

**СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ ОТКАЗА
ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**
В. Я. Седуш, Н. А. Ченцов, В. Н. Ручко, С. Л. Сулейманов
ДонГТУ, Донецк, Украина

**SYSTEM FORECASTING OF TERMS FAILURES
OF THE PARTS MACHINERY**
V. Ja. Sedush, N. A. Chentsov, V. N. Ruchko, S. L. Suleymanov
DonSTU, Donetsk, Ukraine

During operation maintenance service of industrial firm the forecasting terms of failure members of machinery will widely be used.. The classification models of parameters, used for definition, (parameterization) of model forecast is offered. Four kinds models of parameters are include: statistical, diagnostic, power and expert. Combination of the reviewed models and communications between them have allowed to elaborate " System forecasting of terms failure of the parts machinery "

Рем.служба, прогнозирование отказов, система прогнозирования

В процессе нормального функционирования промышленного предприятия его ремонтная служба решает задачи направленные на планирование ремонтных воздействий, запасных частей и трудовых ресурсов необходимых для его осуществления. В основе планирования лежит прогнозирование сроков отказа деталей машин и механизмов. Известно, что правильно спроектированная и эксплуатируемая деталь подвержена постепенным отказам, когда повреждения в ней накапливаются в течении некоторого промежутка времени.

Эксплуатация любой детали машины предполагает воздействие на нее большого количества различных факторов, которые вызывают изменение (ухудшение) во времени ее технического состояния (ТС), что приводит к отказу. Существенной особенностью факторов, влияющих на изменение ТС, является их колебание во времени, которое носит случайный (стохастический) характер. К факторам, оказывающим наиболее существенное влияние на скорость изменения ТС детали, относятся: технологические нагрузки, прочностные характеристики материала детали и ее геометрические размеры. Кроме них, необходимо выделить такие факторы как: соблюдение условий технологического процесса, качество технического обслуживания и ремонта и другие. Случайный характер рассмотренных факторов приводит к случайному характеру изменения ТС, следовательно, и сроков отказа.

Для решения задачи прогнозирования сроков отказов, различными исследователями было предложено множество моделей, отличающихся видом исходной информации, методами ее анализа и формой представления результатов. В работе Седуша В.Я. [1] предлагаются методы прогнозирования сроков отказа деталей с использованием законов распределения их ресурсов, полученных из статистики ремонтов. Исследования, проведенные Гребеником В.М. и Цапко В.К. [2], позволяют использовать значения напряжений, возникающих в детали, измеренные с помощью специальных приборов, и характеристики детали для

прогнозирования ресурса. Прогнозированию отказов на основании данных диагностики, с использованием номограмм, посвящены работы Михлина В.М. [3]. Каждая из этих моделей предполагает использование собственной процедуры прогнозирования, что определяется видом и характером исходной информации.

Анализ рассмотренных моделей позволяет выделить ряд подобных свойств, что позволяет разработать их классификацию. Подход к классификации математических моделей используемых при прогнозировании, по виду исходной информации, был предложен в работе [4]. Развивая идеи данной классификации, было выделено четыре типа исходной информации: статистика ремонтов, экспертные оценки ресурса, статистика диагностик, данные о технологических нагрузках. Это позволило все имеющиеся модели прогнозирования также разделить на четыре вида, приведенных в таблице.

Таблица - Классификация прогнозных моделей

Тип модели	Исходная информация	Срок выполнения прогноза
Ресурсная	Данные о сроках ремонтов	Начало эксплуатации детали
Силовая	Прочностные и геометрические характеристики детали, статистика технологических нагрузок	Конец периода наблюдения
Диагностическая	Данные диагностик	Срок последней диагностики
Экспертная	Экспертные оценки ресурсов деталей	Начало эксплуатации детали

Использование любой из рассмотренных моделей выполняется в два этапа. На первом определяются параметры к прогнозированию, а на втором - непосредственно осуществляется процедура прогнозирования. Для определения прогнозной даты отказа $t_{ОТК}$ в общем случае можно использовать выражение полученное на основе предложений изложенных в работе [4]:

$$t_{ОТК} = t_{У} + T_{И} + T_{ОСТ}, \quad (1)$$

где $t_{У}$ - срок начала упреждения прогноза, соответствующий сроку начала эксплуатации детали;

$T_{И}$ - детерминированное значение использованной части ресурса детали (продолжительность эксплуатации) на начало срока выполнения прогноза;

$T_{ОСТ}$ - прогнозная оценка остаточного ресурса детали.

Исходя из случайного характера факторов, влияющих на изменение технического состояния деталей, следовательно и сроков их отказов можно считать, что наиболее приемлемым является описание $T_{ОСТ}$ законом его распределения.

При таком подходе предполагается, что значение $T_{ОСТ}$ определяется для заданной вероятностью безотказной работы $P(t)$, с учетом вида закона распределе-

ния остаточного ресурса Z и его параметров - математического ожидания M и коэффициента вариации ν :

$$T_{ост} = f[Z, M, \nu, P(t)]. \quad (3)$$

Параметры Z , M и ν могут быть определены на основе анализа различной исходной информации: статистики ремонтов, статистики диагностик, статистики экспертных оценок ресурса, статистики технологических нагрузок. Для анализа каждого вида статистики применяется собственный математический аппарат. При этом результатом его использования является определение параметров к прогнозированию. Следовательно, модели используемые для обработки исходных данных можно назвать параметризирующими моделями. В связи с этим анализ исходной информации, результатом которого является получение параметров к прогнозированию, назван процедурой параметризации. Таким образом, для прогнозирования сроков отказа можно использовать типовую прогнозную модель, параметрами которой являются t_y , Z , M и ν вне зависимости от вида исходной информации.

Каждая параметризирующая модель из предложенной классификации предполагает использование специфического математического аппарата. Вне зависимости от конкретной реализации данного вида параметризирующей модели в ней можно выделить существенные признаки, приведенные ниже.

Ресурсная параметризирующая модель базируется на использовании статистической информации о сроках проведенных ремонтов - «Статистика ремонтов». Наиболее совершенные представители данного типа моделей предполагают получение потока ресурсов, с учетом восстановления недоиспользованной части ресурса деталей, на основании данных о их ТС в момент замены. Применяя методы математической статистики и теории вероятности, данная параметризирующая модель позволяет получить значения Z , M и ν для потока ресурсов. В общем виде данную параметризирующую модель можно представить как:

$$[Z, M, \nu] = f \begin{bmatrix} t_1 & t_2 & \dots & t_i \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_i \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где t_1, t_2, \dots, t_i - сроки проведения ремонтов детали по ее предыдущим реализациям;

Y_1, Y_2, \dots, Y_i - оценка ТС детали на момент t_i осуществления ее ремонта.

Необходимо отметить, что в этой модели $T_{и}$ и $T_{ост}$ не разделяются и Z , M и ν определяются из их совместного анализа. В данной модели сроком начала упреждения прогноза t_y принимается срок последнего ремонта.

Прочностная параметризирующая модель использует в своем математическом аппарате данные о технологическом процессе и конструкции машины, с целью определения нагрузок на деталь. Главная ее особенность - математическое описание процесса накопления повреждений в исследуемой детали. В качестве исходной информации к модели используется «Статистика производственной программы». Она представляет собой совокупность статистических данных о виде и объеме продукции, обрабатываемой на оборудовании, элементом которой

является исследуемая деталь. Кроме этого, в модели используются данные о физических характеристиках исследуемой детали (ее геометрических размерах и прочностных характеристиках материала, из которого она изготовлена). В общем виде такую модель можно представить как:

$$[Z, M, v] = f [Q(t_i), S(Q), G, \sigma,] , \quad (5)$$

где $Q(t_i)$ - особенности производственной программы, характеризующие нагрузки Q , действующие на эксплуатируемую деталь (текущая реализация) за интервал времени t_i ;

G - геометрические характеристики детали;

σ - прочностные характеристики материала детали;

$S(Q)$ - статистика данных о нагрузках по предыдущим реализациям.

В этой модели T_H определяется отдельно и является детерминированной величиной определяемой расчетным путем. Значение $T_{ост}$ описывается законом распределения Z , M и v . В данной модели сроком начала упреждения прогноза t_y принимается срок последнего ремонта.

Диагностическая параметризирующая модель представляет собой математический аппарат, использующий в процессе своего функционирования данные о сроках t_i и результатах Y_i проведенных диагностик. Особенность этой модели - получение значения остаточного ресурса детали на основании данных о текущем ТС. Совокупность исходных данных для этой модели представлены как «Статистика диагностик». Эту модель можно представить выражением:

$$[Z, M, v] = f [Y(t_i), S(Y, t_i)] , \quad (6)$$

где $Y_i(t_i)$ - значение диагностируемого параметра Y_i для эксплуатируемой детали (текущая реализация) в момент времени t_i ;

$S(Y, t)$ - статистика данных диагностики по предыдущим реализациям.

В данной модели определяется только значение $T_{ост}$ описывается законом распределения Z , M и v . Сроком начала упреждения прогноза t_y принимается срок последней диагностики.

Экспертная параметризирующая модель наиболее простая из всех параметризирующих моделей. Ее параметры определяются на основании экспертных оценок ресурса детали, выдаваемых механиком цеха (экспертом). Совокупность исходных данных для этой модели представлены как «Экспертные оценки». Использование данной модели рационально на ранней стадии эксплуатации оборудования, когда нет достаточного количества статистической информации о ремонтах и техническом обслуживании оборудования. Эту модель можно выразить как:

$$[Z, M, v] = f [T_{MAX}, T_{MIN}] , \quad (7)$$

где T_{MAX} - экспертная оценка максимального ресурса исследуемой детали;

T_{MIN} - экспертная оценка минимального ресурса исследуемой детали.

Так же как и в статистической модели в ней T_H и $T_{ост}$ не разделяются и Z , M и v определяются из их совместного анализа. В данной модели сроком начала упреждения прогноза t_y принимается срок последнего ремонта.

Таким образом можно видеть, что результатом использования любой из предложенных параметризирующих моделей является нахождение параметров Z , M и v , необходимых для определения $T_{ост}$. Исходя из характера исходной информации, для одной и той же детали может быть использовано несколько параметризирующих моделей. Каждой из моделей, соответствует собственное значение технических характеристик, например, точность прогноза, и экономических, например, финансовые затраты на прогнозирование. Известно, что экспертная модель требует минимальных финансовых затрат на прогнозирование, но обеспечивает минимальную точность прогноза. Более дорогая, диагностическая модель, обеспечивает значительно большую точность прогноза.

Для обоснованного выбора оптимальной параметризирующей модели можно использовать критерий удельной стоимости эксплуатации [5]. Этот критерий имеет в своем составе как технические, так и экономические компоненты

$$S_э = (D + P + \Pi) / (K_{ир} M_p),$$

где D , стоимость объекта (запасной части) используемого во время ремонта;

P , затраты на замену объекта (ремонтное воздействие);

Π , стоимость прогнозирования срока отказа;

$K_{ир}$ - коэффициент использования ресурса детали;

M_p – математическое ожидание полного ресурса детали.

Совокупность модели прогнозирования и параметризирующих моделей, а также ряда других рассмотренных компонентов, их взаимосвязей можно объединить в рамках единой системы прогнозирования. Пример такой системы названной «Система прогнозирования сроков отказа деталей механического оборудования» приведен на рисунке.

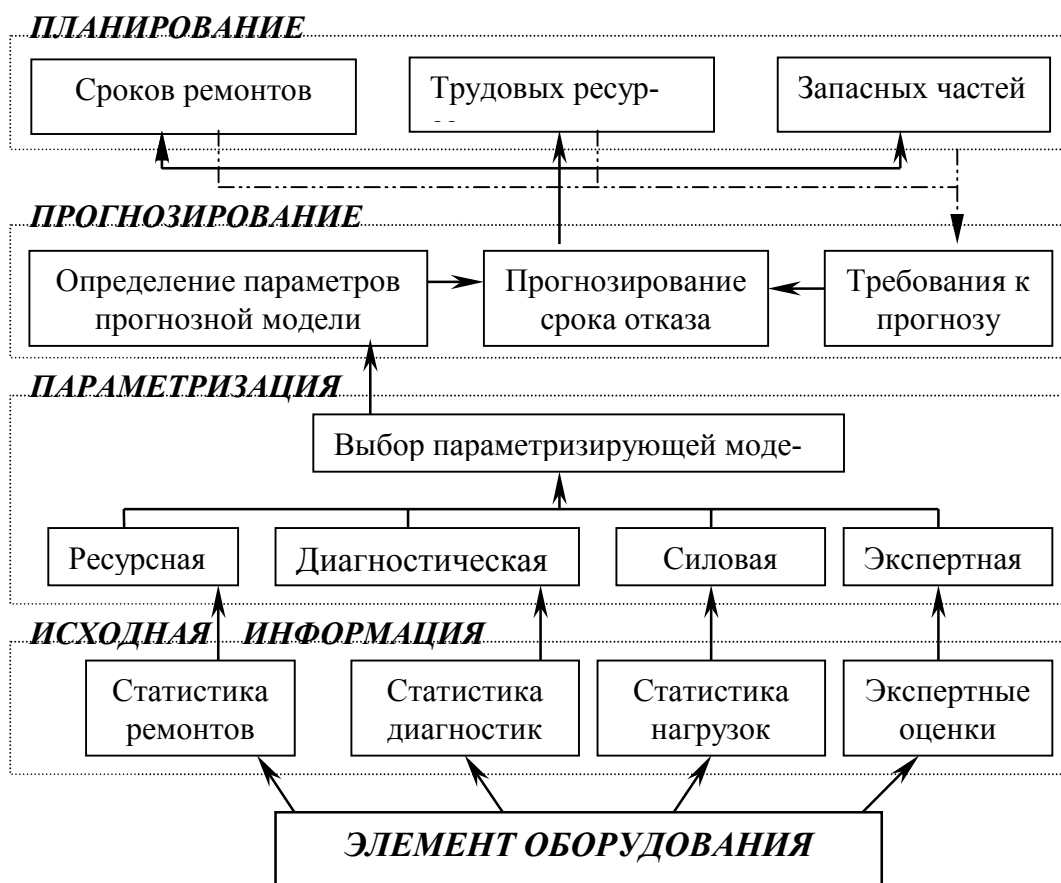


Рис. Система прогнозирования сроков отказа

В структуре системы прогнозирования можно выделить четыре составные части: элемент оборудования, исходная информация, параметризация и прогнозирование. В процессе функционирования системы последовательно решаются задачи: формирование исходной информации; параметризации прогнозной модели; выбор оптимальной параметризирующей модели; и собственно прогнозирование. Конечным результатом функционирования такой системы является выдача значения срока отказа $t_{отк}$ по исследуемой детали, с учетом вероятности безотказной работы $P(t)$, требуемой при решении задач ремонтной службы.

Использование предлагаемой системы применительно к конкретной детали позволяет обосновать оптимальный вид параметризирующей модели. Таким образом можно снизить затраты на прогнозирование сроков отказа. Адаптация системы к конкретной детали может выполняться как на стадии ее внедрения, так и во время эксплуатации и эту процедуру можно автоматизировать.

На основе теоретических положений изложенных в данной статье можно разработать пакет прикладных программ (ППП) обеспечивающих прогнозирование сроков отказа элементов оборудования. Такой ППП можно рассматривать как элемент автоматизированной системы «Ремонт» промышленного предприятия.

ВЫВОДЫ

1. В рамках разработанной системы, прогнозирование срока отказа (выполняемое многократно) отделено от процедуры анализа исходной информации (выполняемой однократно).
2. Процедура прогнозирования срока отказа является типовой и не зависит от вида исходной информации.
3. Существует четыре вида параметризирующих моделей используемых для определения параметров прогнозной модели (ресурсная, силовая, диагностическая и экспертная) определяемых видом исходной статистической информации.
4. Предложенная система прогнозирования, которая самостоятельно адаптируется к имеющейся статистической информации.

Литература

1. Седуш В.Я. Надежность ремонт, и монтаж металлургических машин: Учебник. 3-е изд., перераб. и доп. - К.: УМК ВО, 1992. - 368 с.
2. Гребеник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности) : Справочник. - М.: Металлургия. 1989. 592 с.
3. Михлин В.М. Прогнозирование технического состояния машин. - М.: Колос, 1976. - 288 с.
4. Прогнозирование сроков отказа металлургического оборудования/Седуш В.Я., Ченцов Н.А., Ченцова Н.С.// Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1994. № 3.- С. 75-77.
5. Ченцов Н.А. Оценка модели прогнозирования отказов оборудования // Сталь. - 1998. №3. – С.70-72