

В.Б. Альгин, М.А. Кононович

**СИНТЕЗ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ  
ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

*НИРУП “Белавтотракторостроение” НАН Беларуси,  
Институт механики и надежности машин НАН Беларуси,  
Минск, Беларусь*

**Введение.** Для выполнения проектных расчетов необходимо иметь данные по нагрузочному режиму. Обычно в проектных расчетах используются следующие детерминированные параметры: спектр времени (продолжительности по пробегу) работы на передачах, нагрузочные кривые и скоростные параметры. Относительное время работы распределяется по передачам исходя из того, что его общая сумма равна единице. Эта методическая неточность особенно ощущается, когда машина имеет большое число передач. Отдельные передачи по времени оказываются недогруженными сравнительно с возможными реальными случаями эксплуатации машин в достаточно узких или специфических условиях. Этот факт известен специалистам-расчетчикам. Поэтому для таких, так называемых рабочих передач, часто устанавливается повышенное время работы. Однако такая операция основана на здравом смысле и методически ничем не подкреплена.

Будем полагать, что нагрузочные кривые на каждой из передач могут быть получены методами, описанными в [1]. Можно предположить, что нагрузочные кривые на определенных передачах стабильны, использование передач обусловлено разгонами и сопротивлениями движению машины, различия в действиях водителей при выборе передач не вносят существенного изменения в рассматриваемые нагрузочные кривые. При этом разнообразие нагрузочных режимов обуславливается, в основном, разной продолжительностью работы машины в различных условиях эксплуатации.

В работе рассматривается задача получения вероятностного спектра продолжительности работы машины на передачах. В качестве исходной информации принимаются данные о вероятностных характеристиках относительной продолжительности работы машин по множеству их условий эксплуатации. Предварительно по заданным характеристикам определяются параметры распределений для получения вероятностного спектра условий [2].

Вероятностная модель спектра эксплуатационных условий. Эксплуатационная среда машин типизируется на  $K$  отдельных регламентированных назначением машины условий. Состав и характеристики этих условий фиксируются. Разнообразие, присущее реальной эксплуатации, воспроизводится за счет вариации продолжительности отдельных составляющих для каждой машины. Относительная продолжительность каждого условия описывается случайной величиной (СВ) с распределением, близким к нормальному. При этом помимо средних значений задаются характеристики рассеяния в виде среднего квадратического отклонения (СКО) относительной продолжительности для каждого условия.

Задание средних значений не представляет особых затруднений. Они могут быть приняты по данным аналогов. Второй параметр (СКО) является новым в системе вероятностных расчетов. По нему нет пока большой статистики, но он необходим для корректной постановки и решения вероятностных задач. Его можно задавать на основе экспертных оценок. Указанных характеристик достаточно для моделирования нормальных СВ методом статистических испытаний.

Проблема состоит в том, что смоделированные для отдельной машины СВ, имитирующие относительную продолжительность, должны в сумме давать единицу.

Чтобы выполнить это условие вводится специальная процедура согласования, корректирующая значения изначально смоделированных величин. Для подбора параметров распределений СВ, которые после процедуры согласования дают с определенной точностью значения, близкие к требуемым (заданным) используется алгоритм, основанный на пошаговом приближении к искомым параметрам.

При поиске параметров согласованных СВ многократно (по гипотетическому числу машин) воспроизводится процедура статистического моделирования спектра  $K$  условий их эксплуатации. Число испытаний (число машин)  $I_{sp}$  в каждой процедуре задается близким к значению, принимаемому в прогнозирующих ресурсно-функциональных расчетах. Обычно это значение находится в пределах  $I_{sp}=1000\dots 10000$ .

В каждом из испытаний спектр смоделированных исходных значений относительной продолжительности  $\alpha_{xk}$  ( $k=1, 2, \dots, K$ ) проверяется на ограничение

$$0 \leq \alpha_{xk} \leq 1. \quad (1)$$

Сумма получаемых исходных значений, как правило, не равна единице. Поэтому их нормируют следующим образом:

$$\alpha_{yk} = \alpha_{xk} / \sum_{k=1}^K \alpha_{xk}. \quad (2)$$

Значения  $\alpha_{yk}$  ( $k=1, 2, \dots, K$ ), сумма которых равна единице, названы согласованными. Они соответствуют индивидуальному эксплуатационному спектру машины.

По результатам всех  $I_{sp}$  испытаний определяются статистические характеристики согласованных СВ. Полученные значения СКО  $S_{yk}$  проверяются на близость к заданным значениям  $S_k^*$ :

$$|S_{yk} - S_k^*| / S_k^* \leq \varepsilon, \quad k=1, 2, \dots, K, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – принятая точность, обычно 0,05. Средние значения согласованных величин, как правило, близки к средним значениям исходных СВ.

Если условие (3) не выполняется, то для следующего  $m+1$  шага (процедуры) моделирования значения СКО пересчитываются по формуле

$$S_{k\ m+1} = S_{k\ m} S_k^* / S_{yk\ m}. \quad (4)$$

Использование последней формулы, как показал опыт работы с данным алгоритмом, обеспечивает достижение точности за конечное число шагов при разумно выбранной величине  $\varepsilon$ .

Определение характеристик времени работы на передачах. Относительное время работы на передачах  $t_{ni}$  для каждого из рассматриваемых видов условий эксплуатации предполагается известным или заданным (детерминированные величины). Задача состоит в том, чтобы получить распределение относительного времени работы на передачах  $t_{\Sigma xn}$  по всем условиям (случайная величина). Расчет относительного времени

работы  $t_{\Sigma n}$  ( $n=1,2,\dots,N$ ) проводится на основе получаемых в каждом испытании значений  $\alpha_{yk}$ , по формуле

$$t_{\Sigma n} = \sum_{k=1}^K t_{nk} \cdot \alpha_{yk} . \quad (5)$$

Эта операция осуществляется в общем цикле ( $I_{sp}$  испытаний) статистического моделирования, воспроизводящем время работы в каждом из условий эксплуатации.

По результатам всех  $I_{sp}$  испытаний определяются характеристики СВ.

Результаты расчета. Результаты моделирования представлены в таблице, где показаны статистические характеристики СВ: в верхней части — продолжительности условий эксплуатации, в нижней — времени работы на передачах.

Относительное время работы в условиях эксплуатации  $a_k$  и на передачах  $t_n$

Характеристика СВ	Условие эксплуатации $k=1,\dots,4$				Среднее время работы на передаче по всем условиям (в относительных единицах) $t_{n\Sigma}$	СКО времени работы на передаче по всем условиям (в относительных единицах) $S_{tn\Sigma}$		
	1	2	3	4				
Среднее $\bar{a}_k^{(*)}$	0,5000	0,3500	0,1250	0,0250	0,12	0,0085		
СКО $S_{ak^{(*)}}$	0,0375	0,0263	0,0094	0,0019				
Среднее $\bar{a}_k^{(x)}$	0,5000	0,3500	0,1250	0,0250				
СКО $S_{ak^{(x)}}$	0,0755	0,0083	0,0034	0,0000				
Среднее $\bar{a}_k^{(y)}$	0,5131	0,3411	0,1217	0,0241				
СКО $S_{ak^{(y)}}$	0,0367	0,0261	0,0093	0,0018				
Передача $n=I, \dots, V$	Время в относительных единицах (долях) $t_{kn}$						0,17	0,013
	$t_{n1}$	$t_{n2}$	$t_{n3}$	$t_{n4}$				
I	0,15	0,10	0,050	0,040			0,24	0,018
II	0,20	0,15	0,15	0,10			0,27	0,020
III	0,25	0,25	0,20	0,26	0,19	0,014		
IV	0,25	0,30	0,30	0,30	0,99			
V	0,15	0,30	0,30	0,30				

Примечание: В индексах средних и среднеквадратических отклонений (СКО) использованы следующие обозначения: (\*) — заданные характеристики СВ; (x) — найденные характеристики исходных распределений СВ; (y) — характеристики согласованных СВ, у которых сумма в каждом испытании равна единице.

Полученные распределения позволяют обосновать расчетное время для составных частей машин, в том числе элементов, работающих на одной или нескольких передачах. Для проектирования мы рекомендуем использовать значения, соответствующие 80%-ной вероятности. Корректность полученных проектных результатов проверяется в общем цикле проектирования, включающем вероятностные проверочные расчеты.

Заключение. Представленная методика решает задачу определения вероятностных параметров нагрузочного режима для проектных расчетов машин со ступенчатыми трансмиссиями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Альгин В. Б. Динамика, надежность и ресурсное проектирование трансмиссий мобильных машин. — Минск: Навука і тэхніка, 1995. — 256 с.; 2. Альгин В.Б., Богдановский И.Г. Вероятностная модель спектра условий эксплуатации мобильной

техники// Вестник Могилевского государственного технического университета. 2001. №1. — С. 14—17.

УДК 539.3

Д.Г. Медведев, М.А. Журавков, О.В. Громыко, А.О. Громыко

Исследование продольных колебаний стержней с микронеоднородностями

Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь

Рассматриваются продольные затухающие колебания стержней, выполненных из композитного материала, в матрицу одного материала которого включены зёрна другого материала. Композитный материал такого типа считается микронеоднородным. Поскольку рассматриваемый материал имеет достаточно большое количество включений, то его характеристики можно представить быстроосциллирующими функциями. В процессе решения задачи получены зависимости для вычисления декремента продольных колебаний с учётом микронеоднородности свойств материала. Если предположить, что диссипативные силы пропорциональны первой степени скорости движения частиц, то уравнение продольных колебаний стержня из композитного материала можно записать в следующем виде:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ E(x)F \frac{\partial u}{\partial x} \right] - 2b(x) \frac{\partial u}{\partial t} - \rho(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где  $E(x)$ ,  $b(x)$ ,  $\rho(x)$  – соответственно модуль упругости, коэффициент вязкости, плотность материала;  $F$  – площадь поперечного сечения стержня.

Представим граничные и начальные условия для уравнения (1) в следующем виде:

$$u|_{x=0} = \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0; \quad u|_{t=0} = f_1(x); \quad \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = f_2(x). \quad (2)$$

Зависимость механических характеристик материала  $E$ ,  $b$  и  $\rho$  от продольной координаты  $x$  представим в виде следующих функций:

$$E = E_0 + q_1(x); \quad b(x) = b_0 + q_2(x); \quad \rho(x) = \rho_0 + q_3(x);$$

$$q_m = \sum_{k=1}^{\infty} \mu_k^{(m)} e^{i\omega\alpha_k x};$$

$$\mu_k^{(m)} = \lambda_k^{(m)} (\cos \varphi_k; i \sin \varphi_k); \quad m = 1, \dots, 3. \quad (3)$$

В соотношениях (3) величины  $E_0$ ,  $b_0$ ,  $\rho_0$  являются экспериментально найденными значениями средних констант материала. Величины  $q_m$  определяются в результате исследования микроструктуры образца. Следует отметить, что параметр  $\omega$  обратно пропорционален среднему расстоянию между зёрнами и поэтому имеет весьма большую величину по сравнению с  $\alpha_k$  (при большом числе зёрен в единице объёма материала). Поэтому отклонения характеристик композитного материала, определяемые соотношениями (3), имеют характер быстроосциллирующих по координате  $x$  функций.

Если искать решения предельной задачи (1), (2) в виде разложения по малому параметру  $\chi$