

ФОРМИРОВАНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ И КОЛИЧЕСТВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

В.Е. Тарасенко,

зав. каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

К.В. Щурин,

профессор каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Разработан алгоритм оптимизации номенклатуры и количества запасных частей мобильных машин при восстановлении их работоспособности с использованием методов статистического анализа. Данное решение применимо как для парка машин с однородным и равномерным распределением по интервалам наработки в течение ресурсов машин, так и при замене моделей машин, организации новых эксплуатационных предприятий, смене климатических зон или неравномерном пополнении предприятия новыми машинами. Приведены зависимости по определению сопутствующих и удельных капитальных вложений предприятий-изготовителей. С учетом объективных данных по распределению ресурсов отдельных элементов, а также наработкам с начала установки элементов на мобильную машину и по наработкам на планируемый период эксплуатации, разработан метод статистического прогнозирования текущих ремонтов машин.

Ключевые слова: потенциал работоспособности, показатели надежности, ремонтпригодность, экономическая эффективность.

Using the methods of statistical analysis, the optimization algorithm of the range and quantity of spare parts for mobile machines at their performance restoration has been developed. The solution is applicable both for the machine fleet with a homogeneous and regular distribution of operating time intervals during the machinery lifetime, and in case of replacement of machine models, organization of new operating enterprises, climatic zones change or uneven replenishment of an enterprise with new machinery. The dependencies for determining related and specific capital investments of manufacturing enterprises are provided. Given the objective data on the distribution of resources of individual elements, as well as the operating time from the beginning of installation of elements on a mobile machine and on planned period of operation, the method of statistical forecasting of current machinery repairs has been developed.

Key words: performance potential, reliability indicators, maintainability, economic efficiency.

Введение

Надежность мобильных машин (ММ) формируется и закладывается в процессе их проектирования и изготовления, расходуется при их использовании по назначению и поддерживается путем реализации системы технических обслуживаний (ТО) и ремонтов. На всех этапах необходима организация процесса управления надежностью машин. Отказ любого элемента машины необходимо рассматривать во всей совокупности возможных причин его возникновения. При решении реальных задач надежности ММ используются методы различных научных дисциплин.

Состояние ММ в эксплуатации характеризуется, прежде всего, их работоспособностью. В основу анализа состояния ММ в период их эксплуатации и старения Селивановым А.И. положено понятие «годности» как обобщенной характеристики служебных свойств [1]. Дехтеринский Л.В. использовал термин «потенциал работоспособности» [12], который несет

более высокую смысловую нагрузку и наиболее адекватно соответствует сущности процессов старения. Под потенциалом работоспособности (ПР) понимают состояние машины, характеризующее возможную ее работоспособность в фиксированный момент времени, которая оценивается изменением суммарных затрат на производство и последующие ремонты. Поддержание ПР на приемлемом уровне обеспечивается применением целевых эксплуатационных и ремонтных технологий [2-3; 5, 6-11], в том числе заменой деталей, узлов и агрегатов на исправные. Количество таких замен должно определяться по принципу «необходимо и достаточно».

В сфере создания и технической эксплуатации ММ особую актуальность приобретает проблема повышения показателей их ремонтпригодности, решение которой позволит существенным образом улучшить или восстановить ключевые комплексные показатели надежности – безотказность и долговечность. Решению этой проблемы посвящены работы

А.И. Селиванова, В.П. Апсина, В.А. Зорина, К.В. Щурина и других [2-4; 8-11].

Целью данной работы является разработка методов и средств оптимизации номенклатуры и количества запасных частей мобильных машин при восстановлении их работоспособности.

Основная часть

Общий ПР машины можно представить в виде следующих трех составных частей: активной, резервной и пассивной [2; 11].

Активная часть потенциала P_a изменяется в процессе эксплуатации машины, поддерживается и восстанавливается в результате проведения ТО и текущего ремонта (ТР). Текущий ремонт осуществляется для восстановления гарантированной работоспособности машины и состоит в том, что некоторые ее элементы, узлы и агрегаты заменяются, восстанавливаются, а затем проводится их регулировка.

Резервная часть потенциала P_p необходима для предупреждения наступления предельного состояния машины при эксплуатации. Размер зоны P_p определяется величинами различных коэффициентов запаса (прочности, износостойкости и др.). Вход в зону P_p для ПР нежелателен.

Пассивная часть потенциала P_n представляет собой незаменимую часть машины в течение срока службы, материализуется в виде конструкции, материала деталей и трудовых затрат на сборку, окраску и т.п. Пассивная часть ПР изменяется при замене базовых узлов и агрегатов.

С учетом изложенного, ПР изменяется в виде, приведенном на рисунке 1. Начальный потенциал работоспособности P машины определяется как P_{max} .

В результате действия большого количества детерминированных и случайных факторов процесс изменения и восстановления ПР носит случайный характер. Поэтому для множества «одинаковых» машин этот процесс в общем виде можно рассматривать как случайный процесс с перемешиванием его реализаций. На рисунке 1 представлен его частный случай.

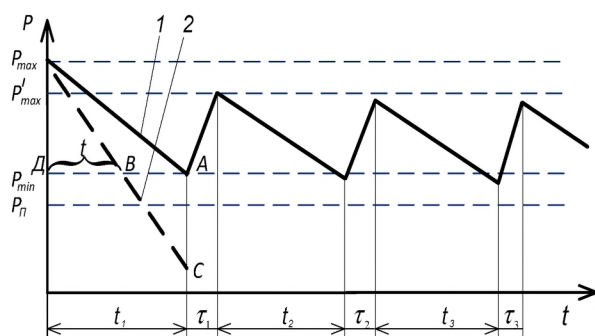


Рисунок 1. Модель изменения и восстановления потенциала работоспособности ММ: t_i – i -е периоды эксплуатации; τ_i – периоды времени, занятые i -м ремонтом; 1 – нормальная эксплуатация; 2 – эксплуатация в экстремальном режиме

Используя положения теории случайных процессов, можно рекомендовать выборочную функцию математического ожидания изменения работоспособности машин для текущего момента времени

$$\tilde{m}_p(t) = P_{max} \cdot e^{-\nu t} \tag{1}$$

и функцию выборочной дисперсии

$$\tilde{D}_p(t) = t(\alpha_1 + \alpha_2 t), \tag{2}$$

где ν, α_1, α_2 – показатель степени и коэффициенты, определяемые экспериментально.

Выбор номенклатуры и нормирование показателей надежности (ПН) и критериев отказов и предельных состояний (КОПС) осуществляется с учетом классификационных признаков, частично представленных в таблице 1.

Реализация мероприятий по повышению надежности может и не требовать существенных затрат, а достигаться, например, методами оптимизации. В этом случае необходимо проводить сравнение различных вариантов достижения требуемого уровня ПН по условию получения наибольшего суммарного экономического эффекта с учетом затрат в сферах производства и эксплуатации объекта и того положительного экономического эффекта, который дает его использование по назначению. В общем случае изменение во времени суммарного экономического эффекта при эксплуатации объекта складывается под влиянием двух основных факторов (рис. 2) [7; 11].

Затраты $Q_n + Q_3$ являются отрицательными в балансе эффективности. С другой стороны, работа объекта дает *положительный экономический эффект* Q_p (прибыль) в зависимости от его целевого назначения.

Изменение Q_3 в функции времени (T) имеет тенденцию к возрастанию, поскольку для отдельных элементов объекта развитие повреждающих процессов приводит к необходимости вкладывать все большие средства для восстановления утрачиваемых свойств.

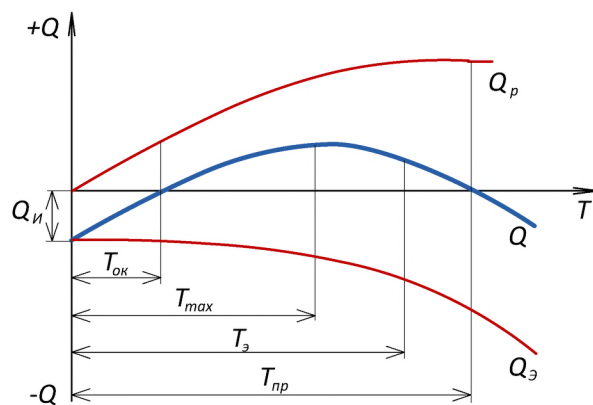


Рисунок 2. Изменение экономической эффективности машины во времени: Q_n – затраты на изготовление нового объекта, включая его проектирование, изготовление, испытание, отладку, транспортировку к месту работы и другие затраты; Q_3 – затраты на эксплуатацию, включая ТО, ремонт, профилактические мероприятия; Q_p – положительный экономический эффект (прибыль)

Таблица 1. Классификация технических систем для нормирования ПН и КОПС

Признак классификации	Детализация признака классификации	Номенклатура и нормы ПН и КОПС
<i>1. Вид объекта</i>		
1.1 Деталь	Подсистема, изготовленная из однородного материала, без применения сборочных операций	ПН и КОПС могут устанавливаться в НТД (технических регламентах, стандартах, ТУ, КД и др.)
1.2 Сборочная единица	Подсистема, составные части которой подлежат соединению между собой	ПН и КОПС устанавливают в НТД
1.3 Комплекс	Система (подсистема), состоящая из двух и более специфицированных подсистем, не соединенных сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных функций	ПН устанавливают в НТД в соответствии с иерархической ступенью подсистемы
1.4 Комплект	Подсистема, состоящая из двух и более подсистем, не соединенных сборочными операциями и предназначенных для выполнения вспомогательных функций	ПН устанавливают на входящие подсистемы по необходимости
<i>2. Связь с ресурсом системы</i>		
2.1 Ресурсная	Подсистема, истощение ресурса которой приводит к истощению ресурса системы, составной частью которой она является	ПН должны соответствовать заданным требованиям на систему. КОПС являются критериями предельного состояния системы
2.2 Нересурсная	Подсистема, ресурс которой истощается одновременно с истощением ресурса системы, составной частью которой она является	Долговечность и ремонтпригодность подсистемы должны обеспечивать долговечность подсистемы, соответствующую ресурсу системы
<i>3. Резервирование</i>		
3.1 Резервируемая подсистема	Подсистема, на случай отказа которой предусмотрен резерв	ПН устанавливают с учетом наличия резерва
3.2 Основная подсистема	Подсистема, выполняющая функции назначения при отсутствии в ней отказов	ПН устанавливают с учетом требований к ПН системы
3.3 Резервная подсистема	Подсистема, выполняющая функции назначения при отказе основной	То же
<i>4. Ремонтпригодность</i>		
4.1 Ремонтируемая подсистема	Подсистема, ремонт которой предусмотрен в НТД или КД	Показатели ремонтпригодности и комплексные ПН устанавливают по согласованию с заказчиком
4.2 Неремонтируемая подсистема	Подсистема, ремонт которой не предусмотрен в НТД или КД	Показатели ремонтпригодности не устанавливаются
4.3 Восстанавливаемая подсистема	Подсистема, восстановление которой предусмотрено в НТД и КД	Показатели ремонтпригодности и комплексные ПН устанавливают по согласованию с заказчиком
4.4 Невосстанавливаемая подсистема	Подсистема, восстановление которой не предусмотрено в НТД и КД	Показатели ремонтпригодности не устанавливаются
4.5 Обслуживаемая подсистема	Подсистема, обслуживание которой предусмотрено в НТД и КД	Показатели продолжительности (трудоемкости) ТО устанавливаются в НТД и КД по согласованию с заказчиком

Изменение Q_p во времени, наоборот, имеет тенденцию к уменьшению интенсивности роста, так как более частые простои объекта в ремонте и техническом обслуживании снижают его производительность. Поэтому кривая суммарной эффективности Q (рис. 2) имеет максимум и дважды пересекает ось абсцисс t :

$$Q(t) = Q_{и} + Q_{с}(t) + Q_{р}(t). \quad (3)$$

Обобщающим показателем эффективности машины является коэффициент технического использования, который необходимо определять по нормативным данным и сопоставлять его с фактически достигнутым значением. Для определения коэффициента технического использования по нормативным данным воспользуемся соотношением:

$$K_{ти} = \frac{1}{1 + Bt_{cc}}, \quad (4)$$

в котором удельные простои B определяются по нормативным данным. При определении удельного простоя по каждому виду воздействий необходимо учитывать, что в состав очередного ТО, текущего и капитального ремонтов, имеющих более высокий порядковый номер, входят работы каждого из предыдущего. С учетом сделанных предпосылок удельные простои (в днях простоя /100 ч) рассчитываются по формуле:

$$B = \frac{D_1}{t_1}(1 - \alpha_1) + \frac{D_2}{t_2}(1 - \alpha_2) + \frac{D_{TP}}{t_{TP}}(1 - \alpha_{TP}) + \frac{D_{KP}}{t_{KP}}, \quad (5)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_{TP}$ – частоты совпадений соответственно ТО-1 с ТО-2, ТО-2 с TP, TP с KP;

$$\alpha_1 = t_1 / t_2; \alpha_2 = t_2 / t_{TP}; \alpha_{TP} = t_{TP} / t_{KP}.$$

В общем случае, когда число воздействий 1, 2, ..., i , $m - 1$, соотношение (5) имеет вид:

$$B = \sum_{i=1}^{m-1} \frac{D_i}{t_i} (1 - \alpha_i) + \frac{D_m}{t_m}. \quad (6)$$

Обеспечение значения коэффициента технического использования, соответствующего нормативному, имеет главным условием проведение комплекса ТОР в строгом соответствии с установленными периодичностями.

В реальных условиях эксплуатации достаточно просто определить затраты на запасные части (ЗЧ), которые точно и достоверно обеспечиваются бухгалтерским учетом. Существует тесная связь (коэффициент корреляции $r \geq 0,7$) [7] между затратами на ЗЧ и соответственно трудовыми затратами А, затратами на материалы В и компенсацию простоев С. Поэтому критерием, характеризующим нормальное использование ресурса, можно считать расход ЗЧ как функцию наработки, а для управления процессом использования ресурса следует рассчитывать суммарные стоимости $C_{ЗЧ}(t)$ по интервалам наработки и рассматривать их в качестве норматива по формуле:

$$C_{ЗЧ}(t) = \frac{b}{1 + A + B + C} t^x. \quad (7)$$

где b – угловой коэффициент [10].

Затем фактические расходы необходимо сопоставить с расчетными нормативными значениями. Если фактические расходы не превышают нормативные, то процесс эксплуатации данной машины протекает нормально. В противном случае необходимо выявить причины перерасхода и принять соответствующие меры.

Таким образом, метод управления надежностью машин в эксплуатации сводится к определению нормы расхода ЗЧ (в стоимостном выражении) и соответствующего ей ресурса. При достижении некоторого максимального значения суммарного нормативного расхода машину направляют в капитальный ремонт или списывают (утилизируют).

Для обеспечения систематического контроля за техническим состоянием машины, использованием ее ресурса, выявления фактов неправильной эксплуатации и своевременного принятия соответствующих организационно-технических мер нормы расхода ЗЧ назначают интервально – по интервалам наработки.

Наличие k требований на замену агрегатов означает наличие k неисправных агрегатов, а вероятность того, что в произвольный момент времени в системе имеется k требований, исходя из простейшего их потока, определяется по формуле:

$$P_k = \frac{(\lambda m_{100})^k}{k!} e^{-\lambda m_{100}}, \quad (8)$$

где λ – среднее число отказывающихся агрегатов и подлежащих замене на агрегаты оборотного фонда, 1/сутки;

m_{100} – средняя продолжительность оборота агрегата, сут;

$$\lambda = t_{cc} N_p / t_p; N_p \approx N_{сп} k_{ТА} k_{ТИ}.$$

Пусть оборотный фонд состоит из n агрегатов. Отсутствие простоя машин в результате наличия оборотных агрегатов соответствует ситуации, при которой число требований на замену агрегатов в системе использования оборотного фонда будет меньше числа n . Поэтому вероятность отсутствия простоя $P_{о.пр}$ в произвольный момент времени определяется суммой вероятностей P_k для всех k , меньших n по формуле:

$$P_{о.пр} = \sum_{k=0}^n \frac{(\lambda m_{100})^k}{k!} e^{-\lambda m_{100}}, \quad (9)$$

а вероятность простоя по формуле:

$$F_{пр} = 1 - P_{о.пр}. \quad (10)$$

Простой машины $D_{пр}$ в зависимости от обеспеченности исправными агрегатами изменяется от нуля до времени оборота m_{100} агрегата, что соответствует значениям вероятности простоя от единицы до нуля и определяется произведением:

$$D_{пр} = m_{100} F_{пр}.$$

С учетом сделанных предпосылок определим коэффициент готовности для общего случая, когда $F_{пр} \leq 1$ и время замены агрегата $D_{за}$:

$$k_T = \frac{1}{1 + \rho}, \quad (11)$$

где $\rho = (D_{за} + m_{100} F_{пр}) t_{cc} / T_0$.

Как показывают расчеты, оптимальному числу агрегатов соответствуют малые значения вероятности простоев $F_{пр}$, что объясняется относительно невысокой стоимостью агрегатов по отношению к стоимости парка машин и достаточно большим количеством машин, для которых предназначен один агрегат. Поэтому определять число оборотных агрегатов для действующего парка следует исходя из обеспечения вероятности $F_{пр} = 0,02-0,03$.

Потребность в заменах агрегатов эксплуатационные предприятия систематически определяют на планируемый период (год, квартал), что необходимо для планирования по потребностям ремонтных заводов и других целей.

Потребность в замене агрегатов рассчитывают делением суммарной наработки $\sum_{i=1}^{N_{сп}} t_{пнi}$ парка $N_{сп}$ машин данной модели за планируемый период $t_{пн}$ на средний ресурс t_p данного агрегата той же модели по формуле:

$$N_{э} = \sum_{i=1}^{N_{сп}} t_{пнi} / t_p. \quad (12)$$

Приведенный метод расчета может применяться в тех случаях, когда парк машин однороден и равномерно распределен по интервалам наработки в течение ресурсов машин. Однако при замене моделей машин, организации новых эксплуатационных предприятий, смене климатических зон или неравномерном пополнении предприятия новыми машинами ис-

пользование данного метода приводит к заметным ошибкам.

Среднюю годовую потребность m_{cp} в ЗЧ часто определяют исходя из наработки $t_{ам}$ за амортизационный период n_d (в годах), полных ресурсов до первой замены $t_{р.плд}$ и между заменами $t_{рп.з.ч}$ данной детали, числа машин $N_{ст}$ данной модели по соотношению:

$$m_{cp} = \frac{N_{ст} n (t_{ам} - t_{р.плд})}{n_d t_{рп.з.ч}}, \quad (13)$$

где n – число деталей одного наименования на машине.

При использовании этого соотношения следует иметь в виду, что возможны случаи, когда средние полные ресурсы деталей равны или больше наработки $t_{ам}$. Такая ситуация не исключает в полной мере необходимости в ЗЧ данного наименования, в силу того, что в расчетные уравнения входят средние ресурсы и не учитываются их рассеивания. Поэтому потребности в ЗЧ следует рассчитывать с использованием вероятностных методов с использованием всех необходимых статистических моментов случайных величин, характеризующих процесс восстановления.

Показатели процессов восстановления определяют исходя из приведенных средних значений полных ресурсов. Приемлемый результат получается при использовании этих показателей, определенных для расчета среднего числа отказов (замен) $\Omega(t)$, $\omega(t)$ и числа циклов $\nu(t)$ эксплуатации восстанавливаемых конструктивных элементов – $\Omega(t)/\nu(t)$ и $\omega(t)/\nu(t)$, когда $\nu(t) > 1$. Поэтому для определения годовой потребности следует воспользоваться соотношением:

$$Z_3 = \sum_{i=1}^k Z_i = \sum_{i=1}^k M_i [\Omega_{3ч}(t_n + t_{пл}) - \Omega_{3ч}(t_n)], \quad (14)$$

а результат расчета уменьшить в $\nu(t)$ раз, а также учесть, что на машине может быть установлено n деталей одного наименования и $n \geq 1$.

Для определения n_i (рис. 3) максимальная наработка t с начала эксплуатации машины разбита на интервалы Δt . Таких интервалов $1, 2, \dots, i, \dots, k-1, k$.

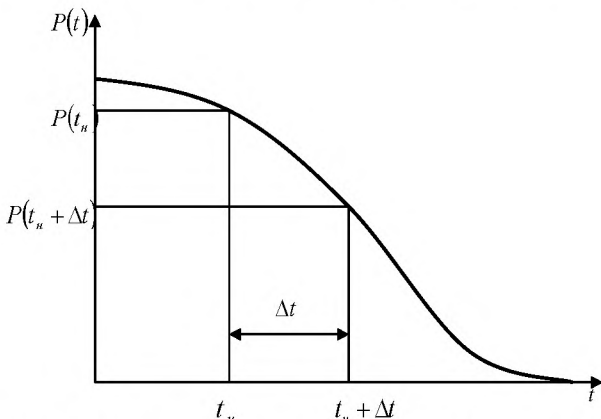


Рисунок 3. Зависимость вероятности безотказной работы от интервала наработки

По j -й машине необходимо иметь информацию о наработках с начала эксплуатации или после ремонта до начала очередного периода поставки ЗЧ, а также планируемую наработку за этот период. По этим данным определяют в соответствии с осью t (рис. 4) и j -му номеру машины начало и окончание отрезков прямых, отражающих наработку j_{ig} - j -й машины в i -м интервале.

Суммирование этих наработок по интервалам и деление суммы на ширину интервала выявляет расчетное число n_i по интервалам наработки:

$$n_i = \sum_{j=1}^m t_{ij} / \Delta t_r.$$

Необходимо учесть, что если на машине установлено n деталей одного наименования и $n > 1$, то в расчет принимают произведение $n n_i$.

С учетом названных предпосылок предварительно определим вероятность отказа детали в i -м интервале:

$$F_i(t) = \omega_{3ч}(t) \Delta t_r.$$

Поскольку математическое ожидание числа появлений события при нескольких опытах равно сумме вероятностей события в отдельных опытах, определим средний расход ЗЧ согласно рисунку 4:

$$m_{cp} = \sum n_i F_i(t) = \sum n_i \omega_{3ч}(t) \Delta t_r \quad (15)$$

Величина m_{cp} представляет собой среднюю потребность заданного числа машин, имеющих различные наработки, в заменах рассматриваемой детали.

Поскольку отказы деталей в различных машинах являются независимыми событиями, а дисперсия числа появлений события при нескольких независимых опытах равна сумме произведений вероятностей появления и не появления события в каждом опыте, то дисперсия числа отказов в течение рассматриваемого промежутка времени рассчитывается по формуле:

$$D_{3ч} = \sum n_i \omega_{3ч} [1 - \omega_{3ч} \Delta t_r] \Delta t_r. \quad (16)$$

Чтобы гарантировать с приемлемой вероятностью удовлетворение потребности всех машин в ЗЧ, на складе должно находиться некоторое число ЗЧ m_α , которое больше m_{cp} :

$$m_\alpha = m_{cp} + U_p \sqrt{D_{3ч}} = m_{cp} + U_p \sigma_{3ч}; \quad \sigma_{3ч} = \sqrt{D_{3ч}}, \quad (17)$$

где U_p – односторонний квантиль нормированного нормального распределения.

Заказываемое число ЗЧ на планируемый период должно соответствовать количеству ЗЧ, находящихся на складе в наличии, до величины m_α .

Уровень гарантированной вероятности α наличия ЗЧ на складе должен устанавливаться для определенного числа машин на основании исходных предпосылок, учитывающих доминирующие факторы организационно-технического и экономического характера.

При организации эксплуатации машин часто возникает необходимость в кратковременном прогнозировании потребности в одной замене элемента по парку машин за наработку Δt , что особо важно при работе их в отрыве от основной базы, имея в виду комплектование подвижных ремонтных средств.

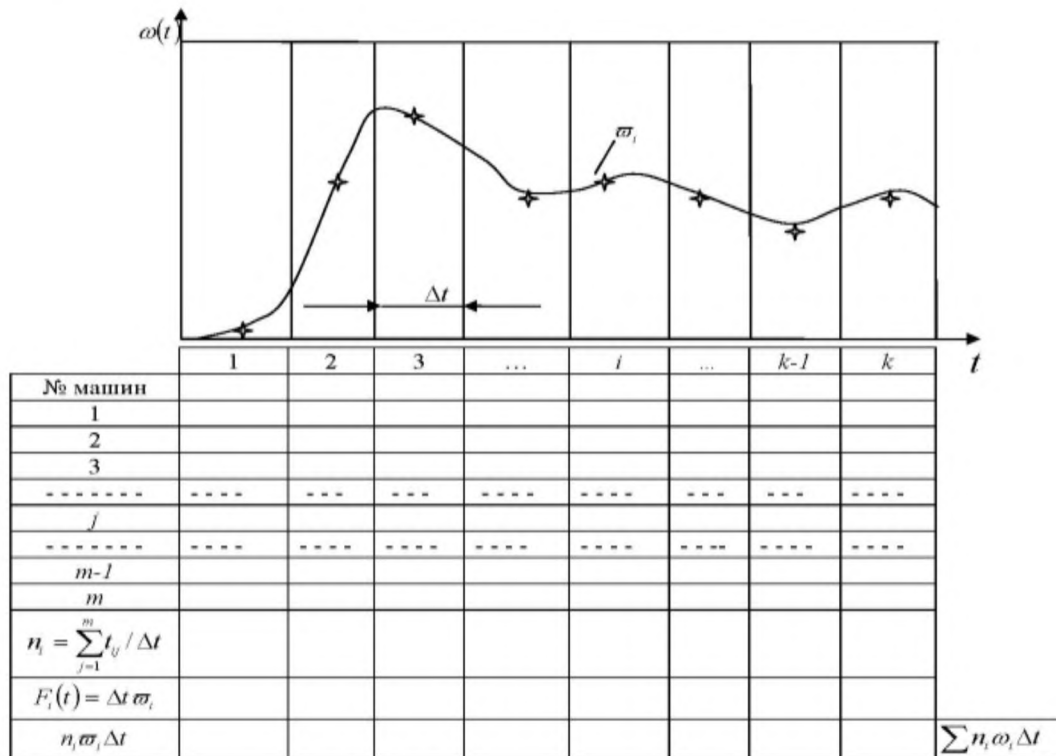


Рисунок 4. Схема определения среднего расхода запасных частей

Для этого определяют интервальную вероятность отказа $F(t; t + \Delta t)$ – вероятность того, что за интервал от t до $t + \Delta t$ произойдет отказ (рис. 3). Для отдельного элемента эта вероятность определяется по формуле:

$$F_s(t; t + \Delta t) = 1 - \frac{P_s(t + \Delta t)}{P_s(t)}. \quad (18)$$

Общее число отказов данного элемента за планируемую наработку по парку $N_{\text{сп}}$ машин при условии, что вероятность отказов $F(t; t + \Delta t) \leq 0,10$ равна сумме интервальных вероятностей:

$$N_s = \sum_{i=1}^{N_{\text{сп}}} F_{si}(t; t + \Delta t). \quad (19)$$

Если $F_s(t; t + \Delta t) > 0,10$, то следует применять показатель интенсивности отказов $\lambda(t)$, предварительно разбив интервал Δt на m участков шириной $\Delta t'$ и принимать $\lambda_{\text{сп}}(t)$ средней на наработке $\Delta t'$:

$$N_s = \sum_{n=1}^{N_{\text{сп}}} \left[\sum_{j=1}^m \lambda_{\text{сп}j} \Delta t' \right]. \quad (20)$$

Условием использования рассмотренного метода статистического прогнозирования текущих ремонтов является наличие информации по распределению ресурсов, а также по наработкам t с начала установки элементов на машину и по наработкам Δt на планируемый период. Этих данных достаточно для использования соотношения (19).

При проектировании новой техники оптимизация номенклатуры и количества ЗЧ, как правило, приводит

к изменению запасов товарно-материальных ценностей (оборотных средств) эксплуатирующих предприятий и требует корректирования производственных мощностей предприятий-изготовителей.

Сопутствующие капитальные вложения в результате оптимизации номенклатуры и количества ЗЧ:

$$K_2 = K_1 \pm \sum_1^k C_{\text{зч}i} (\gamma_{1i} - \gamma_{2i}), \quad (21)$$

где $C_{\text{зч}i}$ – цена ЗЧ i -го вида;

γ_{1i} и γ_{2i} – норма расхода ЗЧ i -го вида до и после оптимизации;

k – количество видов ЗЧ.

Удельные капитальные вложения предприятий-изготовителей в результате оптимизации номенклатуры и количества ЗЧ определяются по зависимости:

$$K_2 = K_1 - \frac{K_{\text{зч}1} - K_{\text{зч}2}}{A_2}, \quad (22)$$

где $K_{\text{зч}1}$ и $K_{\text{зч}2}$ – стоимость основных производственных фондов и нормируемых оборотных средств, используемых в производстве ЗЧ до и после оптимизации их номенклатуры и количества;

A_2 – годовой выпуск машин повышенной надежности.

Заключение

Таким образом, с использованием методов статистического анализа разработан алгоритм оптимизации номенклатуры и количества запасных частей мобильных машин при восстановлении их работоспо-

собности. Данное решение применимо как для парка машин с однородным и равномерным распределением по интервалам наработки в течение ресурсов машин, так и при замене моделей машин, организации новых эксплуатационных предприятий, смене климатических зон или неравномерном пополнении предприятия новыми машинами.

Приведены зависимости по определению сопутствующих и удельных капитальных вложений предприятий-изготовителей.

С учетом объективных данных по распределению ресурсов отдельных элементов, а также наработкам с начала установки элементов на мобильную машину и по наработкам на планируемый период эксплуатации, разработан метод статистического прогнозирования текущих ремонтов машин.

На основе приведенного алгоритма расчета рационального количества ЗЧ создана программа для ЭВМ, которую рекомендуется использовать при разработке технологий технической эксплуатации и ремонта ММ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Селиванов, А.И. Основы теории старения машин / А.И. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1970. – 408 с.
2. Апсин, В.П. Моделирование процессов восстановления машин / В.П. Апсин, Л.В. Дехтеринский, С.Б. Норкин, В.М. Приходько. – М.: Транспорт, 1996. – 311 с.
3. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий: учеб. для вузов / М.И. Юдин [и др.]. – Краснодар: Совет. Кубань, 2007. – 968 с.

4. Состав и общие правила задания требований по надежности: ГОСТ 27.003-90; введен 01.01.92. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 27 с.

5. Зорин, В.А. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин / В.А. Зорин [и др.]; под общ. ред. В.А. Зорина. – М.: ИЦ «Академия», 2010. – 576 с.

6. Баженов, С.П. Основы эксплуатации и ремонта автомобилей и тракторов: учеб. для вузов / С.П. Баженов, Б.Н. Казьмин, С.В. Носов / Под бщ. ред. С.П. Баженова. – 2-е изд., стер. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 336 с.

7. Панин, И.Г. Технико-экономический анализ мероприятий по повышению надежности сложных систем / И.Г. Панин, Е.К. Волкова, К.В. Щурин // Информационно-технологический вестник. – 2017. – № 3. – С. 39-55.

8. Щурин, К.В. Формирование алгоритма нормирования показателей надежности технических систем / К.В. Щурин, В.Е. Тарасенко, В.Н. Еднач // Механика машин, механизмов и материалов. – 2024. – № 1 (66). – С. 15-22.

9. Щурин, К.В. Надежность машин: учеб. для вузов / К.В. Щурин. – СПб.: Лань, 2019. – 592 с.

10. Щурин, К.В. Надежность мобильных машин / К.В. Щурин. – Оренбург: ОГУ, 2010. – 585 с.

11. Щурин, К.В. Надежность мобильных машин: учеб. для вузов / К.В. Щурин, В.Е. Тарасенко. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 400 с.

12. Дехтеринский, Л.В. Некоторые теоретические вопросы ремонта машин / Л.В. Дехтеринский. – М.: Высшая школа, 1970. – 196 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 30.09.2024

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и обеспечивает автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход 4-20 мА, а также интерфейс RS-485.



Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25%
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5%
Температура контролируемого материала	от +5 до +65°C
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1%
Напряжение питания	220 В 50Гц,
Потребляемая мощность	30ВА