

Florida. 1991. 745 p. **30.** Скрипник В.М., Назин А.Е., Приходько Ю.Г., Благовещенский Ю.Н. Анализ надежности технических систем по цензурированным выборкам. – М.: Радио и связь, 1988.- 184 с. **31.** Каштанов В. А. Полумарковские модели процесса технического обслуживания. М.: Знание, 1987. С. 94. **32.** Корлат А.Н., Кузнецов В.Н., Новиков М.М., Турбин А.Ф. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания. Кишинев., Штиинца, 1991, -276 с. **33.** Зеленый О.В, Стандник О.А. О применении полумарковских моделей в исследованиях технического обслуживания оборудования АЭС. // Машиностроение и техносфера XXI века.: Сб. научных трудов X международной конференции. - Донецк: .- 2003.- Том 1.- С. 284-288. **34.** Заренин. Ю.Г., Стоянова И.И. Определительные испытания на надежность. -М: Издательство стандартов, 1978.-168 с. **35.** ГОСТ 27.201-81. Надежность в технике. Оценка показателей надежности при малом числе наблюдений с использованием дополнительной информации. Общие положения.

Сдано в редакцию 22.03.06  
Рекомендовано д.т.н., проф. Прутяну О.

## ПРОБЛЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СТАРЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

**Зеленый О.В., Носовский А.В. (ГП "ГНТЦ ЯРБ" г. Киев, Украина)**

*Researches of maintenance service (MS), as a rule, assume realization MS on a stationary section of life cycle of the equipment. Thus consider, that the probability origin of refusals is proportional to length of an investigated section. Trying of study of a possibility of optimization MS on a section of a strain aging is undertaken.*

### ВВЕДЕНИЕ

Исследования стратегии технического обслуживания (ТО) сводятся, прежде всего, к определению оптимальных сроков проведения плановых ремонтов оборудования. Это связано с различными показателями: экономическими ("надежность - стоимость"), снижением риска ("надежность - риск от работы атомных электростанций" [1]) и пр. Основным направлением оптимизации является возможное сокращение сроков плановых ремонтов с целью повышения эффективности производства. Действительно, увеличение сроков между ТО может привести к повышению вероятности отказа и тяжелым последствиям, а сокращение - к значительному удорожанию производства и повышению себестоимости продукции. При этом учитываются не только собственно затраты на обслуживание, но и ущерб от неработающего оборудования (например, простой АЭС). **Целью** данной работы является оптимизация технического обслуживания (ТО). Отметим, что в настоящее время эта задача решается в предположениях стационарного потока отказов – без учета того, что этот поток, практически, является функцией времени. В это же время, высокий процент эксплуатирующегося оборудования находится на грани окончания срока службы, и поток его отказов постоянно повышается. Поэтому постановка задачи оптимального ТО с учетом фактора старения является весьма **актуальной**.

### ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

В известном графике жизненного цикла эксплуатируемого оборудования [2] процесс старения (рис.1) представлен на участке  $t_3$ . Напомним, что участок  $t_1$  – приработочные отказы, а  $t_2$  – основной и наиболее длительный участок эксплуатации. Здесь  $\alpha(t)$  – интенсификация

вность потока отказов. Напомним, что под параметром (интенсивностью) потока отказов  $\omega(t)$  понимают [3] отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки.

Характерным свойством периода  $t_2$  является то, что вероятность внезапного [3] отказа всецело зависит от продолжительности функционирования системы и не зависит от конкретного момента времени. Поэтому на этом участке поток отказов достаточно корректно описывается простыми моделями, например, с помощью Марковского процесса, предполагающего экспоненциальный закон распределения времени наработки на отказ. В этих условиях, т.е. на участке нормального функционирования  $t_2$ , стратегия технического обслуживания сводится к определению длительности участка, на котором вероятность отказа не будет превышать заданную [4].

График роста вероятности отказа и время, затраченное на восстановление, представлены на рис. 2.

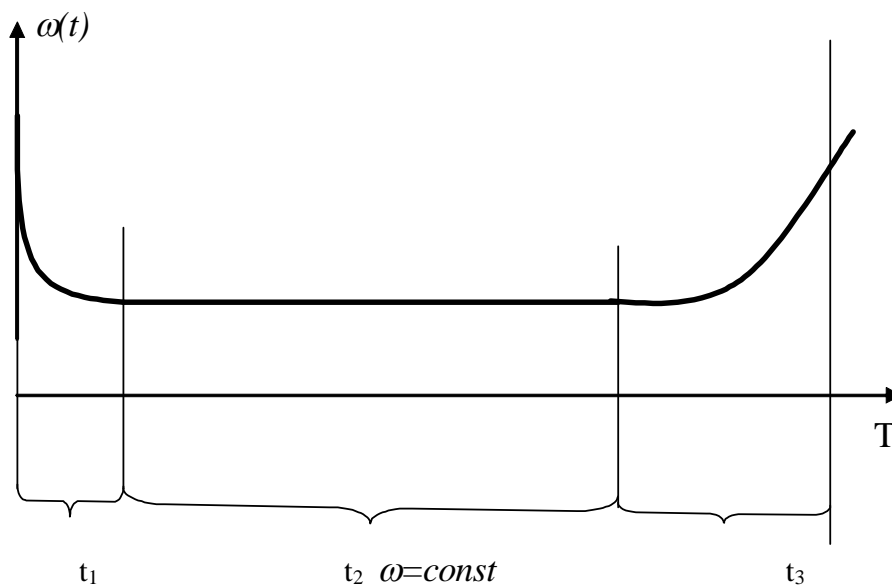


Рис.1 Участки жизненного цикла оборудования

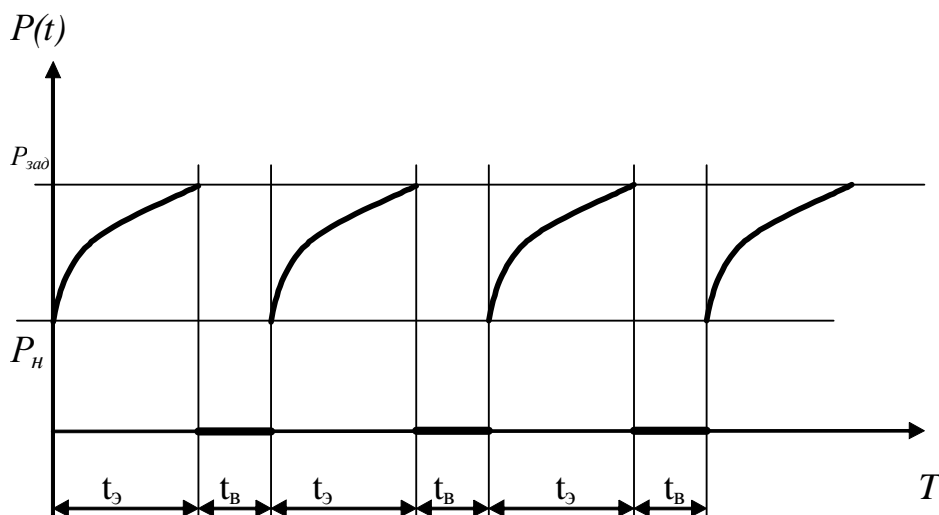


Рис.2 Поведение вероятности отказа на стационарном участке

Как видим, в течение времени эксплуатации  $t$ , между плановыми ТО вероятность отказа возрастает в соответствии с длиной участка. Проводимы восстановительные работы

на участке  $t_6$  уменьшают вероятность отказа до некоторого начального уровня  $P_n$ . При заданном уровне  $P_{зад}$  определение времени  $t_3$  не составляет труда. Считают, что восстановление является полным. Поэтому простейшей стратегией ТО является равномерное распределение ремонтно - восстановительных работ во времени. Такой подход не учитывает фактического состояния оборудования, и ТО выполняются строго по графику.

Такой подход возможен лишь на участке  $t_2$  (рис.1), когда рост вероятности отказа всецело зависит от длительности  $t_3$ . Напомним, что восстановление считают полным, однако это относится лишь к восстановлению функциональных возможностей оборудования, т.е. речь идет о *безотказности* [3]. Это не означает, что свойства изделия возвращается в отправную точку своего жизненного цикла (либо на начало участка  $t_2$ ).

Когда речь идет о показателях *долговечности*, исследованиям подвергается не наступление *отказа*, т.е. невыполнение какой-либо функции, а наступление *предельного состояния*. И в этом случае наибольший интерес представляет переход от участка  $t_2$  к  $t_3$  в зону интенсивного старения и износа. Предельное состояние в [3] трактуется как "состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно". Примером предельного состояния может служить разрушение корпуса двигателя, после чего полная замена изделия более рентабельна, чем какой бы то ни было ремонт. Преддверием к наступлению предельного состояния является интенсификация потока отказов. Там же [3] отмечается, что предельное состояние наступает тогда, "когда *параметр потока отказов* становится неприемлемым".

Как правило, исследователю надежности неизвестен текущий (календарный) участок на траектории  $\alpha(t)$ . В случае, когда в результате процессов естественного старения повышается уровень интенсивности потока отказов (участок  $t_3$ ), рост вероятности отказа до заданного допустимого значения идет быстрее см. рис.3.

В этом случае период  $t_3$  сокращается. Поэтому для назначения размеров  $t_3$  следует: убедиться, для какого этапа жизненного цикла выполняется определение оптимальной стратегии ТО.

Оценка координат на графике рис.1 является задачей исследования долговечности. Определить нахождение на стационарном участке возможно, например, методом инверсий [5]. При этом получают качественную оценку наличия или отсутствия тренда, т.е. регулярного увеличения интенсивности потока отказов. Отсутствие тренда говорит о том, что количество отказов, наблюдаемых на одинаковых интервалах времени, колеблется вокруг некоторого среднего значения. Это не дает представления о количественной величине изменения  $\alpha(t)$ . И для прогноза поведения  $\alpha(t)$  этого недостаточно. А без прогнозирования интенсивности потока отказов какое бы то ни было установление оптимальных сроков ТО невозможно.

Помимо самостоятельной задачи – оценки возможности продления срока службы оборудования [6] возникает задача прогноза потока отказов для определения оптимальных сроков ТО.

Наиболее достоверной оценкой показателей надежности на этапе эксплуатации являются экспериментальные методы [7] т. е. методы наблюдений. Поэтому лучшими представляются модели, которые разрешают проводить количественный анализ  $\alpha(t)$  непосредственно по данным об отказах на наблюдаемом участке эксплуатации и разрешают прогнозировать ее поведение хотя бы на небольшом отрезке времени в будущем (например, год).

При достаточно обильной статистической информации возможно определить закон распределения наработки на отказ. В этом случае выдвигается и подтверждается (не подтверждается) гипотеза о конфигурации функции распределения времени наработки на отказ. Эти процедуры подробно описаны в [7]. Однако во многих случаях, особенно, когда

речь идет о высоконадежном оборудовании, статистического материала недостаточно. В этом случае несомненным преимуществом обладают регрессионные модели, особенности построения и применения которых подробно изложены в [8,9].

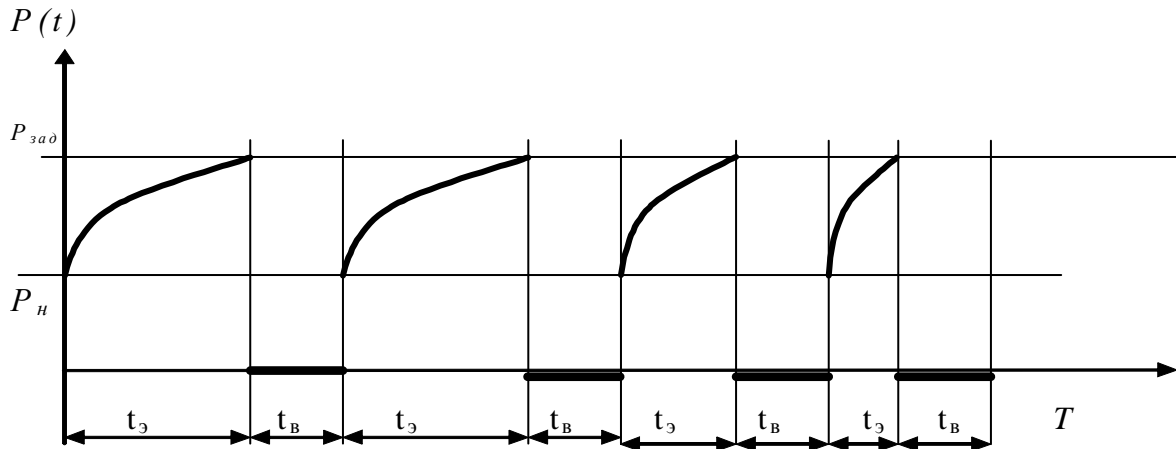


Рис.3 Поведение вероятности отказа на участке старения

Проводимые исследования конкретных систем показали справедливость приверженности исследователей к регрессионным моделям. При исследовании потока отказов на 3-м энергоблоке Южно-Украинской АЭС были получены результаты за соответствующие промежутки времени (8 участков), и был зафиксирован поток отказов механической части системы управления и защиты): 1,0,2,4,3,2,0,3.

$$\omega \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{ч а с}}$$

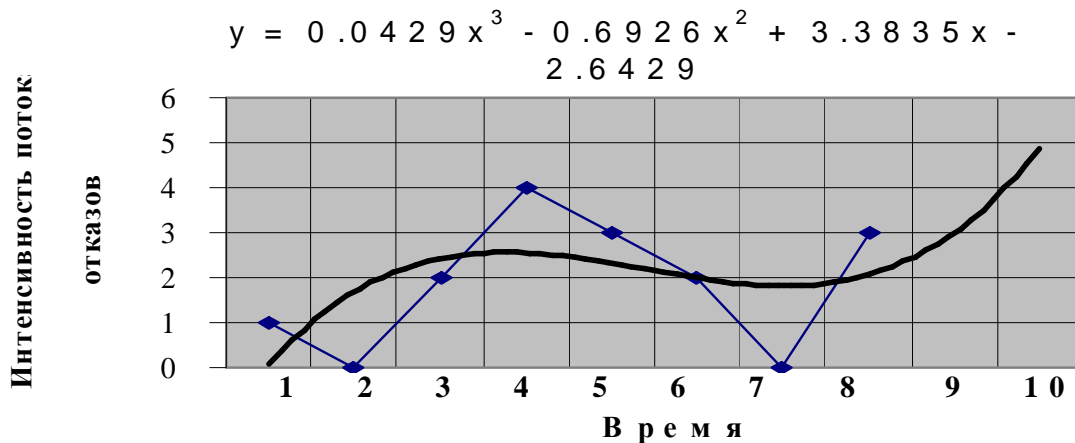


Рис.4 Регрессионная модель третьего порядка

Эти значения представлены на рис. 4, где приведена регрессионная модель третьего порядка (показаны результаты наблюдений и аппроксимирующий полином), 9-й и 10-й шаги – шаги прогноза. Как видим, тенденция линии регрессии направлена вверх, т.е. наличие повышения интенсивности потока отказов. Построение диаграмм выполняется по стандартным программам STATISTICA [10].

## ВЫВОДЫ

Как видим, получается достаточно наглядная картина *прогнозирования поведения интенсивности потока отказов*. В общем случае, следует количественно оценить изменения  $\alpha(t)$  на прогнозируемом (в нашем случае, 9-м -10 - м) участке времени. Полученный прогноз может послужить основой для установления срока  $t_3$  на два шага. В нашем случае, когда имеется тенденции изменения показателя  $\omega$  в большую сторону, сроки ТО могут гибко изменяться (в сторону уменьшения  $t_3$ ).

Таким образом, может быть решена задача оптимального технического обслуживания в условиях старения оборудования. При этом учитывается реальная функция распределения времени наработки на отказ. Следующим шагом в данных исследованиях могут служить различного рода методы моделирования поведения потока отказов на нестационарном участке.

**Список литературы:** 1. Программа внедрения риск – ориентированных подходов в регулирующей деятельности и эксплуатации АЭС // ГП НАЭК "Энергоатом" – ГКЯРУ – 2003. 2. Шишенок Н.А., Репкин В.Ф., Барвинский Л.Л. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники М.: Советское радио, 1965.-265 с. 3. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. – Введено вперше.-К.: 1994.- 89 с. 4. Белый Д.В., Васильченко В.Н., Васильченко С.В., Власенко Н.И., Скалозубов В.И. . Основы оптимизации плановых ремонтов и испытаний систем безопасности для повышения эффективности производства АЭС // Ядерная и радиационная безопасность. – 2004. – Т.7, Вып.1. – С. 90-95. 5. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. Пер. с англ.- М.: Мир, 1989.- 540 с. 6. НД 306.711-96 Надежность АЭС и оборудования. Продление ресурса средств контроля и управления, входящих в системы, важные для безопасности. Общие требования к порядку и содержанию работ.- Введ. 15.03.96.-Изд-во Мин. Охраны окр. среды и ядерной безопасности Украины, 1996.-7 с. 7. ДСТУ 3004-95 Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. - Введен впервые.- К.: Изд-во госстандарта, 1995.-122 с. 8. Прикладная статистика: Исследование зависимостей: Справ. Изд./ С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; Под ред. С.А. Айвазяна.- М.: Финансы и статистика, 1985.-487 с. 9. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ. Пер. с англ. - М.: Мир, 1980.- 456 с. 10. Боровиков В.П., Боровиков И.П.. STATISTICA® - Статистический анализ и обработка данных в среде Windows.-М.: Филин, 1998. – 608 с.

Сдано в редакцию 22.03.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Пругяну О.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОСИСТЕМЫ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Зензеров В.И., Павлыш В.Н.** (ДонНТУ, Донецк, Украина)

*The complex mathematical model of action of hydraulic system of mechanized mine timber and the results of modeling are considered.*

Гидросистема является весьма важной составляющей механизированных крепей. Исследованию и расчету параметров крепей посвящены работы многих авторов [1...5]. Разрабатываемые методы расчета основываются либо на эмпирических зависимостях, либо на упрощенных уравнениях, позволяющих получить аналитическое решение.