Ж. М. ШАЕКИНА, Р. А. ЯУШЕВ

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ГОРНЫХ МАШИН: СИТУАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

Бизнес предполагает инженерное и экономическое обоснование всякого решения, в том числе и потребности в запасных частей. Основывались на теории управления запасами, и изучив практику эксплуатации горношахтного оборудования рассмотрим возможные варианты моделей расчета потребности в запасных частях к оборудованию в зависимости от различных ситуаций.

Модель 1. В качестве потребителя запасных частей рассматриваются шахта и его производственные участки непосредственно эксплуатирующие оборудование. Этим подразделениям

необходимо принимать решения по созданию резерва запасных частей, чтобы обеспечить производительную, безопасную и экономическую работу оборудования. Модель расчета запаса по удельным затратам при индивидуальной замене элемента.

Для производственных участков шахт потребности в запасных частях появляется в процессе или планового текущего ремонта оборудования, или при отказах его. При этом основной задачей является установить оптимальную величину расчетного периода замены элемента. Для построения модели расчета оптимального периода замены элемента примем следующие условия. Элемент единичен, отказ его наступает в результате постепенного изменения технических параметров, простой из-за отсутствия запасной части убыточен.

Для вывода модели расчета оптимального периода сделаем следующие предложения. Элемент машины с момента T=0 начинает работу. В начале работы предусматривается проведение планового ремонта через время $t_{пл}$. Если элементы не отказали до назначенного момента времени, то в этот момент начинается плановый ремонт средняя продолжительность которого $T_п$. Если же элемент отказал раньше $t_{пл}$ через случайное время t_0, то с момента отказа начинается послеотказовый ремонт средней продолжительности равный T_0. В этом случае следующий плановый ремонт назначается с момента окончания послеотказового ремонта. Элемент может отказывать лишь при работе. После проведения любого ремонта элемент полностью обновляется. Полагаем, что отказ проявляется практически мгновенно.

Примем, что стоимость единицы времени простоя на послеотказовом ремонте C_0, а стоимость единицы времени простоя на плановом ремонте $C_п$. Вероятность того, что элемент доработает до планового ремонта обозначим $P(t_{ил})$.

Задача заключается в том, что для определения оптимального периода замены нужно рассмотреть суммарные затраты на плановый и послеотказовый ремонт отнесенный к среднему ресурсу элемента, то есть определим удельные затраты Суд по формуле

$$C_{уд}=C_0 T_0 [1-P(t_{ил})]+C_п T_п P(t_{ил})/ P(t)dt=min. \quad (1)$$

При ограничении вида

$$C_п T_п < C_0 T_0,$$

По смыслу модели (1) стоимость планового ремонта должна быть ниже стоимости послеотказового ремонта. Это достигается за счет заблаговременной подготовке к ремонту: организации рабочего места, доставки запчасти и инструмента к месту работы и проведение плановых ремонтов в специально отведенное время или их совмещение с технологическими перерывами. Периодичность, которая, обеспечивает минимум функции (1) является оптимальной и принимается как период через который нужно получать запасную часть для ремонта. При известной производственной программе участка можно давать оценку в потребности на запасные части на все время работы для выполнения программы участка.

Это значит, что заблаговременно можно определить поставщиков запасных частей, условия поставки, моменты поставки запасной части на участок и другие условия.

Модель 2. Идею расчета запаса по удельным затратам рассмотрим для группы однотипных элементов. Эта ситуация может возникнуть, если на производственном участке шахты работают несколько забоев с одинаковым оборудованием.

Рассуждая по аналогии с предыдущей моделью, введем следующее обозначение: N_3 – фиксированное число запасных элементов, C_3 – затраты связанные с заблаговременным приобретением, доставкой и хранением на участке одного элемента в единицу времени, t_0 – продолжительность времени до момента отказа, $t_{пр}(N_3)$ – средние время простая из-за отсутствия запчасти в результате исчерпания N_3, C_0 убытки в единицу времени из-за отсутствия запчастей в результате исчерпания N_3.

В процессе эксплуатации оборудования в рассматриваемой нами системе могут возникнуть следующие события.

События А – производится плановая замена элемента с использованием запасных частей N_3.

События В – производится послеотказовая замена элемента с использованием запасных частей.

События С – возникает простой производственного участка из-за отсутствия запасных частей.

Вероятность того, что элемент не откажет в течении планового периода, как и прежде, обозначим через $P(t_{ил})$.

Вероятность того, что в течении планового периода будет в наличии запасных N_3 частей через P N_3 ($t_{ил}$) .

Последних два события являются независимыми и вероятность их совместного появления определяется произведением их вероятностей. Тогда вероятность события А записывается следующим образом:

$$P(A)=P(t_{ил})\ P\{N\ (t_{ил})\}. \qquad (2)$$

Вероятность события В:

$$P(B)=\{1-P\ (t_{ил})\}\ P\{N_3\ (t_{ил})\}. \qquad (3)$$

Вероятность события С:

$$P(C)=\{1-P(t_{ил})\}\{1-P[N_3(t_{ил})\}. \qquad (4)$$

Удельные затраты за период, через который надо пополнять запасы выразятся следующей зависимостью

$$C_{уд}= N_3\ C_3\ t_{ил}\ P(A)+N_3\ C_3\ t_0\ P(B)+$$
$$+C_0\ t_{ир}\ (N_3)P(C)/P(t)dt=min. \qquad (5)$$

Ограничения для данной модели имеют вид:

$$N_3C_3t_{пл,}<N_3C_3t_0<C_0t_{пл}(N_3).$$

Модель 3. Рассмотрим модель удельных затрат, когда период ремонта и потребность и запасной части устанавливается путем проверки контролируемого параметра, определяющего его техническое состояние.

Отказ детали, узла наступает в результате выхода контролируемого технического параметра за установленный предел, отказ – убыточен; деталь, узел, рассматриваемый в качестве запчасти относится к разряду единичных; продолжительность замены значительная, стоимость запчасти велика. Примерами могут служить узлы и механизмы шахтных подъемных машин, главных вентиляторов шахт, компрессорных установок. Поскольку в данной ситуации имеется технический параметр, который можно контролировать, то затраты будут связаны только с самими проверками технического состояние узла, механизма. Заблаговременное приобретение и хранение таких узлов и механизмов нецелесообразно, так как они имеют большие размеры и массу, стоят дорого. Поэтому заявку и доставку такой запчасти можно производить тогда, когда параметр определяющих его техническое состояние достигает допустимого предела.

В этом случае надо оптимизировать период проверки, чтобы не пропустить момент, когда наступит предельное состояние узла, механизма.

Экономическая функция затрат в этом случае запишется в следующем виде

$$C(t)= [\ C_{хр}\ (k+1)+C_k\ (t_{k-1}-t)]\ dt/t. \qquad (6)$$

Задача состоит в выборе оптимальной последовательности проверок $t_1< t_2<\ldots< t_к<\ldots$, которые минимизировали бы экономическую функцию (6) Очевидно, что проверки распределены на исследоваемом интервале [О, Т], причем решение удовлетворяемыми условия

$$t_{k+1}-t_k+C_{XP}/C_k=t_k-t_{k-1}\ k=1,2,\ldots$$

где C_k – стоимость контроля технического параметра.

Модель 4. Предыдущие модели относились преимущественно к расчету запасных частей для замены при ремонтах оборудования на производственных участках шахт. Теперь рассмотрим модели для планирования потребности запасных частей в целом по шахте, т.е. для условии шахтных складов. При этом непосредственно период ремонта не рассматривается, а определяется норма пополнения запаса или уровень заказа. Для построения математической модели расчета потребности в запасных частях в таких случаях полагаем, что отсутствия запчасти нужной номенклатуры и в нужном количестве приносит убыток в размере С уб, руб. из-за простоев производства и.т.д., вместе с тем заблаговременное приобретение запасной части, также может быть невыгодно, так будут иметь место затраты, связанные с их хранением в размере $C_{хр}$ руб. Кроме того, полагаем, что известны вероятностные характеристики потребности N_c и уровень запаса запчастей N_3.

Наиболее общим и точным будет случаи, Когда потребность является непрерывной неотрицательной величиной с плотностью распределения вероятностей $f(N_3)$. В качестве этой функции может быть принята плотность распределения вероятности технического ресурса до отказа деталей и узлов горных машин, для которых нужно рассчитать потребность в запчастях.

Проведенные наблюдения показали, что плотность распределения ресурса до отказа при постепенном изменении технических параметров подчиняется нормальному, логнормальному

закону, закону Вейбулла и др. Условия неотрицательности функции распределения потребности вытекает из физической сути задачи, условия же непрерывности функции и практических задачах соблюсти трудно.

Поэтому модель расчета построим для дискретного случая.

Экономическая функция затрат запишется следующим образом

$$C(N_з)=C_{хр}=(N_з-N_c)P(N_c)+C_{уb}(N_c-N_з)P(N_c), \quad (7)$$

где $P(N_c)$ – функция распределения вероятности спроса.

Очевидно, что данная функция имеет оптимум. Экономическая функция затрат, при котором уровень заказа будет оптимальным должно соответствовать условию.

$$C(N_з-1)<C(N_з)<C(N_з+1). \quad (8)$$

Рассмотренные выше модели относятся к так называемым экономико-вероятностным моделям. В тех случаях, когда влияние стоимостных издержок незначительно, например, отказы оборудования не вызывает их простоев в процессе работы, то можно пользоваться вероятностно-статистическими моделями.

Модель 5. Модель расчета запаса при групповых заменах однотипных элементов оборудования.

Для горношахтного оборудования – это могут быть линейные секции скребковых конвейеров различных типов и элементы гидрооборудования механизированных крепей – гидростойки, гидродомкраты, гидрозамки, гидроблоки клапанные, гидрораспределители.

Практика использования скребковых конвейеров следующая. Отработавший в данной лаве конвейер демонтируется, вывозится на шахтную поверхность и по необходимости приводная и концевая головки конвейера отправляются на ремонт, а годные линейные секции складируются на шахтной поверхности. Поскольку длина угольного столба при отработке или оконтуривании различная, то и линейные секции отрабатывают различные сроки, т.е. степень их изношенности различная. Далее при монтаже конвейера в новом забое, он собирается из линейных секций с различной степенью изношенности и пополняется новыми рештаками из запаса.

Таким образом, все рештаки установленные в забое можно разделить на несколько групп: новые; в очень хорошем состоянии; в хорошем состояние; в удовлетворительном состояние; еще годное. Эти качественные показатели могут быть оценены опытным обслуживающим персоналом визуально или проведены измерения износа отдельных частей рештака.

Для гидрооборудования механизированных крепей характерна такая практика. После демонтажа из лавы гидрооборудование перебирается и все годные элементы монтируются в новой лаве при необходимости с добавлением нового оборудования. Но здесь также возможно деление на группы по срокам отработанного времени.

Прежде чем приступить к расчетам, покажем, как вычислить вероятности безотказной работы элемента, уже частично изношенной.

Обозначим через $P(t_i)$ вероятность того, что новый элемент сданный в эксплуатацию в момент $t=0$ прослужит до момента $t=t_i$. Через $P(t+t_i)$ обозначим вероятность того, что этот же элемент прослужит еще до момента $t+t_i$. Далее обозначим через $P(t/t_i)$ условная вероятность того, что элемент сданный в эксплуатацию в момент $t=0$ со степенью износа соответствующей вероятности $P(t_i)$ может прослужить до момента t. Согласно теореме умножения вероятностей

$$P(t+t_i) = P(t_i)\,P(t/t_i), \quad (9)$$

т.е. вероятность того, что элемент прослужит до $t + t_i$ равно произведению вероятности того, что он прослужит до t_i на вероятность того, что при этом условии он ещё прослужит в течении времени t.

Тогда для величины $N(t_0)$ можно записать

$$N(t_0) = \sum^{S} n_j P(t_i)\,P(t / t_i), \quad (10)$$

где $j = 1,2,\ldots$; S – число групп; n_j – количество элементов в каждой группе.

Другие обозначения прежние.

Если $n(t_i)$ – число элементов замененных к моменту t_i, то величина

$$N(t_i) = n(t_i) - n(t_{i-1}), \text{ при } (t_i>1) \quad (11)$$

есть норма пополнения запасов или число элементов замененных в промежутках времени t_{i-1} и t_i. Как элементы, поступившие в эксплуатацию или замененные в момент t_0, так и элементы, которые заменяются в момент t_i, будут изнашиваться

по закону P(t), но в момент t число элементов избежавших замену к моменту t_i будут равны:

$$N(t) = N(t_i)\,P(t - t_i) \qquad (12)$$

ибо они поступили в эксплуатацию в момент t_i в количестве $N(t_i)$ а промежуток времени между моментами t_i и t равен $t-t_i$

Таким образом, общее число элементов, находящихся в эксплуатации в момент t будет равно сумме этих прошедших контроль и не забракованных элементов от момента t_i при i-1 до момента $t = t_i$ плюс число годных элементов (прошедших контроль) и находящихся в эксплуатации с момента t = 0, т.е.

$$N(t) = N(t_0) + \sum_{i=1}^{t} N(t_i)P(t - t_i), \qquad (13)$$

где N(t) – общее число элементов, находящихся в эксплуатации за период t; $N(t_0)$ – число элементов оставшихся в эксплуатации с момента t = 0.

Окончательно формула расчета нормы пополнения запаса определяется из выражения

$$N_3(t) = N(t)-N(t_0) - \sum_{i=1}^{t-1} N(t_i)P(t - t_i). \qquad (14)$$

В уравнении (14) вероятностные характеристики можно найти путем анализа статистики количества оборудования находящегося в эксплуатации, количества действующего оборудования, а также количества действующего оборудования, заменяемого в единицу времени.

Модель 6. Расчета запаса при массовых заменах некрупных элементов. Отказ детали внезапный (прорыв, прокол): замена несрочная (простой неубыточен, техника безопасности не нарушается), запчасти к этой детали относится к разряду массовых (резцы угольных комбайнов, рукава высокого давления мехкрепи и др.), продолжительность обнаружения отказа детали и подготовка к замене незначительны (до 20 мин.), стоимость запчасти небольшая (до 100 тенге), деталь быстроизнашивающаяся.

Для данной моделей расчет потребности в запасных частях наиболее целесообразна производить методом экспоненционального сглаживания. Наблюдения показывают, что при внезапных отказах функция распределения наработки до отказа описывается экспоненциональным распределением. Экономическая сторона дела здесь также очевидна, так как затраты на запчасти ничтожны, а ущерб от простоя производственного участка отсутствует, так замена детали может быть выполнена в технологические перерывы.

КарГУ им. Е. А. Букетова *Поступила 28.05.08г.*