

Наружного расположения:

$$V_{A.h.p.} = 0,0173t^4 - 0,2649t^3 + 1,2585t^2 - 1,7179t + 0,8157, R^2 = 0,6702 \quad (8)$$

**Выводы:** 1. Изучен механизм движения клубней в рабочей камере машин очистки картофеля периодического действия в процессе загрузки.

2. Телеметрический метод исследования рабочего процесса в машинах очистки картофеля позволяет определять кинематические и динамические параметры процесса с погрешностью до 13%.

3. Полученные эмпирические модели процесса позволяют рассчитать скорости движения клубней во времени, которые в свою очередь позволяют рассчитать и другие параметры процесса ускорения клубней, кинематическую энергию от удара клубней по стенкам рабочей камеры, силу инерции и центробежную.

4. Для картофелечистки МОК-150 целесообразно увеличить диаметр рабочей камеры до 400-410мм.

Перспективами дальнейших исследований следует считать установление многофакторных моделей описания рабочего процесса.

**Список литературы:** 1. Оборудование предприятий общественного питания. В 3-х т. Т.1: Механическое оборудование: Учеб.для студ. вузов / В.Д. Елхина, А.А. Журин, Л.П. Проничкина, М.К. Богачев. – 2-е изд., перераб. – М.: Экономика, 1987. – 447с.

Сдано в редакцию 30.03.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Бухач А.

## ПРОФИЛАКТИКА ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ СИСТЕМ

**Зеленый О.В. (ГП “ГНТЦ ЯРБ”, г. Киев, Украина)**

*The specifics of preventive measures for high-reliability systems are considered. The difference of these systems is that the failure flow as observed (basic data for prediction of failure-free operation) is not representative for traditional methods of obtaining statistics. At the same time, prediction of reliability for a period beyond the observation boundary constitutes the basis for optimization of maintenance. This is an overview article.*

### ВВЕДЕНИЕ

Стратегия технического обслуживания (ТО) представляющего собой [1] совокупность всех технических и организационных действий, включающих технический надзор, и направленных на поддержание или возвращение объекта в состояние, в котором он способен выполнять требуемую функцию, базируется на основном тезисе: недостаточное обслуживание ведет к потерям надежности, а чрезмерное – к неоправданным затратам. Эта предпосылка является основной при построении различного рода целевых функций, позволяющих решать задачу оптимизации процедуры ТО в постановке “надежность – стоимость”.

В общем ряду изделий и систем, подвергаемых рассмотрению с точки зрения оптимизации ТО, особое место занимают высоконадежные системы. С учетом того, что регламент ТО связан с фактическими показателями надежности (ПН), прогнозируемыми

на некоторый период для оценки необходимости проведения ТО, специфика исследуемых систем состоит в следующем:

- на *стадии проектирования* аналитическая оценка ПН либо не проводится ввиду отсутствия исходных данных, либо носит характер назначенных показателей (в частности, по долговечности);
- на *стадии разработки* технические условия для подавляющего большинства высоконадежных технических средств не приводят критериев отказа и предельного состояния;
- как правило, изготовление высоконадежных систем не носит характера массового, либо крупносерийного изготовления, и на *стадии изготовления* не представляется возможности проведения контрольных, а, тем более, определительных [27,34], испытаний на надежность;
- у высоконадежных систем число наблюдаемых отказов не всегда является достаточным для статистической оценки ПН, что затрудняет их корректную оценку на *стадии эксплуатации*;
- как правило, на *стадии эксплуатации* наблюдения за характеристиками потоком отказов ведутся не от начала и не до снятия с эксплуатации, (либо наступления предельного состояния) и, таким образом, выборки являются усеченными (цензурированными);
- высоконадежные схемы применяются в системах повышенной ответственности, например в системах, важных для безопасности (СВБ) АЭС. И за весь *период эксплуатации* практически не наблюдается ни одного наступления предельного состояния (которое по условиям безопасности для СВБ, в принципе, не допускается). Это не дает возможности получения статистической оценки показателей долговечности (срока службы, ресурса).

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Приведенная специфика не исчерпывает всех сложностей оценки ПН. Имеется методическая ущербность в действующих инженерных методиках, состоящая в:

- обязательном допущении марковских моделей при исследованиях ПН (в то время, когда априори известно, что время наработки на отказ и время восстановления распределены не экспоненциально) [2,3];
- определении тренда при исследованиях долговечности (при том, что наличие определенного числа инверсий не всегда гарантирует отсутствие тенденции к увеличению параметра потока отказов) [4,5,6];
- субъективности исследователей при определении уровней значимости и доверительных вероятностей оценки наличия (отсутствия) тренда [7,8,15];
- вероятностных исследованиях безопасности (ВАБ), когда учитываются только внезапные отказы, в то время, когда именно постепенные отказы описывают процессы деградации материалов, старения и т.п.[9,10,11];
- предположении того, что в результате восстановления полностью восстанавливаются характеристики оборудования (в то время, когда речь идет только о безотказности, а показатели долговечности остаются в рамках естественного старения) [12,13,14].

Прогноз ПН сводится, как минимум, к двум основным процедурам: *детерминистическим* и *вероятностным*. *Детерминистические* состоят в различного рода дефектоскопиях (либо в экспертных оценках [7,8] фактического состояния оборудования). Они дают индивидуальный прогноз - для каждого конкретного изделия и представляют весьма объемную работу. В соответствии с [16] номенклатура современных атомных электростанций имеет следующую классификацию с точки зрения надежности (См. рис. 1).



Рис. 1 Номенклатура оборудования АЭС в зависимости от требований по надежности

Простое перемножение числа видов по блокам рисунка дает 576 типов оборудования (уже не говоря о типоразмерах). Поэтому распространение получили *вероятностные методы*, из которых наиболее достоверными являются те, что базируются на экспериментальном материале, т.е., в нашем случае, - на многолетних наблюдениях за исследуемым оборудованием. Эти методы с заданной достоверностью дают материал для оценки ПН определенных совокупностей (типов, типоразмеров оборудования).

### ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Последовательность методических действий соответствует [17]. Основными этапами при этом являются (см. рис.2):

1. выбор плана испытаний (наблюдений);
2. первичная обработка информации (для случаев известного или неизвестного закона распределения исследуемого потока отказов);
3. для случая неизвестной плотности распределения - выдвижение и подтверждение (не подтверждение) гипотез о распределении случайной величины, которой является функция распределения наработки на отказ, среднего времени восстановления и т.п. с помощью критериев согласия [18] (Колмогорова, Пирсона, омега –квадрат и пр.);
4. для случая, когда плотность распределения идентифицирована с одной из известных – выполнение построения функции распределения и, на основании ее, прогнозирование ПН;
5. для случая, когда плотность распределения не идентифицирована ни с одним из известных (описанных) законов (в обязательном порядке, в соответствии с [17,18] –логарифмически – нормальным, экспоненциальным, Вейбулла, DM и DN распределениями) – работа по оценке точечных и интервальных значений ПН непараметрическими методами работы непосредственно с эмпирическими функциями распределения, построение, регрессионных моделей и пр.[5,6,19]

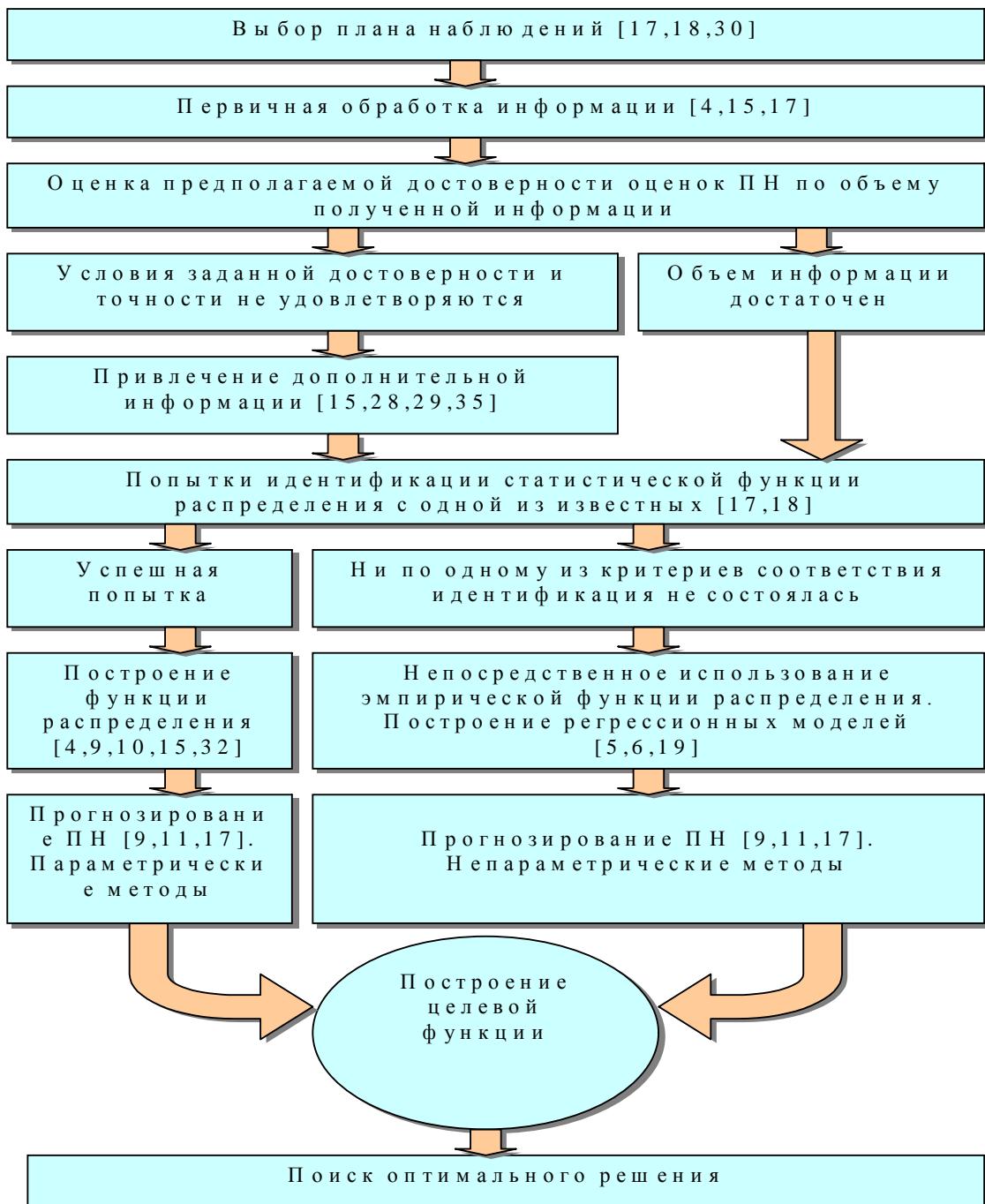


Рис. 2 Последовательность операций по оптимизации ТО

Особое место для высоконадежных систем занимают оценки показателей долговечности [1]. Как указывалось, предельные состояния практически для них не наблюдаются либо из-за опасности их приближения (например, из соображений безопасности), либо из-за того, что до наступления предельного состояния оборудование является морально устаревшим и снимается с эксплуатации. Имеются подходы, описанные в нормативных документах отраслевого уровня [20,21]. В частности, со ссылкой на [1], предлагается показатели долговечности исследовать косвенно – за счет изучения параметра потока отказов (т.е. показателя безотказности). Действительно, в соответствии с [1] предельное состояние, например, тогда, когда параметр потока отказов становится

неприемлемым. Однако для высоконадежных систем и этот подход затруднителен из – за относительно слабой интенсивности этого потока (1-2 отказа в год).

## ВЫВОДЫ

Все эти сложности привели к тому, что для высоконадежного оборудования (в частности, для оборудования АЭС) ТО представляется назначеными сроками проведения (например, четыре раза в год) независимо от фактического состояния надежности, а стратегия ТО сводится лишь к определению объема различного рода опробований и испытаний [26] в моменты, назначенные директивно.

Понятен интерес к проведению ТО в соответствии с реальной оценкой надежности. Авторы видят возможности решения поставленной задачи [22] в области:

- привлечения дополнительной информации о потоке отказов (байесовские оценки) [19,22,29];
- использование аппарата исследований цензурированных выборок [22,23,24,29]
- исследования потока отказов, как преддверие наступления предельного состояния [1,20,21];
- построений регрессионных моделей потока отказов, для прогнозирования поведения интенсивности этого потока на некоторый, следующий за наблюдаемым, период [5,6,19];
- уход от марковских моделей за счет предположения и подтверждения гипотез о реальном законе распределения наработки на отказ и времени восстановления [31,32,33];
- исследования постепенных отказов [12,25].

Действительно, в распоряжении исследователя имеется база научных и нормативных данных для решения поставленных задач.

**Список литературы:** 1. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. – Введено вперше.-К.: 1994.- 89 с. 2. Анализ возможности изменения регламента планового ремонта систем безопасности на основе вероятностного анализа безопасности /Д.В. Билей, В.И. Скалозубов, Ю.А. Комаров, М.Е. Слюсенко, А.И. Николайчук // Ядерная и радиационная безопасность. – 2003. – Том. 6, –№1. – С. 35-39. 3. Комаров Ю.А., Колыханов В.Н., Скалозубов В.И. Основы методики оптимизации периодичности контроля систем, важных для безопасности // Ядерная и радиационная безопасность. – 2000. – Т.3, Вып.1. – С. 79-86. 4. Кендал М. Дж., Стьюарт. Статистические выводы и связи - М.: Наука, 1973.- 899 с. 5. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ. Пер. с англ. - М.: Мир, 1980.- 456 с. 6. Инюшев В.В., Дубковский В.А. О применении регрессионных моделей в исследованиях долговечности // Ядерная и радиационная безопасность.-2005.-вып.3, т.8,-С. 27 – 29. 7. Инюшев В.В., Стадник О.А. Эвристические аспекты в исследованиях долговечности. // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции сб. научных трудов. - Донецк: ДонГТУ. - 2002.- С. 239-244. 8. ГОСТ 23554.2 – 81 Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Обработка значений экспертных оценок качества продукции. 9. Руководство по выполнению вероятностных анализов безопасности АС при проектировании. – М.: Атомэнергопроект, 1989. – 337 с. 10. Таратунин В. В. Совершенствование технического обслуживания и ремонтов АЭС количественно-вероятностными методами. / в сб. "Диагностика и прогнозирование надежности элементов ядерных энергетических установок". Сборник научных трудов №5 кафедры АСУ. Под ред. проф. Острайковского В.А. – Обниск, ОИАТЭ, 1989, С. 8-17. 11. Швыряев Ю.В. Современный подход к методологии вероятностного анализа безопасности атом-

ных станций. Известия вузов Ядерная энергетика. – 2004. - №1.- С. 17-24. **12.** Зеленый О.В., Стадник О.А., Тхоржевский О.Ю. Изучение эволюций рабочей области в исследованиях процессов старения механического оборудования // Машиностроение и техносфера XXI века.: Сб. научных трудов XI международной конференции в Севастополе. - Донецк: .- 2004.- Том 2.- С. 17-20. **13.** Инюшев В. В., Стадник О. А. Надежностный синтез процессов старения технических средств // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонГТУ.- 2001.- Вып.- 16. С. 239-244. **14.** Зеленый О.В, Инюшев В.В. Долговечность и оптимальное техническое обслуживание оборудования// Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. научных трудов XII международной конференции в Севастополе.- Донецк: .- 2005.- Том 2.- С. 16-19. **15.** Буртаев Ю.Ф., Острейковский В. А. Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации. -М.: Энергоатомиздат, 1995.-240 с. **16.** ГОСТ 26291-84 (СТ СЭВ 4334-83) Надежность АЭС и их оборудования. Общие положения и номенклатура показателей. Введ.01.01.86. \_ М.: Изд-во стандартов, 1984.- 13 с. **17.** ДСТУ 3004-95 Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. - Введен впервые. - К.: Из - дво Госстандарта, 1995.-122 с. **18.** ДСТУ 3433-96 (ГОСТ 27.005-79) Міждержавний стандарт. Державний стандарт України. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. - Введено вперше. Введ. 05.12.97.- Вид. Держстандарту України, 1996.- 46 с. **19.** Методика по построению нелинейных регрессионных моделей технологических процессов массового производства (байесовский подход). Госкомстандарт СМ СССР, - М. 1977.- 40 с. **20.** Нормативный документ. НП. 306.5/02.068 – 2003 Требования к порядку и содержанию работ для продления срока эксплуатации информационных и управляющих систем важных для безопасности атомных электростанций. Введ. впервые 18.03.2003.-, 2003.-10 с. **21.** Норми та правила з ядерної та радіаційної безпеки. НП 306.2.099 – 2004. Загальні вимоги до продовження експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектний строк за результатами здійснення періодичної переоцінки безпеки. Київ, Держкомітет ядерного регулювання України. - 2005.-27 с. **22.** Зеленый О.В. О стратегиях технического обслуживания на АЭС. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: 2002.- Вып. - 23. С. 57-61. **23.** Зеленый О.В, Печерица А.В. Углубленный анализ цензурированных исходных данных для оценки достоверности и точности в исследованиях надежности. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ООО "Лебедь" .- 2004.- Вып.- 27. С. 92-97. **24.** Зеленый О.В, Инюшев В.В. Об одной модели оценки эффективности систем безопасности АЭС. // Машиностроение и техносфера XXI века. : Сб. научных трудов X международной конференции в Севастополе.- Донецк: .- 2003.- Том 1.- С. 279-284. **25.** Инюшев В. В., Стадник О. А. Исследование постепенных отказов при обеспечении качества функционирования оборудования АЭС // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонГТУ.- 2000.- Вып.- 12. С. 39-41. **26.** Основы применения риск - ориентированных подходов оптимизации регламентов ТО ремонта оборудования СВБ./ В.Н Васильченко, Ю.А, Комаров, В, И, Скалозубов, Н.А. Фридман.//Ядерная и радиационная безопасность. – 2002. –Том. 5,– №4. –С. 56-59. **27.** ГОСТ 27.410-87 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. Введ. 01.01.89.- М.: Изд-во стандартов, 1987.-109 с.. **28.** Печерица А. В., Важенин О.Н. Практическое использование байесовских моделей для оценка риска от эксплуатации АЭС Украины // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонГТУ.- 2002.- Вып.- 23. С. 102-110. **29.** Martz H.F., Waller R.A. Bayesian reliability analysis. Krieger Publishing Company. Malabar,

Florida. 1991. 745 р. **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, Стадник 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 решаются 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.