

УДК 59.004.5

Кныш А.И., к.т.н., доцент,
Беспалова А.В., к.т.н., доцент,
Дашковская О.П., к.т.н., доцент,
Файзулина О.А., к.т.н., доцент

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
corsarh@soborka.net

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

Анотация. В статье описывается стратегия организации использования в соответствии с их уровнем их технического состояния (ТС), изменяющегося по мере старения машин и управляемого методами технической эксплуатации (ТЭ), основанными на индивидуальном подходе к каждой единице техники. Индивидуальный подход базируется на моделировании процессов изменения ТС по времени, оптимизации сроков службы машин.

Ключевые слова: подъемно-транспортные машины, технический сервис, техническая эксплуатация, моделирование технического состояния, ресурс эксплуатации.

Книш О.І., к.т.н., доцент,
Беспалова А.В., к.т.н., доцент,
Дашковська О.П., к.т.н., доцент,
Файзуліна О.А., к.т.н., доцент

Одеська державна академія будівництва та архітектури
corsarh@soborka.net

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН НА ПРИКЛАДІ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

Анотація. У статті описується стратегія організації використання підйомно-транспортних машин відповідно за рівнем їх технічного стану (ТС), що змінюється в міру старіння машини і керованого методами технічної експлуатації (ТЕ), заснованими на індивідуальному підході до кожної одиниці техніки. Індивідуальний підхід базується на моделюванні процесів зміни ТС за часом та оптимізації строків служби машин.

Ключові слова: підйомно-транспортні машини, технічний сервіс, технічна експлуатація, моделювання технічного стану, ресурс експлуатації.

Knuish A.I., PhD., Assistant Professor,
Bespalova A.V., PhD., Assistant Professor,
Dashkovskaya O.P., PhD., Assistant Professor,
Faizulyna O.A., PhD., Assistant Professor

OPTIMIZATION OF THE TECHNICAL OPERATION OF LIFTING MACHINERY THE EXAMPLE GANTRY CRANE

Abstract. The article describes the strategy of the use of lifting and transport machines in accordance with their level of their technical status (TS), changing as the aging of the machine and the managed methods of technical operation (TO), based on an individual approach to each unit of the technology. Individual approach is based on the modeling of the processes of TS on time, optimization of service machines.

Keywords: hoisting-and-transport cars, technical service, technical operation, modeling of technical condition, operation resource.

Введение. Оптимальное управление эксплуатацией парка машин предусматривает его использование с учетом внешних условий применения, технического состояния (ТС), возможностей эксплуатационного предприятия проводить необходимый комплекс мероприятий по обеспечению работоспособности машин. Анализ теории и практики технической эксплуатации (ТЭ) подъемно-транспортных машин показывает, что развитие методов обеспечения работоспособности происходит в направлении совершенствования профилактической стратегии с контролем характеристик технического состояния, изменяющихся под воздействием внешних факторов. Благодаря такой стратегии система технической эксплуатации (СТЭ) *адаптируется* к конкретным условиям с целью получения максимальной эффективности от использования парка машин. Развитию методологии формирования адаптивной системы управления технической эксплуатацией подъемно-транспортных машин посвящена данная статья.

Цели и задачи. Эффективность любой системы определяется соотношением результата от ее применения и затрат на ее эксплуатацию. Показателем эффективности применения подъемно-транспортных машин может служить прибыль от их использования. Задачей оптимального использования техники является получение максимальной прибыли. Реализация итоговой прибыли от эксплуатации техники в виде функции времени определяется выражением:

$$П(t) = B(t) - Z(t) - Y(t) \rightarrow П_{max} \quad (1)$$

где

$B(t)$, $Z(t)$ – соответственно выручка и расходы от производственной деятельности за расчетный период;

$Y(t)$ – величина ущерба, вызванная срывом нормального хода производственного процесса; t - возраст эксплуатируемого оборудования.

Хотя модель (1) представлена в детерминированном виде, в действительности неопределённость условий эксплуатации обуславливает стохастический характер ее составляющих.

Основной доход предприятие по эксплуатации подъемно-транспортных машин (ПТМ) получает за счет оказания услуг по предоставлению машин организациям. Величина выручки определяется суммой произведения оплачиваемой наработки $T_i(t)$ каждой машины за расчетный период на цену машино-часа $\Pi_{\text{м-ч}}$, т.е. суммой выручки $V_i(t)$ от эксплуатации отдельных машин:

$$B(t) = \sum V_i(t) = \sum T_i(t) \times \Pi_{\text{м-ч}} \quad (2)$$

В случае, если ПЭСМ само подряжается на производство строительных работ, его выручка будет связана с производительностью машины $Q(t)$, ценой единицы продукции c и наработкой $T(t)$:

$$B(t) = \sum Q_i(t) \times c_i \times T_i(t) \times k_{iu} \quad (3)$$

где

k_{iu} – коэффициент использования потенциала машины (рабочего времени, мощности, грузоподъемности и т.п.).

Затраты имеют весьма сложную структуру. В упрощенном виде состав затрат, приходящихся на i -тую машину, можно представить выражением:

$$Z(t) = \sum Z_i(t) = \sum \{ [A_i(t) + Z_i + Z_{\text{ПЭБ}i} + Z_{\text{ВС}i} + H_i + Z_{\text{ПР}}] + [Z_{\text{ГСМ}}(t) + Z_{\text{ТОР}}(t)] \}, \quad (4)$$

где

$A_i(t)$ – амортизационные отчисления;

Z_i – зарплата машинистов;

$Z_{\text{ПЭБ}i}$ – затраты на содержание производственно-эксплуатационной базы;

$Z_{\text{ВС}i}$ – отчисления в вышестоящую организацию, учредителям и т.п.;

H_i – налоги;

$Z_{\text{ПР}}$ – прочие отчисления (на страховки, банковские проценты по кредитам, лизинговые платежи, разрешения, техосмотры и пр.);

$Z_{\text{ГСМ}}(t)$ – затраты на горюче-смазочные материалы и рабочие жидкости;

$Z_{\text{ТОР}}(t)$ – затраты на технические обслуживания и ремонты, в том числе на запчасти и быстроизнашивающиеся части (БИЧ).

Первое слагаемое выражения (4) в квадратных скобках экономисты рассматривают как условно-постоянные затраты, не зависящие от количества выпущенной продукции (отработанных машино-часов) за расчетный период (но это не значит, что $Z_{\text{ПОСТ}}(t)$ не зависят от среднего возраста парка машин). Второе слагаемое в квадратных скобках - переменные затраты, возрастающие пропорционально объему продукции.

Ущерб можно представить, как сопутствующие потери, сопровождающие простои машин из-за отказов. Если отказ возникает вследствие плановых технических воздействий, то ущерб, как правило, не возникает, т.к. система заранее подготавливается к простоям части оборудования. Внезапные же отказы сопровождаются простоями не только отказавшей машины, но и ресурсов,

технологически связанных с данной машиной. Последствием отказов может быть также снижение качества продукции, ущерб в социальной, экологической и др. сферах. Большинство проявлений ущерба обычно можно оценить экономически, причем величина ущерба пропорциональна времени простоя оборудования:

$$Y(t) = \sum Y_i(t) = \sum y_i \times T_{\text{ипр}}(t) \quad , \quad (5)$$

где y_i – величина ущерба в единицу времени.

В общем случае y может быть функцией $T_{\text{ипр}}$. Т. к. продолжительность простоев связана с интенсивностью отказов и временем восстановления, то ущерб, можно рассматривать как комплексный показатель надежности, характеризующий две ее составляющих - безотказность и ремонтпригодность. Т. о., модель (1) связывает технические, экономические и надежность характеристики машины. Кроме того, величина ущерба зависит от характера выполняемой работы. Значит, данный подход позволяет ответить на вопрос - каков будет оптимальный уровень надежности машины для конкретного производственного задания, в зависимости от возможных экономических потерь или событий, оцениваемых в экономическом эквиваленте, вследствие внезапного отказа.

Задачу управления эффективностью применения ПТМ можно разбить на три подзадачи:

- определение оптимального уровня надежности машины с точки зрения получения максимальной прибыли;
- обеспечение оптимального уровня надежности машин средствами (ТЭ);
- использование машин в соответствии с их уровнем надежности.

Модель оптимального уровня надежности машин.

Уровень ТС машин определяется с одной стороны законодательством, нормативами (безопасности, экологичности, эргономики, эстетики и прочими), с другой стороны технико-экономическими соображениями (производительностью, экономичностью, рентабельностью, материало- и энергоемкостью конкурентоспособностью, и др.). Рассматривая технико-экономический аспект, можно подойти к оптимизации надежности машины с двух точек зрения: соотношения между затратами ресурсов на повышение надежности и ущербом, связанным с внезапными отказами (рис. 1); получения максимальной прибыли (рис. 2).

Затраты на повышение надежности машины формируются на стадиях приобретения, обеспечения работоспособности (ТОиР, КР, резервирование).

Для практического использования моделей оптимальной надежности машин следует установить законы динамики показателей (надежности, выручки, прибыли, затрат и возможного ущерба) от срока службы, влияния надежности на экономические показатели, и, наконец, обосновать, какие показатели надежности применять и как на них воздействовать методами технической эксплуатации.

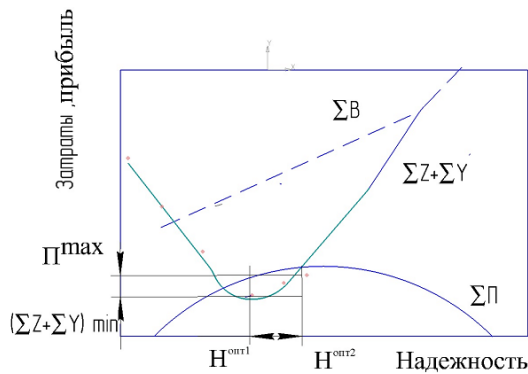


Рис. 1 – Схема определения оптимальной надежности технической системы по минимуму суммы затрат $\sum Z_i$ на обеспечение надежности и ущерба $\sum Y$

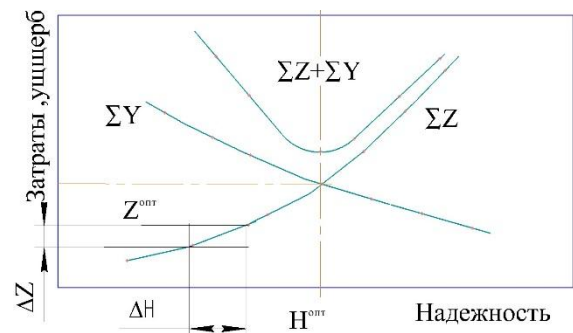


Рис. 2 – Процесс определения оптимальной надежности технической системы

$\Sigma B, \Sigma \Pi, \Sigma Z_i, \Sigma Y$ - накопленные выручка, прибыль, затраты и ущерб от эксплуатации технической системы; $H_{\text{opt}}, Z_{\text{opt}}$ - оптимальные значения уровня надежности машины и затрат на его обеспечение соответственно по условию минимума суммы ущерба и затрат;

$H_{2\text{opt}}, Z_{2\text{opt}}$ - то же по условию максимума прибыли

Модель формирования показателей надежности и эксплуатации парка машин

Согласно формулам (1) и (2) источником прибыли парка машин является наработка. Процесс формирования наработки парка машин, как результата и источника эффективности деятельности ПЭСМ, определяется периодами времени пребывания машин в различных состояниях (рис. 3), варьирование сочетанием которых позволяет вывести показатели использования парка машин (рис. 4). Буква «t» в скобках указывает на зависимость показателей от срока службы машины.



Рис. 3 – Граф возможных состояний машины в процессе ее эксплуатации

Система коэффициентов характеризует:

- надежность машин через комплексные показатели надежности – коэффициенты готовности K_T и технического использования $K_{ТИ}$;
- работу ремонтной службы коэффициентами: простоев в плановых ТО и Р в рабочее время - $K_{РНП}$, простоев в НР в рабочее время - $K_{РНН}$, простоев в плановых и неплановых ТО и Р в рабочее время - $K_{РН}$; работу коммерческой службы через коэффициент использования работоспособных машин $K_{ИРР}$.

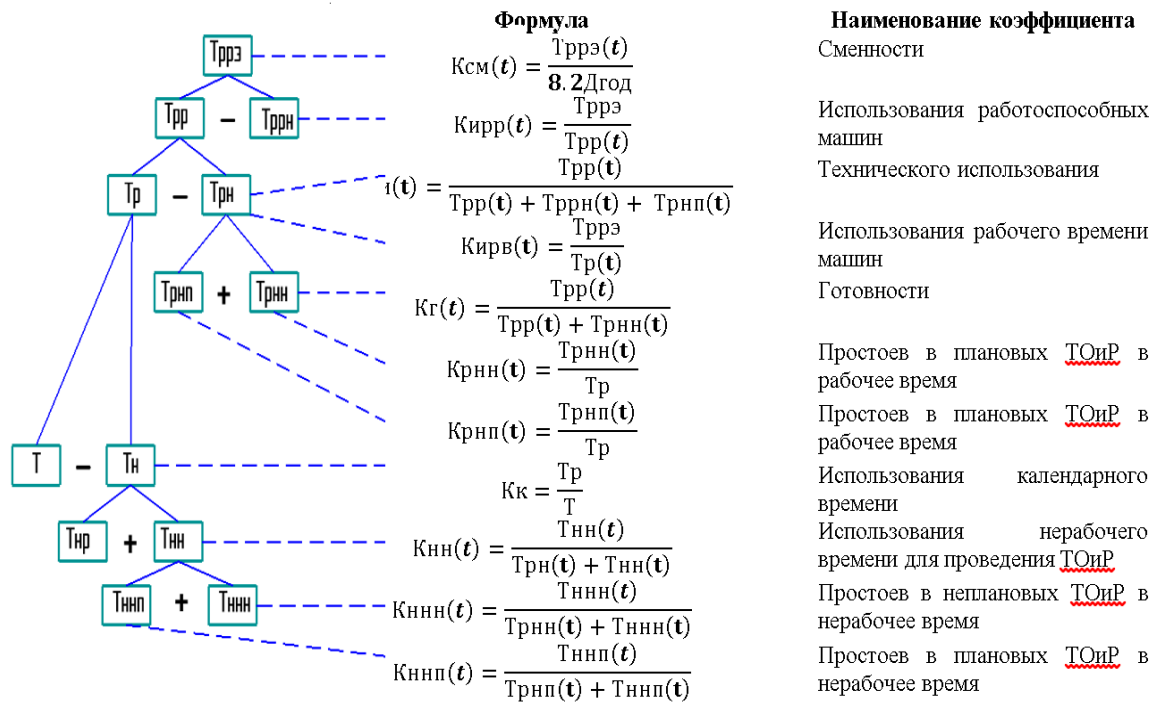


Рис. 4- Модель формирования показателей использования парка машин:
 8,2 - продолжительность рабочей смены, ч; $D_{год}$ - количество дней в году

Динамика ТС машины, как функция срока службы, характеризуется изменением коэффициентов готовности и технического использования по мере старения машины. Эти коэффициенты характеризуют и качество работы системы технической эксплуатации, задача которой минимизировать продолжительность периода пребывания техники в неисправном состоянии

$$[T_{рнн}(t) + T_{рпп}(t)] \rightarrow \min,$$

Последние три показателя характеризуют использование нерабочего времени машины для восстановления ее работоспособности, что весьма рационально. При этом показатели использования рабочего времени заметно улучшаются.

Моделирование надежностных и экономических показателей эксплуатации подъемно-транспортных машин позволило установить динамику активной наработки $T_{рп}(t)$ и увеличение эксплуатационных затрат $Z_{ПЕР}(t)$ с интенсивностью (1,5÷4) % в год. Эти изменения достаточно хорошо (с адекватностью (0,88÷0,92)) описываются экспоненциальной зависимостью с параметром $\beta=0,012\div0,048$ год⁻¹ (параметр старения по наработке β_t и по затратам β_z) (рис.4):

$$T_{рп}(t) = T_0(t) \times K_{г}(t), \tag{6}$$

$$K_{г}(t) = \exp(-\beta_t \times t), \tag{7}$$

$$Z_{ПЕР}(t) = Z_0 \times \exp(\beta_z \times t) \tag{8}$$

где

$T_{pp}(t)$ – продолжительность пребывания машины в работоспособном состоянии в рабочее время;

T_0, Z_0 – наработка и затраты за первый расчетный период новой машины соответственно;

$K_c(t)$ – коэффициент готовности машины;
 t – возраст машины.

Коэффициенты готовности и технического использования связаны через коэффициент планируемого применения машины:

$$K_{ТИ}(t) = K_r(t) \times K_{ПП}(t) \quad (9)$$

Динамика показателей надежности:

– количество неплановых ремонтов вследствие внезапных отказов

$$HP(t) = T_{РПП}(t)/T_B \quad (10)$$

где

T_B – среднее время восстановления работоспособности машины после отказа, ч;

– средняя наработка на отказ

$$T_{от}(t) = T_{PP}(t)/HP(t) \quad (11)$$

– приведенная интенсивность отказов

$$\lambda(t) = 1/[T_{от}(t) + T_B], \text{ ч}^{-1}, \quad (12)$$

– вероятность безотказной работы на отрезке времени ΔT (рис. 7, в)

$$P(t) = \exp[-\lambda(t) \times \Delta T] \quad (13)$$

На рис. 6 и далее графически представлены результаты расчетов в Mathcad показателей для реальных условий эксплуатации портального крана ТАКРАФ по данным Регистра механизации Администрации Морских портов Украины №4 г. Южный, за 2011-2015 годы.

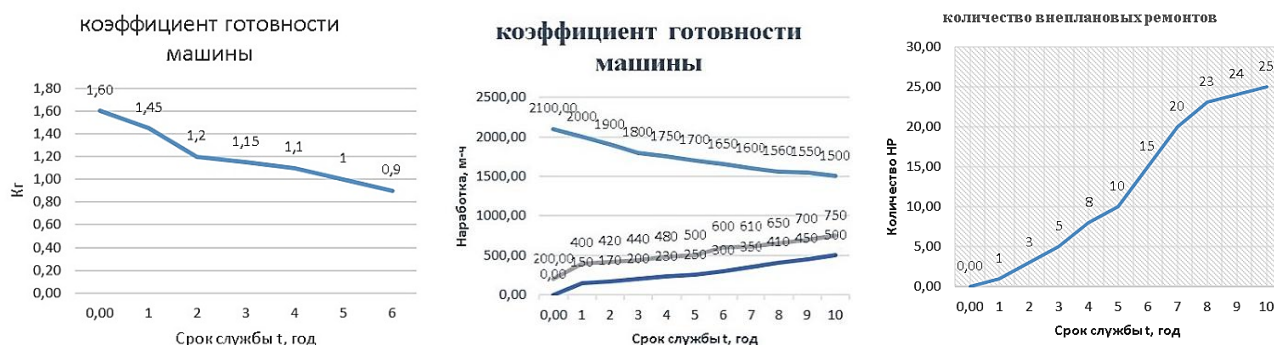


Рис. 5– Зависимость показателей эксплуатации машины от срока службы:

а) коэффициента готовности машины; б) годовой наработки $T_{PP}(t)$, продолжительности простоев в неисправном состоянии $T_{PH}(t)$ и, в том числе, простоев в неплановых ремонтах $T_{PHH}(t)$; в) количества неплановых ремонтов $HP(t)$ в год

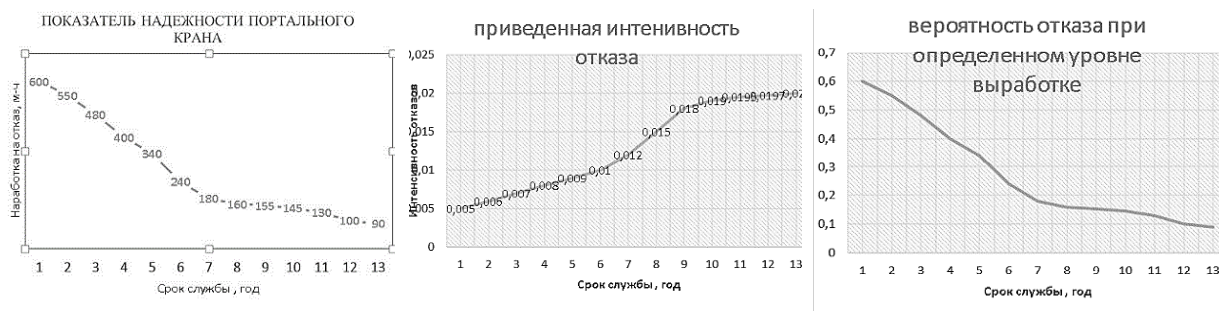


Рис. 6 – Зависимость показателей надежности от срока службы портального крана при установленной наработке на отказ 50-100-200-500 м-ч, приведенной интенсивности нагрузки и срока службы исполнительных механизмов

Выводы:

Представленные показатели надежности позволяют достаточно полно представить картину старения машины и показывают, какую отдачу можно ожидать от техники на определенном отрезке времени ее эксплуатации. Показатели наработки на отказ позволяют изменить принципы построения системы технической эксплуатации подъемно-транспортных машин. Оптимальные значения данных показателей группы машин позволяют создать единую информационную систему ТОиР. С помощью баз данных информационной системы ТОиР производится корректировка режимов в соответствии с условиями использования техники. Модель управления использованием техники в соответствии с уровнем ее надежности позволит поднять на качественно новый уровень систему технической эксплуатации машин. Формирование новой СТЭ предусматривает реинжиниринг существующей на предприятии системы технической эксплуатации, переподготовку инженерных и руководящих кадров.

Литература

1. Репин, С.В. Концепция эффективности эксплуатации строительных машин // Строительные и дорожные машины. – 2007: № 2. – С. 27 – 31; № 4. С. 21 – 25.
2. Репин С.В. Оптимизация показателей надежности строительных машин в эксплуатации // Строительные и дорожные машины, 2006. – № 5. – С. 28 – 31.
3. Антоненко И. Н. Как автоматизировать управление техобслуживанием и ремонтом // Главный механик. – 2007. №5. – С. 34 – 43; №6. – С.36 – 46.
4. Фролов Є.А. Технологічні аспекти керування якістю виробів машинобудування [Текст]: моногр. / Є.А. Фролов, В.В. Муравльов, О.В. Нижник та ін.: під ред. Є.А. Фролова. – Х.:ТОВ «Щедра садиба плюс», 2014. – 240 с.
5. Волков Д.П., Николаев С.Н. Надежность строительных машин и оборудования – М.: Высшая школа, 1979. – 400с.
6. Долматов А. И. Основные тенденции повышения надежности работы машин / А. И. Долматов, А. Я. Мовшович, Н. Д. Жолткевич // Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво, 2013. – Вип. 2. – С. 18 – 21.
7. Сухарев Э.А. Теория эксплуатационной надежности машин. – Ровно: Издательство УГАВХ, 2000. – 164 с.