

2. Полученные закономерности позволяют прогнозировать параметры надежности карданных валов и вносить соответствующие коррективы при расчете их долговечности.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Кожевников С. Н., Перфильев П. Д. Карданные передачи.— К.: Техника, 1978.— 264 с. [2]. Универсальный стенд с автоматическим управлением для испытания карданных валов / Р. П. Капустин, А. В. Шувалов, В. П. Костенко и др.— Автомоб. пром-сть.— 1982.— № 1.— С. 28—29.

Поступила 15 ноября 1989 г.

УДК 630\*37 : 629.113.62

## СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОРОГ В ЗАДАЧАХ ДВИЖЕНИЯ ТРОЛЛЕЙНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ПОЕЗДОВ

С. А. ЗУЕВ, Г. И. КОЛЬНИЧЕНКО

Московский лесотехнический институт

В МЛТИ ведутся работы по созданию средств троллейного лесотранспорта [3]. Одна из эффективных мер преодоления трудностей, связанных с решением задач его конструирования и эксплуатации,— применение метода моделирования сложных систем. При помощи моделирования можно исследовать особенности функционирования комплекса троллейный лесовозный поезд — дорога — водитель в различных условиях. На модели параметры поезда и окружающей среды можно варьировать для воспроизведения любой обстановки, в том числе и нереализуемой в натурных испытаниях, т. е. сравнительно быстро получать ответы на многие вопросы функционирования системы при минимальной потребности в дорогостоящих средствах, связанных с ее опробованием.

На вход системы, имитирующей движение троллейного лесовозного поезда, подаются величины, характеризующие состояние поверхности дороги. В результате реакции системы, т. е. соответствующего управления источником механической энергии — тяговым электродвигателем (ТЭД), трансмиссией и тормозной системой, на выходе получим основные показатели движения поезда: скорость, расход энергии, время работы ТЭД, потребляемые ток, мощность и др.

Следовательно, в общий алгоритм расчета параметров движения троллейного лесовозного поезда [2] вводят блок стохастического моделирования продольного профиля дороги. Он позволяет анализировать представленные профили дорог и моделировать геометрические профили, в определенном смысле характерные для рельефа данной местности или региона.

Блок реализован в программе MODEL, состоящей из двух частей. Первая часть проводит статистический анализ представленной дороги прототипа, вторая синтезирует профиль дороги с заданными средним уклоном и протяженностью.

Суть предлагаемого метода анализа дороги прототипа заключается в том, что ее профиль рассматривается как реализация некоторого случайного процесса. В результате его оценки, т. е. определения вероятностных характеристик этого процесса, мы можем получать и другие его реализации и моделировать дороги с тем же распределением, отражающим характерные особенности дорог данной местности.

Будем исходить из того, что профиль дороги представляет собой двухмерную случайную последовательность вида  $(i_j, l_j)$ , где  $i_j$  — уклон дороги на участке  $j$  протяженностью  $l_j$  при числе участков дороги, равном  $N$  ( $j = \overline{1, N}$ ).

Уклон  $i$  считается положительным на подъеме и отрицательным на спуске. На последовательность пар  $(i_j, l_j)$  можно смотреть как на реализацию случайного процесса  $\eta_t$  уклонов дороги, измеренного в точках  $l_1; l_1 + l_2; l_1 + l_2 + l_3$  и т. д.

Алгоритмы статистического анализа имеют, как правило, дело с процессами, измеряемыми через равные промежутки. Поэтому в программе MODEL предусмотрено приведение исходных данных дороги к виду, при котором случайная последовательность  $(i_j, l_j)$  с разными длинами участков  $l_j$  заменяется последовательностью с одним шагом дискретизации  $l = \min l_j$ .

При этом, как и ранее, уклон дороги на новом промежутке (участке трассы) равен отношению перепада высот его начала и конца к длине  $l$  с соответствующим знаком. В результате получаем последовательность  $\eta_t$  ( $t = \overline{1, T}$ ) уклонов дороги, измеренных на участках равной длины  $l$  с числом участков приведенной дороги, равным  $T$ .

Относительно процесса  $\eta_t$  естественно сделать следующие предположения: 1)  $\eta_t$  — стационарный процесс; 2)  $\eta_t$  — эргодический процесс, т. е. среднее по реализации совпадает со средним по параметру  $t$ .

Представим процесс  $\eta_t$  в виде

$$\eta_t = m + \xi_t,$$

где  $m$  — среднее процесса  $\eta_t$ ,  $m = M\eta_t$ .

Тогда

$$\xi_t = \eta_t - m.$$

Очевидно, что  $M\xi_t = 0$  и процесс  $\xi_t$  также обладает свойствами  $\eta_t$ .

Вероятностные свойства процесса  $\xi_t$  отражают стохастический характер профиля дороги и могут рассматриваться как характеристика неровностей данной местности.

Величину  $m$  оценим по формуле

$$\hat{m} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \eta_t = \frac{1}{lT} \sum_{t=1}^T l\eta_t.$$

Поскольку  $l\eta_t$  — перепад высот на  $t$ -м участке, то  $\hat{m}$  представляет собой отношение перепада высот  $\sum_{t=1}^T l\eta_t$  дороги к ее протяженности  $lT$ , т. е. средний уклон дороги.

С помощью подпрограммы пакета SSPLIB ЕС ЭВМ оценивают стохастические характеристики процесса  $\xi_t$ ; подпрограммы VOAKR — среднее  $\hat{m}$ , дисперсию и ковариационную функцию; подпрограммы POSM — коэффициенты авторегрессии (АР) порядка  $k$ :  $a_1, a_2, \dots, a_k$  и дисперсию  $D_k$  белого шума  $\varepsilon_t$  в представлении  $\xi_t$  вида

$$\xi_t = a_1\varepsilon_{t-1} + a_2\xi_{t-2} + \dots + a_k\xi_{t-k} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_t$  — независимая, нормально распределенная случайная величина с параметрами  $(0, \sqrt{D_k})$ .

Как известно из теории случайных процессов [1], любой стационарный процесс с непрерывной спектральной плотностью может быть сколь

угодно точно приближен процессом АР. Этот факт оправдывает представление процесса  $\xi_t$  в виде (1).

С помощью процедуры CIAFI далее определяют лучший порядок  $k_0$  АР среди рассматриваемых гипотез:  $k = \overline{1, 6}$ . Для этого используют метод минимальной ошибки прогноза или информационный критерий Акайка.

После того, как процесс  $\xi_t$  представлен в виде АР порядка  $k_0$ , моделируют профили дорог, удовлетворяющие тому же соотношению (1). При этом полагают

$$\tilde{\xi}_1 = \varepsilon_1; \quad \tilde{\xi}_2 = \varepsilon_2; \quad \dots; \quad \tilde{\xi}_{k_0} = \varepsilon_{k_0},$$

где  $\varepsilon_j \sim N(0, \sqrt{D_{k_0}})$  — независимые гауссовские величины;

$\tilde{\xi}_{k_0+1}, \tilde{\xi}_{k_0+2}, \dots$  — величины, определяемые рекуррентно из соотношения (1).

Через достаточное число шагов процедура выходит на стационарный режим и получаемые данные могут быть использованы для синтеза дороги.

Моделируемая дорога  $\tilde{\eta}_t$ , имеющая длину  $L$  и средний уклон  $i_{cp}$ , которые задаются пользователем, имеет вид

$$\tilde{\eta}_t = i_{cp} + \xi_{M+t},$$

где  $t = \overline{1, M}$ ;

$M$  — количество выводимых данных моделируемой дороги,  $M = L/l + 1$ .

Для иллюстрации приведем результаты моделирования продольного профиля одной из реальных дорог — участка Северо-Восточной магистрали ПЛО Мезеньлес. Его протяженность — 12,383 км, средний уклон — 3,0985 ‰, число элементов профиля — 87. Оценка модели АР показала, что наилучшее приближение в данном случае дает модель

$$\xi = 0,7488\xi_{t-1} - 0,5412\xi_{t-2} + 0,2617\xi_{t-3} + \varepsilon_t,$$

где  $\varepsilon_t$  — независимые, одинаково распределенные гауссовские случайные величины со средним, равным 0, и средним квадратичным отклонением, равным 12,61.

Эта модель и была использована для моделирования дорог данной местности.

Для верификации результатов моделирования был проведен эксперимент. Смоделированы 20 вариантов дорог такой же протяженности и с тем же средним уклоном, что и анализируемая. Затем на основе тягово-энергетического расчета определен удельный расход энергии на движение троллейных лесовозных поездов различной грузоподъемности для условий реальной и смоделированной дорог.

В таблице приведены результаты такого расчета для троллейного лесовозного поезда грузоподъемностью 40 т. Они показывают хорошее совпадение параметров движения для реальной дороги с данными модельного эксперимента. Аналогичные результаты были получены и для поездов грузоподъемностью 30, 50 и 60 т.

Формально такое соответствие может быть проверено с помощью рангового критерия Вилкоксона ( $W$ ). Так, для реальной дороги значение  $A$  в общем вариационном ряду имеет номер  $W = 17$ , значение  $A_{рек}$  — номер  $W = 11$ . При нулевой гипотезе об однородности выборки  $1 < W < 21$  с вероятностью 0,9, т. е. нет оснований отвергать эту гипотезу.

Ва- риант до- роги	Удельный расход энергии, Вт · ч/(т · км)		Ва- риант до- роги	Удельный расход энергии, Вт · ч/(т · км)	
	A	A <sub>рек</sub>		A	A <sub>рек</sub>
0	168,0	159,9	11	178,3	174,3
1	165,9	163,7	12	169,1	167,3
2	160,4	155,8	13	155,2	150,4
3	166,2	161,0	14	165,0	162,5
4	161,0	157,4	15	156,6	158,5
5	159,8	155,2	16	172,3	169,5
6	165,6	160,1	17	163,2	157,5
7	160,5	154,6	18	157,0	152,1
8	152,1	146,5	19	160,8	154,1
9	163,9	161,3	20	169,8	160,0
10	173,6	169,6			

Примечание. Вариант 0 — реальная дорога.

Итак, предложенная процедура анализа и моделирования продольных профилей дорог дает возможность без проведения натуральных испытаний предварительно оценить эффективность применения троллейных лесовозных поездов в условиях, характерных для данной местности или региона.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов.— М.: Мир, 1976.— 765 с. [2]. Кольниченко Г. И., Пациора П. П. Основы методики и алгоритм расчета параметров движения троллейных лесовозных поездов // Науч. тр. / МЛТИ.— М., 1984.— Вып. 157.— С. 98—105. [3]. Кольниченко Г. И., Степанов А. С., Чинченко Е. М. Троллейный лесотранспорт: эффективность применения.— Лесн. пром-сть.— 1988.— № 1.— С. 17—18.

Поступила 24 января 1990 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.316.34

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ  
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ  
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
ПРИ ПОМОЩИ РЕАКТИВНЫХ УСТРОЙСТВ

В. М. АЛЯБЬЕВ, Н. М. ГОРБАТОВ, Г. П. ЗНАМЕНСКИЙ

Ленинградская лесотехническая академия

Переменный характер электрических нагрузок и значительная протяженность электрических сетей лесопромышленных предприятий (ЛПП) выдвигают дополнительные требования к проблеме стабилизации напряжения у потребителей в целях повышения производительности машин и механизмов и уменьшения потерь энергии. В настоящее время в лесозаготовительной промышленности находят применение конденсаторные установки как параллельного, так и последовательного включения [1, 2, 3].

Так как нагрузка ЛПП в большинстве случаев активно-индуктивная, то любое подключение конденсаторов уменьшает индуктивные составляющие токов, снижает потери напряжения и энергии. Однако параллельное и последовательное включения конденсаторов действуют различным образом на качество электроэнергии и на потери ее в электрических сетях. Эта проблема еще недостаточно отражена в современной технической литературе. В настоящей статье рассмотрены реальные возможности и особенности практического использования конденсаторов параллельного и последовательного включения.

В самом общем виде схема электросети, приведенная к одной ступени трансформации с параллельно включенными конденсаторами, представлена на рис. 1, а, где приняты следующие обозначения:

$R_{лт}$ ,  $X_{лт}$  — активное и реактивное сопротивления линий и трансформаторов;

$U_1 = \text{const}$  — напряжение энергосистемы;

$U_2$  — напряжение на зажимах нагрузки;

$Z_n$  — комплексное сопротивление нагрузки.

На рис. 1, б дана векторная диаграмма сети при активно-индуктивной нагрузке.

Как известно, для практических расчетов вместо падения напряжения  $IZ_{лт}$  используют потерю напряжения  $\Delta U$ , поэтому, согласно рис. 1, б, можно написать:

$$U_2 = U_1 - \Delta U = U_1 - \beta (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) = U_1 - U_{ai} \cos \varphi - U_{pi} \sin \varphi, \quad (1)$$

где  $\beta = \frac{I}{I_n}$  — относительный ток нагрузки;

$\varphi$  — угол сдвига фаз в цепи нагрузки;

$I_n$  — номинальный ток нагрузки;

$$U_{ai} = \beta U_a; \quad U_{pi} = \beta U_p; \quad U_a = I_n R_{лт}; \quad U_p = I_n X_{лт}.$$

Формула (1) показывает, что напряжение на зажимах нагрузки зависит как от величины  $\beta$ , так и от угла  $\varphi$  (рис. 1, в). Для одного и