстро достигла бы предельного состояния, и дальнейшая эксплуатация была невозможна. Эксплуатационное обслуживание предотвращает недопустимые последствия необратимых процессов, приводящих к внезапным аварийным отказам, существенно продлевая срок службы машин и увеличивая их надёжность. На фрагменте модели и по углуграмме ресурсных состояний (рисунок 4) видно, что техническое обслуживание поддерживает работоспособность в объёме, определяемом углом

$$\alpha_{TO} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \quad (1)$$

где  $\alpha_1$  – первая составляющая техобслуживания;  $\alpha_2$  – вторая составляющая техобслуживания;  $\alpha_3$  – третья составляющая техобслуживания.

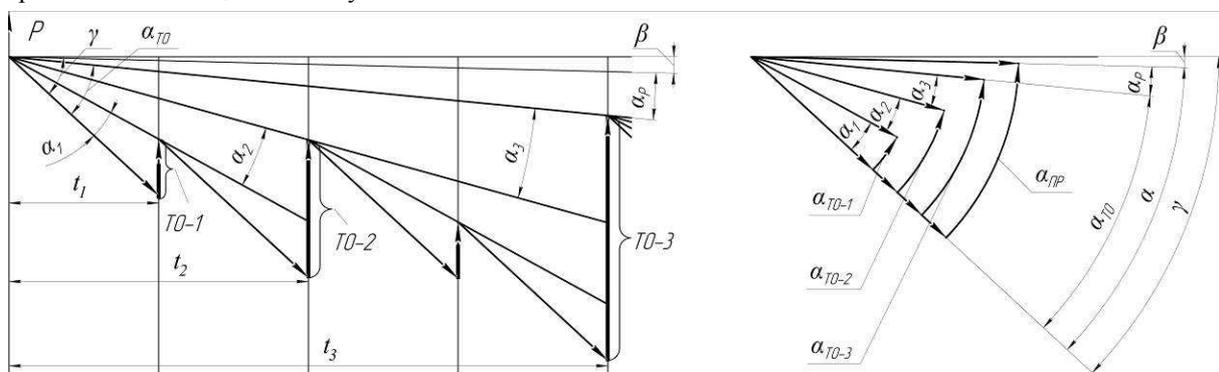


Рисунок 4 – Фрагмент модели и углограмма ресурсных состояний горных машин

При проведении ТО-1 линия работоспособности изменяется на угол  $\alpha_{TO-1} = \alpha_1$ ; при проведении ТО-2 на угол  $\alpha_{TO-2} = \alpha_1 + \alpha_2$ ; при проведении ТО-3 на угол  $\alpha_{TO-3} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ . Плановый ремонт

восстанавливает работоспособность на долю, определяемую углом

$$\alpha_{\text{ПР}} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_p = \alpha_{\text{ТО}} + \alpha_p = \alpha \tag{2}$$

где  $\alpha_p$  – составляющая ремонта,  $\alpha$  – общий угол поддержания и восстановления работоспособности.

Работоспособность горных машин при ремонте полностью не восстанавливается. Угол, определяющий долю невосстановленной работоспособности, вычисляем разностью  $\beta = \gamma - \alpha$ , или

$$\alpha + \beta = \gamma \tag{3}$$

Все углы восстановления  $\alpha_i$  являются постоянными, определёнными трудоёмкостью соответствующих видов работ. Угол потери работоспособности  $\gamma$  может меняться как от перехода к переходу, в зависимости от нагрузок и ресурса так и в границах перехода, как следствие, прямо влияя на угол невосстановленной работоспособности  $\beta$ .

Совместив структуру цикла планово-предупредительной системы технического обслуживания, диагностирования и ремонта карьерных самосвалов БелАЗ с моделью ресурсных состояний получена графическая иллюстрация процессов потери работоспособности, её поддержания и восстановления согласно регламенту (рисунок 5).

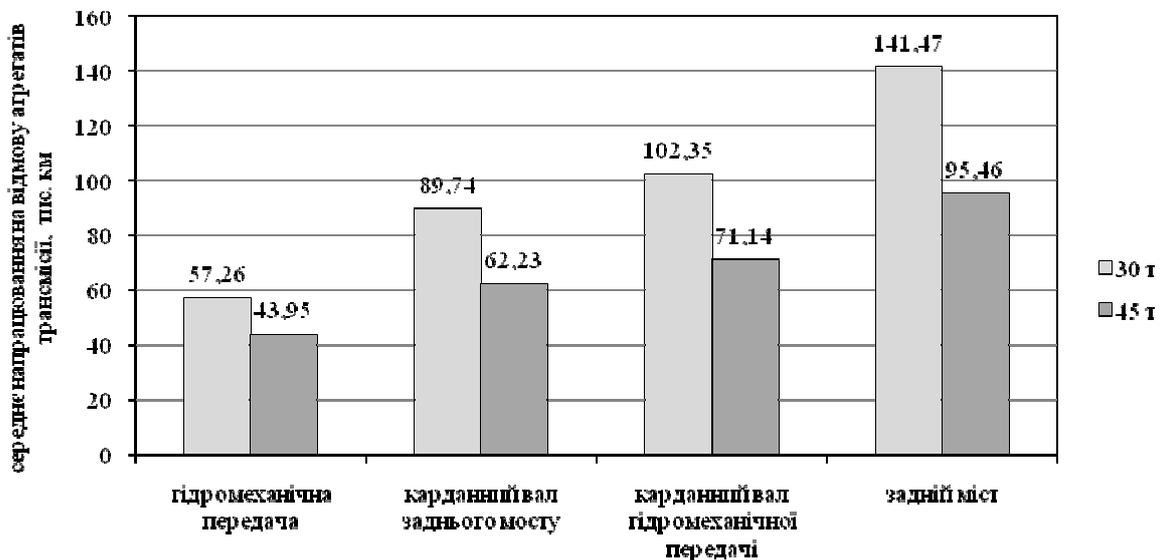


Рисунок 5 – Структура цикла планово-предупредительного ремонта карьерных самосвалов БелАЗ а, совмещённая с моделью ресурсных состояний б

Разрабатывается методика определения углов наклона прямых потерь работоспособности, в зависимости от горнотехнических условий и возраста машин (рисунок б).

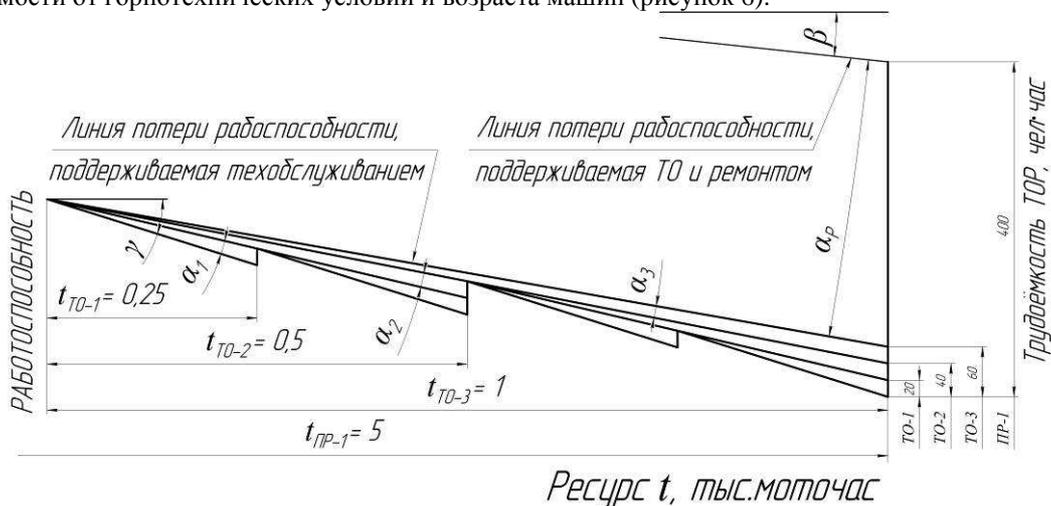


Рисунок б – Фрагмент модели ресурсных состояний карьерных самосвалов БелАЗ

Для моделирования технологических состояний и переходов между ними в работе используется математический аппарат марковских процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем [5]. При допущении о мгновенном выявлении отказа системы, немедленного начала ее обслуживания, восстановления можно составить теоретическую модель функционирования карьерных самосвалов, представив множество технологических состояний тремя подмножествами: эксплуатации, техобслуживания и ремонта.

Исследования показали, что карьерные самосвалы до четверти календарного времени находятся в техническом обслуживании и ремонте, а трудозатраты на эту работу достигают трети общих затрат на транспортировку. Фактическое функционирование карьерного самосвала БелАЗ характеризуется дискретными состояниями, которые определяет «Положение о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ» [8]. Для карьерных самосвалов по периодичности, перечню и трудоемкости выполняемых работ установлены следующие виды технического обслуживания и ремонта: ежедневное техническое обслуживание – ЕО; первое техническое обслуживание – ТО-1 (через 250 моточасов); второе техническое обслуживание – ТО-2 (через 500 моточасов); третье техническое обслуживание – ТО-3 (через 1000 моточасов); сезонное техническое обслуживание – СО; регламентированный плановый ремонт – ПР-1 (через 5 000 моточасов); регламентированный плановый ремонт – ПР-2 (через 8 000...10 000 моточасов); внеплановый текущий ремонт – ТР.

Они образуют структуру графа и являются его вершинами – рабочими зонами (территорией карьера и т.п.), пунктами (местами, зонами) технического обслуживания, диагностирования и ремонта. Дугами графа есть дороги (пути, переходы) между технологическими состояниями. На рисунке 7 представлена модель функционирования карьерных самосвалов в виде графа состояний и переходов, предусматривающая десять технологических состояний. На основе этой модели составлены дифференциальные уравнения вероятностей нахождения в каждом технологическом состоянии функционирования карьерного самосвала, объединенные в систему.

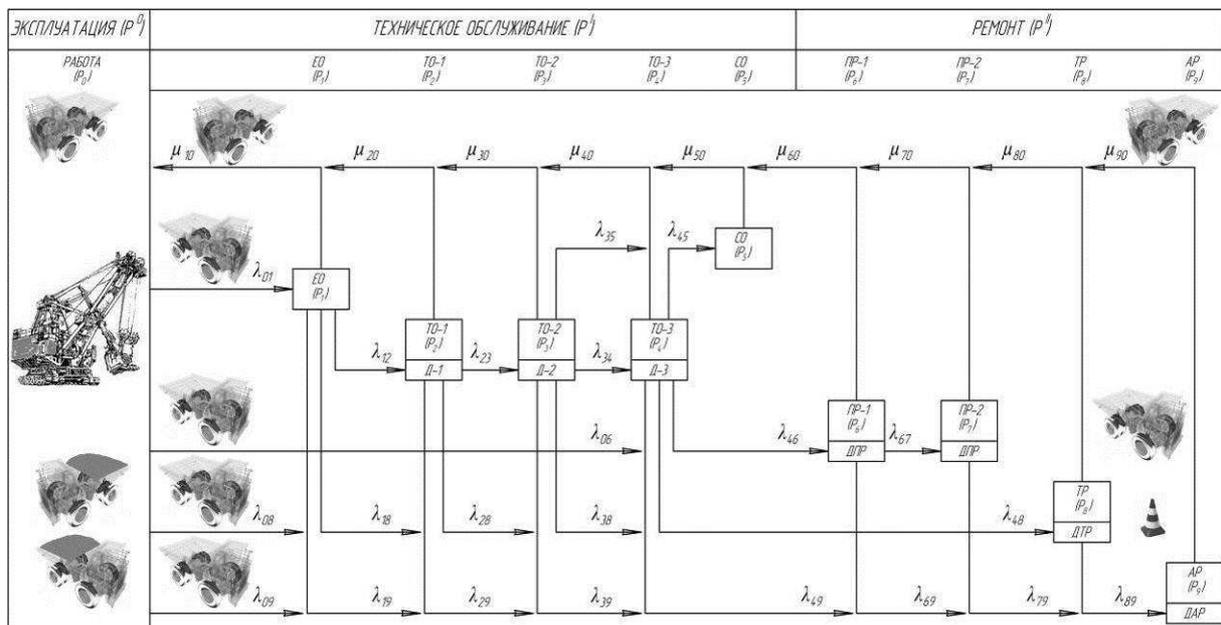


Рисунок 7 – Модель технологических состояний карьерных самосвалов БелАЗ

Переход карьерного самосвала из эксплуатации происходит в стационарном потоке плановых преобразований и нестационарном случайном потоке отказов. Возвращение карьерного самосвала в эксплуатацию происходит в объединенном смешанном потоке восстановлений, образуемом после завершения всех видов поддержания и восстановления работоспособности в подмножествах технического обслуживания и ремонта. Решение системы дифференциальных уравнений позволит определить вероятности нахождения карьерных самосвалов в различных технологических состояниях, интенсивности переходов между ними и рационально корректировать действующую систему технического обслуживания.

**Выводы.** Разработаны математические модели ресурсных и технологических состояний карьерных самосвалов Криворожского железорудного бассейна, потоков событий, с учётом процессов потери, поддержания и восстановления ресурса. На основе моделей планируется выполнить оценку интенсивности переходов, потоков преобразований, отказов, восстановлений, определить законы

распределения ресурса. Объединение и параметрическое согласование моделей ресурсных и технологических состояний даст возможность получать представление о месте и состоянии карьерных самосвалов во времени и пространстве преобразований, оценивать уровень работоспособности и остаточный ресурс, что позволит корректировать действующую систему техобслуживания, диагностики и ремонта, адаптируясь для конкретного предприятия по критерию минимума затрат на владение.

***Библиографический список использованной литературы***

1. Барзилович Е. Ю. Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы. / Е. Ю. Барзилович, В. А. Каштанов. – М., Сов. радио, 1975. – 136 с. с ил.
2. Рудь Ю.С. Надежность и эффективность оборудования фабрик окускования / Ю.С. Рудь. – М. : Недра, 1977. – 200 с.
3. Солод Г.И. Технология машиностроения и ремонт горных машин / Г.И. Солод, В.И. Морозов, В.И. Русихин – М.: Недра, 1988. – 421 с.
4. Красников Ю.Д. Повышение надежности горных выемочных машин / Ю.Д. Красников, С.В. Солод, Х.И. Хазанов – М.: Недра, 1989, – 215 с.: ил.
5. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и её инженерные приложения / Е. С.Вентцель, Л. А. Овчаров – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.– 1991. – 384 с.
6. Проников А. С. Параметрическая надежность машин / А. С. Проников – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 560 с.: ил.
7. Дорошев, Ю.С. Повышение технологической надежности карьерных экскаваторов: монография / Ю.С. Дорошев, С.В. Нестругин. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. – 194 с.
8. «Положение в техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ» г. Жодино, 2004. – 44 с.

*Поступила в редакцию 17.06.2013 г.*

**Монастирський Ю.А., Потапенко В.В. Моделювання ресурсних і технологічних станів функціонування кар'єрних самоскидів БелАЗ**

Виконане моделювання ресурсних і технологічних станів функціонування кар'єрних самоскидів БелАЗ. Визначений напрямок підвищення ефективності експлуатації гірничотранспортних машин з можливістю адаптації для конкретного підприємства за критерієм мінімуму витрат на володіння.

**Ключові слова:** кар'єрний самоскид, ресурсні й технологічні стани, математична модель.

**Monastyrskij Ju. A., Potapenko V. V. Modeling of resource and technological conditions of functioning of BelAZ open pit trucks**

Modeling of resource and technological conditions of functioning of BelAZ open pit trucks is executed. The direction of increase of efficiency of mining-transport cars operation with possibility of adaptation for the concrete enterprise for criterion of a minimum of expenses for possession is defined.

**Keywords:** open pit truck, resource and technological conditions, mathematical model.