

на стадии проектирования// В сб. Материалы V международной научно-технической конференции “Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века” (8-11 сентября 1998 г., г. Севастополь)/ Ред. коллегия Михайлов А. Н., Калафатов Л. П., Бузенко В. И. и др.– Донецк: ДонГТУ. – Т2. Вып. 6, 1998. – С.38-41. 7. Почтенный Е.К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости деталей машин. - Мн.: Наука и техника, 1983, 246 с.ил. 8. Высоцкий М.С., Почтенный Е.К., Парфенович Е.О. Сопротивление усталости элементов конструкций при двухчастотном нагружении. – Вестник машиностроения, 1995, № 1, с. 3-6. 9. Почтенный Е.К., Капуста П.П. Схематизация случайного нагружения// В сб. Материалы международной 54-й научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БГПА/ В 10 – ти частях. – Минск, –2000. – Ч. 6. – С. 107. 10. Почтенный Е.К., Капуста П.П. Приведение асимметричных циклов к эквивалентным по повреждающему воздействию симметричным или отнулевым// Весці НАН Беларусі: Серыя фізіка-тэхнічных навук.- 2000. - №2. - С. 59 – 61. 11. Почтенный Е.К., Кадолко Л.И., Парфенович Е.О. Анализ случайного многочастотного нагружения// Весці НАН Беларусі: Серыя фізіка-тэхнічных навук.- 1997. - №4. - С. 26 – 30. 12. Почтенный Е.К., Капуста П.П. Анализ сопротивления усталости конструкций при случайном многочастотном и многорегимном нагружении// В сб. Материалы международной 54-й научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БГПА. - В 10 – ти частях. – Минск, –2000. – Ч. 6. – С. 14. 13. Почтенный Е.К., Капуста П.П. Суммирование усталостных повреждений при реальном многорегимном нагружении// Тез. докл. Международной научно-технической конференции “Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций”/ Отв. ред. В.Т. Трощенко: В 2 томах. – Киев, 2000. – Т. 1. – С. 195 – 196.

УДК 621.585 — 192

В.Б. Альгин, А.В. Вербицкий, Суровцев А.И.

СХЕМЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ И РАСЧЕТ РЕСУРСА МАШИН

*Институт механики машин Национальной академии наук Беларуси
Минск, Беларусь*

Введение. В теории надежности используется *структурная схема надежности*, которая служит для графической интерпретации структурной формулы надежности системы. Сама сема имеет вид сети, а элементы могут принимать два состояния: работоспособное и неработоспособное (отказ). Упомянутые схемы используются и для расчета вероятности предельного состояния машин [1, 2]. При многих вариантах предельных состояний подобная схема становится громоздкой и трудноформируемой. В работе [3] для определения вероятности безотказной работы используется не структурная схема надежности, а схема объекта, структура которой отображает *топологическую связь между элементами системы*, при этом каждый элемент может иметь несколько состояний с определенной вероятностью. Возможные состояния элемента составляют полную группу событий (сумма соответствующих вероятностей равна единице). Разработанный метод расчета вероятности безотказной работы позволяет избежать построения громоздких схем, описывающих на графическом уровне все возможные варианты отказа системы.

В практике имеют место ситуации, когда предельное состояние системы определяется на основе сложной логики, которая применяется к состояниям иерархически организованных элементов (составных частей). Соподчиненность элементов описывается *иерархической схемой*. Например, ресурс трактора считается исчерпанным, если потребовалась замена или проведение капитального ремонта не менее двух его основных частей (двигатель, коробка передач, задний мост, передний мост), одна из которых — обязательно двигатель, и хотя бы одной из дополнительных частей (полурама, кабина) [4]. Предельное состояние агрегата определяется достижением предельного состояния нескольких его составных частей (деталей) и т.д.

Для подобных задач описанные ранее структурные схемы мало пригодны. Необходимо разработать специальные схемы, методику и программное обеспечение для расчета ресурса с учетом сложной логики, отражающей *иерархию и сочетания вариантов предельных состояний* машины и ее составных частей. Эта проблема рассматривается в данной статье.

Схемы предельных состояний. Для формального описания предельных состояний механического объекта как многоуровневой системы вводится *схема предельных состояний*: Многоуровневый объект описывается иерархической схемой объектов — составных частей — с указанием их типов. Каждый объект, кроме объекта высшего уровня является составной частью (элементом) объекта более высокого уровня. Объекты, отказы которых имеют одинаковую значимость для объекта более высокого уровня, относят к одному типу.

По каждому объекту, кроме объектов низшего уровня, составляется *схемная запись предельного состояния* (ПС):

$$(a_1, a_2, \dots, a_k) \quad (1)$$

В каждой схемной записи содержится K чисел a_k , каждое из которых указывает, сколько составных частей определенного k -го типа (тип соответствует позиции числа в схемной записи) должно достичь ПС для наступления ПС объекта. Комбинация этих чисел описывает ПС объекта. Например, запись (1, 2, 1) означает, что для наступления предельного состояния объекта предельных состояний должны достичь: одна составная часть первого типа, две составные части второго типа и одна третьего.

Объект может иметь N схем предельных состояний. По каждой из них определяется ресурс $T_n, n=1, 2, \dots, N$. В качестве расчетного ресурса принимается наименьший:

$$T = \min(T_1, T_2, \dots, T_N) \quad (2)$$

Информация о предельных состояниях объекта включает: данные, формируемые по иерархической схеме составных частей, и данные о свойствах объектов в схеме, например, данные о ресурсах объектов низшего уровня.

На рисунках 1 — 3 приведены характерные схемы предельных состояний мобильной машины и некоторых ее основных частей. Для блоков низших уровней указаны их типы.

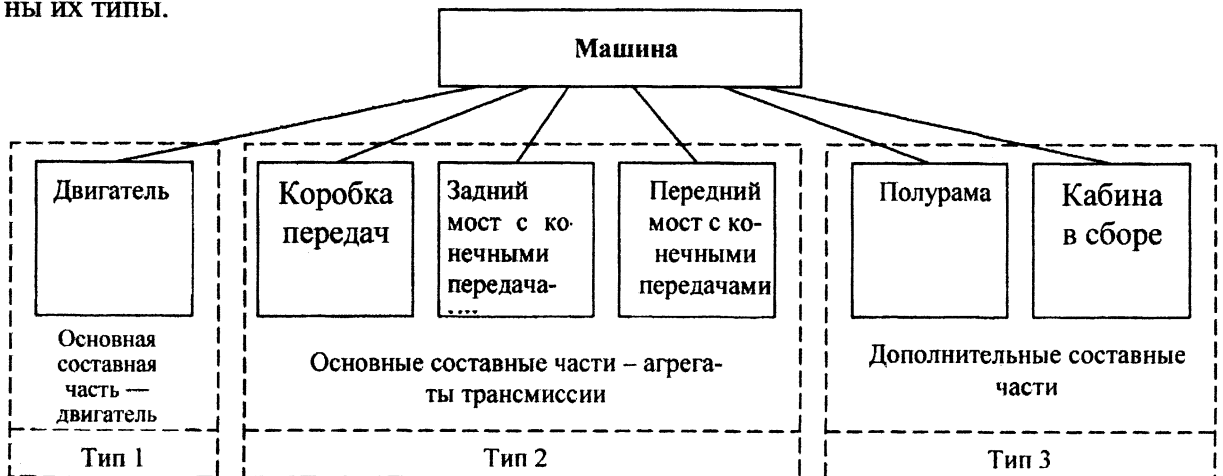


Рис. 1: Составные части машины и схема ее ПС: (1, 1, 1)

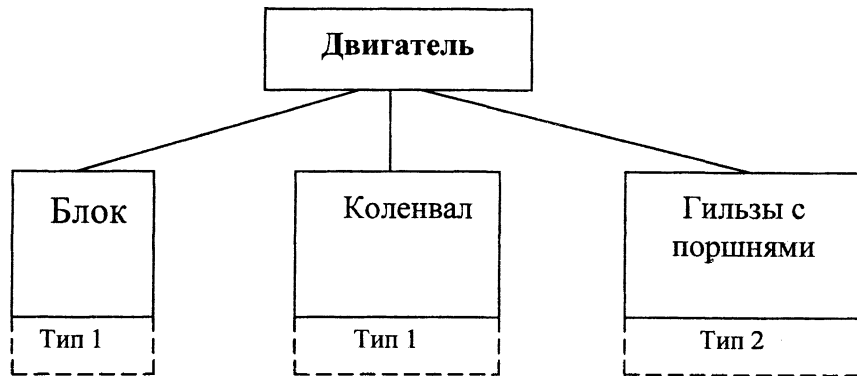


Рис. 2. Составные части двигателя и схема его ПС: (1,0) (0,3)

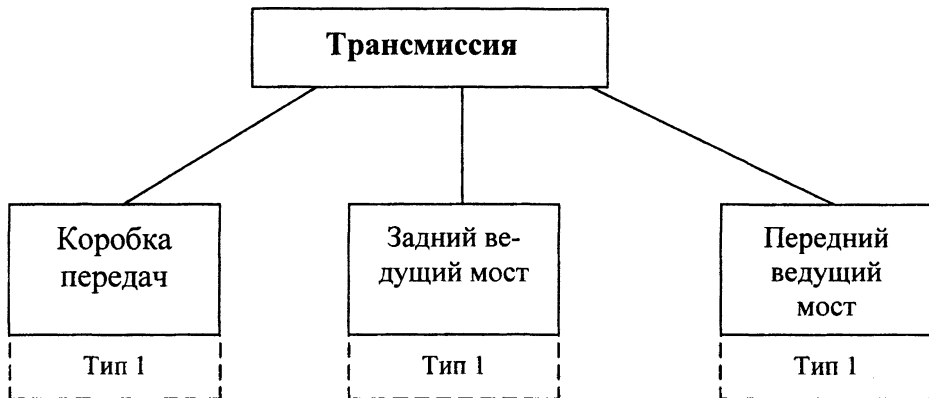


Рис. 3. Составные части трансмиссии и схема ее ПС: (2)

В таблице приведены результаты вероятностного расчета ресурса машины как двухуровневого объекта.

Объект	Закон распределения ресурса	Коэффициент вариации ресурса	Ресурс, относительные единицы	
			средний	80%-ный
1. Двигатель	Логарифмически нормальный	0,45	1,57	1,0
2. Коробка передач		0,55	1,73	
3. Передний ведущий мост		0,45	1,55	
4. Задний ведущий мост		0,45	1,58	
5. Кабина		0,50	1,7	
Машина (до первого отказа)	Близок к логарифмически нормальному	0,29	9,1	0,6871
Машина (с учетом предельных состояний)		0,38	2,07	1,4225

Подобная двухуровневая схематизация может быть использована на стадии концептуального проектирования машины, когда оцениваются ресурсные свойства машины в зависимости от ресурсных свойств агрегатов, последние при этом могут быть приняты некоррелированными. На последующих стадиях должна использоваться многоуровневая схема, начиная с уровня отдельных деталей и выполняться расчет, воспроизводящий основные разрушительные процессы и ресурсные зависимости элементов [5, 6].

Второй уровень имеет пять характерных составных частей, которые в основном соответствуют рис. 1 (из рассмотрения исключена полурама, обычно проектируемая на повышенный ресурс). Составные части спроектированы на 80%-ный ресурс, в относительных единицах принятый равным 1,0, и типизированы (ранжированы) следующим образом: первая — тип 1, вторая, ..., четвертая — тип 2, пятая — тип 3. Схема предельных состояний принята следующая: (1, 1, 1), т.е. для наступления предельного состоя-

ния системы должны предельных состояний достичь: одна составная часть первого типа, одна составная часть второго типа и одна третьего. Для сравнения в таблице приведены варианты расчета ресурса машины до первого отказа и с учетом схемы предельных состояний. Из таблицы видно, что ресурсы, относящиеся к сопоставляемым вариантам, существенно отличаются. Отсюда следует, что при сравнении данных по ресурсу машин необходимо четко указывать, по какой модели определяется ресурс: до первого отказа, или с определенной логикой предельных состояний.

Программное обеспечение для расчета ресурса машин

Программное обеспечение ресурсного расчета машин включает многоуровневый расчет ресурса по схеме “условия эксплуатации — ресурс” с моделированием машины как механического объекта с зависимыми компонентами [5, 6]. Предусматривается использование метода статистических испытаний, варьирование условий эксплуатации и несущей способности конструктивных элементов, Начальным уровнем является моделирование предельных состояний отдельных конструктивных элементов, затем рассчитываются ресурсы деталей, узлов, агрегатов и механического объекта в целом. Для реализации в каждом цикле статистического моделирования рассмотренной сложной логики расчета ресурса используется специальный программный модуль, который предназначен для проектирования ресурсных схем. Одновременно с процессом создания схемы идет формирование ее структурного описания. Это описание в дальнейшем используется для расчета ресурса. Ранее разработанная версия пакета была ориентирована на менее общую методологию. Новая версия реализует в полном объеме описанную выше методологию и основывается на следующих решениях.

Схема строится, на основе набора однотипных элементов. При этом предусматривается возможность построения широкого спектра схем. Это обеспечивается определением свойств каждого элемента и в соответствии со свойствами «прогнозируемое» поведение элемента в схеме. Каждый из элементов является универсальным. Базовые элементы несут в себе логику схемы. Все устанавливаемые элементы представляют собой не просто некий графический примитив, который можно “установить в схему”, а объект, обладающий своим поведением, после анализа программой его характеристик. При установке элемента он проверяется на возможность установки в схему. Например, при введении в схему описания составных частей кабины программа проверит, могут ли они относиться к элементу верхнего уровня. Это принципиальное решение, так как построение структурной схемы требует информации о связях элементов. Связи устанавливаются в ходе построения схемы автоматически при указании элемента верхнего уровня.

Процесс создания схемы носит максимально упрощенный характер. Каждый элемент имеет стандартное описание: *название, уровень и характеристики*. Вместе с тем пользователю необходимо четко понимать структуру описываемого объекта и иметь характеристики каждого элемента схемы. Все элементы схемы несут в себе логику своей работы. Их можно просто установить в схему, а можно только указать место для установки. Однако связи необходимо указывать заранее. То есть при внесении в схему нового элемента, необходимо указать к какому элементу верхнего уровня он будет относиться, и только после этого осуществлять ввод его параметров. Следует отметить что на любом этапе создания схемы возможно ее полное редактирование пользователем. Структурное описание схемы формируется автоматически. По запросу пользователя оно может определенным образом заноситься в файл или обрабатываться.

Заключение. Разработанные методика и программное обеспечение решают задачу прогнозирования ресурса механических объектов со сложной логикой предельных состояний и иерархической структурой, характерных для современных машин. Указанная разработка является развитием методов и программного обеспечения расчета ма-

шин как систем с зависимым поведением элементов в рамках ресурсной механики машин.

Литература. 1. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1990. — 448с. 2. Хазов Б.Ф., Дидусев Б.А. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. — М.: Машиностроение, 1986. — 224 с. 3. Велигурский Г.А. Аппаратурно-программные методы анализа надежности структурно-сложных систем. — Мн.: Наука и техника, 1986. — 256 с. 4. РТМ 70.0001.246-84. Критерии предельного состояния тракторов и их составных частей. — М., 1985. 5. Альгин В. Б. Динамика, надежность и ресурсное проектирование трансмиссий мобильных машин. — Минск: Навука і тэхніка, 1995. — 256 с. 6. Альгин В.Б. Методология ресурсно-функционального вероятностного расчета, проектирования и оценки мобильной техники // Механика машин на пороге III тысячелетия. Материалы междунар. науч. конф., Минск, 23—24 нояб. 2000 г.— Мн.: НИРУП «Белавтотракторостроение», 2001. — С. 292—306.

УДК 621.833

Благодарный В.М.

АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Технологический университет г. Кошице
Прешов, Словакия*

Любой элемент механической системы обладает субстанцией, характеризующей основные свойства, обеспечивающие его работоспособность.

Работоспособное состояние элемента определяется как состояние, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической или конструкторской документации. Таким образом, работоспособность можно охарактеризовать совокупностью признаков, изменяющихся в определенных пределах. Выход какого-либо признака за пределы допуска приводит к отказу элемента. Признаки, позволяющие оценить работоспособное состояние элемента, называются критериями работоспособности. Согласно [1] «критерий – это стандарт, с помощью которого производится оценка целей данного уровня». Критерий должен отвечать следующим основным условиям.

Он должен быть представительным, то есть отражать основную, а не второстепенную информацию об элементе.

Критерий должен быть критичным к варьируемым параметрам, то есть достаточно сильно изменяться при изменении параметров, зависящих от принятого решения [1].

Желательно, чтобы критерий был единственным, тогда возможно строгое математическое решение задачи. Однако, в большинстве случаев оказывается, что критериев может быть много. В этом случае существует несколько подходов к решению задачи. Первый из них состоит в сведении ряда критериев к одному

$$\theta_{\Sigma} = \alpha_1\theta_1 + \alpha_2\theta_2 + \alpha_3\theta_3, \quad (1)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — коэффициенты важности (весовые коэффициенты) частных критериев.

Недостаток этого подхода состоит в трудности определения весовых коэффициентов критериев.