

НАДЕЖНОСТЬ И РЕСУРСНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАШИН

12 декабря 2002 г., 9.00 – 18.00
1-й учебный корпус БНТУ
аудитория 202

Руководители секции:

Махутов Н.В. – д.т.н., профессор, член-корр РАН

Почтенный Е.К. – д.т.н., профессор

Капуста П.П. – к.т.н., доцент

Секретарь: **ЦарукФ.Ф.** – к.т.н., доцент

УДК 62.192:519.2

**О.В. Берестнев¹, Ю. Л. Солигерман¹,
А.М. Гоман¹, А.А. Дюжев²**

НОРМИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

¹⁾ *Институт надежности машин Национальной Академии наук, Минск, Беларусь,*
²⁾ *УП ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике, Гомель, Беларусь*

Нормирование надежности элементов сложных технических систем представляет задачу определения требований к их надежности, обеспечивающей установленные показатели надежности всей системы.

Распределение заданной надежности R_s между элементами системы требует решения неравенства:

$$f(R_1, R_2, R_3, \dots, R_n) \geq R_s, \quad (1)$$

где R_i - заданная вероятность безотказной работы i -го элемента,

f - функциональное соотношение между надежностью элементов и системы.

При наиболее распространенном в технике последовательном соединении элементов функция f подчиняется условию:

$$\prod_{i=1}^n R_i(t) \leq f \leq R_{min}(t). \quad (2)$$

где $R_{min}(t)$ - надежность лимитирующего элемента.

При независимых отказах элементов левое неравенство выражения (2) превращается в строгое равенство. При полностью коррелированных отказах элементов правое неравенство выражения (2) превращается в строгое равенство.

Пусть $\lambda_i(t)$ - интенсивность отказов i -го элемента, а $\lambda_s(t)$ - интенсивность отказов системы. Тогда неравенство (1) может быть представлено в виде:

$$\lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \dots + \lambda_n(t) \leq \lambda_s(t). \quad (3)$$

Для нормирования надежности системы могут быть использованы различные аналитические и статистические модели и методы. В частности, к ним относятся:

- Метод равномерного распределения надежности,
- Метод весовых коэффициентов,
- Метод минимизации затрат,
- Метод динамического программирования,
- Метод неопределенных множителей Лагранжа,
- Метод учета влияющих факторов,
- Метод Марковских сетей,
- Метод доминирующих последовательностей с ограничениями,
- Метод нормирования с учетом резервирования и доработок базовых элементов системы,
- Метод нормирования с учетом восстановления системы в процессе эксплуатации и ряд других.

При распределении требований к надежности между элементами системы необходимо учитывать следующие основные факторы: сложность структуры и длительность использования отдельных подсистем; достигнутый технический уровень надежности отдельных подсистем и их элементов; критичность отказов подсистем.

Нормирование надежности важнейших компонентов сложных технических систем следует осуществлять с учетом допустимого человеческого, экологического и экономического риска. При оценке допустимого человеческого риска необходимо учитывать вероятность отказа, его последствия, а также стоимость дополнительных мер по снижению вероятности его появления. Суммарный экономический риск, связанный с отказом системы, можно определить по формуле

$$S_R = \sum_{i=1}^n N_i (C_{1i} + C_{2i} T_i), \quad (4)$$

S_R - Стоимостное выражение суммарного риска;

n - Число элементов в системе;

N_i - Число отказов i -го элемента за анализируемый период;

C_{1i} - Стоимость ремонтных работ по восстановлению работоспособности или замены i -го элемента;

C_{2i} - Оценка убытков, связанных с вынужденным простоем системы в течение единицы времени;

T_i - Время простоя, связанное с восстановлением работоспособности или заменой i -го элемента.

Для решения задачи нормирования надежности сложной технической системы представляется необходимым построение графов системных моделей, своеобразных деревьев развития повреждений, приводящих к критическим отказам. Расчетный анализ разрабатываемых моделей позволяет предложить метод нормирования надежности отдельных компонентов сложных технических систем по данным установленных из условий не превышения максимально допустимого риска требований к надежности и безотказности системы в целом.

Существенного повышения эффективности нормирования надежности можно достичь путем использования доступной информации о фактической надежности отдельных подсистем и элементов, как эксплуатирующихся систем-аналогов, так и опытных образцов разрабатываемых систем.

Основными видами распределений, наиболее часто применяемых при анализе надежности сложных технических систем являются:

- Экспоненциальное;
- Нормальное;
- Логарифмически нормальное;
- Вейбулла.

При априорном нормировании надежности сложных технических систем наибольшее распространение получило экспоненциальное распределение. С одной стороны, при значительном числе элементов распределение надежности сложной технической системы приближается к экспоненциальному закону. С другой стороны, при экспоненциальном распределении выполнение нормирования надежности подсистем и элементов существенно упрощается. Хотя применение экспоненциального распределения по сравнению с другими распределениями дает завышенные требования к надежности подсистем. Так, например, по данным [1], в случае экспоненциального распределения вероятность безотказной работы составляет около 75% значения вероятности безотказной работы при нормальном распределении при одинаковых значениях средней наработки на отказ. Следовательно, можно полагать, что нормирование надежности с применением экспоненциального распределения определяет верхний предел требований к надежности отдельных подсистем. Тем не менее, по указанным выше причинам, экспоненциальное распределение широко применяется при нормировании надежности сложных технических систем в энергетике, электронике, судостроении и ряде других отраслей.

В качестве примера использования разработанных методов приведем полученные результаты нормирования надежности основных подсистем самоходного зерноуборочного комплекса КЗР-10 «Полесье-Ротор». Указанный комплекс представляет собой сложную самоходную машину с набором сменного рабочего оборудования и состоит из значительного числа деталей, объединенных в целый ряд систем и агрегатов. Надежность зерноуборочного комплекса определяется как надежностью отдельных систем и агрегатов, так и структурными связями между их функционированием. По аналогии с эксплуатационными данными наработки на отказ УЭС-2А-250А, являющегося основной машиной, на которой базируется комплекс, описываемого распределением Вейбулла, принято, что наработка на отказ остальных подсистем зерноуборочного комплекса также описывается распределением Вейбулла

$$R(t) = \exp(-\alpha t^\beta) \quad (5)$$

с параметрами $\alpha=0,000004$, $\beta=2,04$, полученными на основании обработки экспериментальных данных.

T_{90} - гамма-процентная ($\gamma=90\%$) наработка на отказ каждой из подсистем описывается из выражения:

$$T_\gamma = \left(-\frac{1}{\alpha} \ln \gamma\right)^{1/\beta}. \quad (6)$$

Для нормирования надежности системы, состоящей из n последовательно соединенных независимых подсистем используется выражение:

$$T_\gamma = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T_i} \right)^\beta \right]^{-1/\beta} \quad (7)$$

Задаваясь требуемой наработкой на отказ зерноуборочного комплекса КЗР-10 "Полесье-Ротор" $T_{90}=80$ моточасов и универсального энергетического средства УЭС-2А-250А $T_{90}=150$ моточасов, используя метод весовых коэффициентов, принятых по аналогии с данными нормирования надежности агрегатов зерноуборочного комбайна "Дон- 1500", получим величины 90 % наработки на отказ отдельных агрегатов зерноуборочного комплекса. Результаты нормирования надежности с использованием различных методов и законов распределения приведены в таблице и показаны на рисунке.

Распределение	Наработка на отказ $T_{90\%}$ час		
	Экспоненциальное	Вейбулла	
Метод нормирования	Равномерный	Весовых коэффициентов	
УЭС 2А-250А "Полесье"	150	150	150
Молотильно-сепарирующее устройство	685	390	120
Система транспортировки зернового вороха	685	1630	520
Прицепной очиститель-накопитель	685	1630	520
Жатка зерновая	685	490	160
Зерноуборочный комплекс "КЗР-10"	80	80	80

Изложенная методика применима для нормирования надежности элементов любой сложной технической системы при последовательном соединении агрегатов и независимости их отказов. Метод учета зависимостей между отказами отдельных элементов изложен в [2].

Литература. 1. Переверзев Е.С., Даниев Ю.Ф. Испытания и надежность технических систем. Днепропетровск: НАН, НКА Украины, Институт технической механики, 1999. - 223с. ISBN 5-217-00033-3. 2. Солитерман Ю.Л. . Прогнозирование надежности деталей и агрегатов трансмиссий. - В кн. «Надежность и безопасность технических систем» Тез. докл. Международн. Научно- техн. конф. Минск.1997.С.66-69

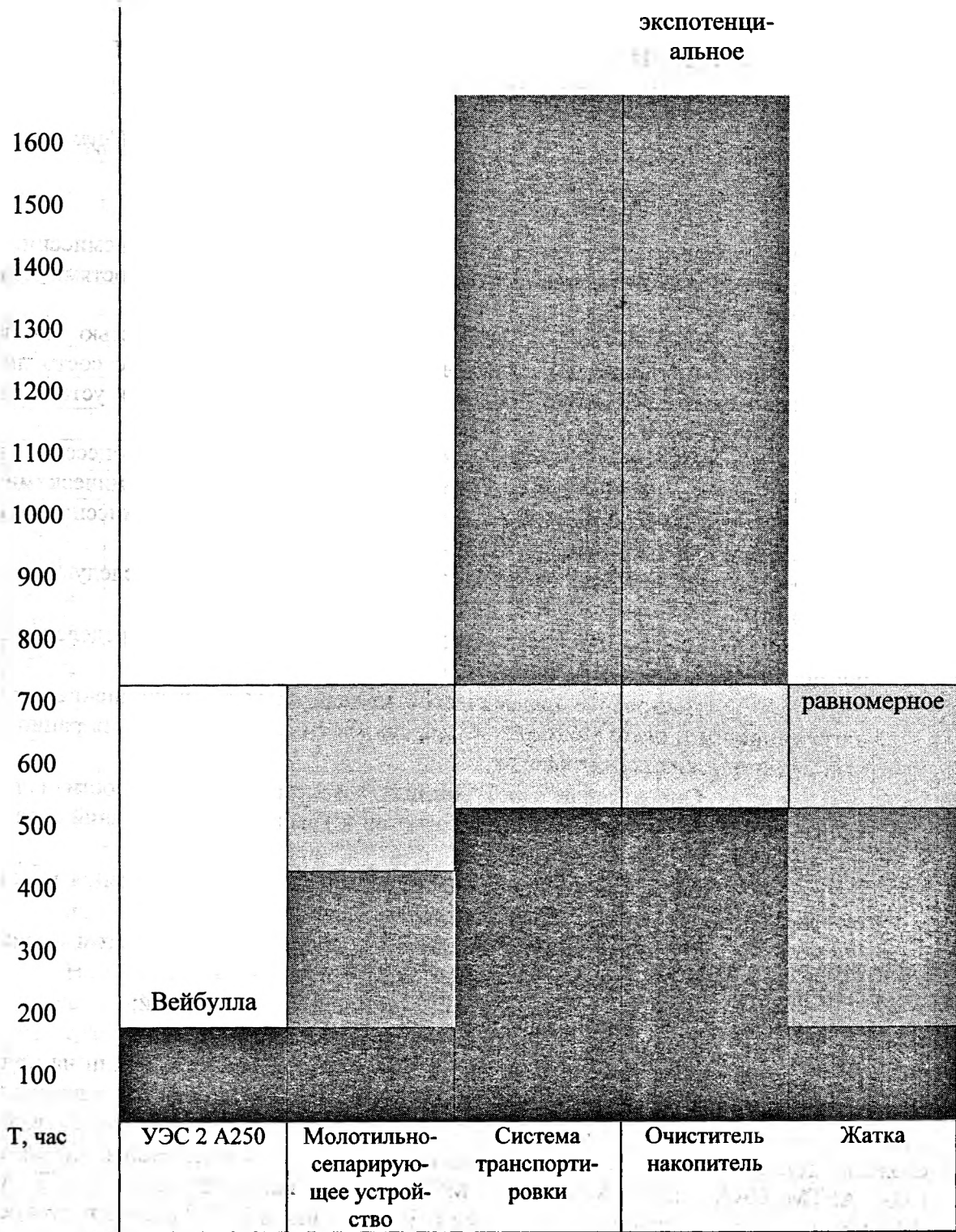


Рисунок. Нормирование наработки на отказ основных компонентов зерноуборочного комплекса КЗР -10 "Полесье-Ротор"