

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СУЧКОРЕЗНО-РАСКРЯЖЕВОЧНЫХ МАШИН

The mathematical models of work forestry machines with allowance for of reliability are developed.

Функционирование сучкорезно-раскряжевочных машин (процессоров) во многом зависит от выбора рациональных параметров подачи деревьев и ремонта после технических отказов. Выделим следующие наиболее характерные состояния для подобных машин:

- $S_0$  – машина исправна, простаивает или совершает холостые переезды, но не производит обработку деревьев;
- $S_1$  – машина осуществляет очистку деревьев от сучьев и их раскряжевку;
- $S_{22}$  – отказ двигательной установки;
- $S_{23}$  – отказ технологического оборудования (манипулятора, сучкорезно-раскряжевочного модуля и их систем управления);
- $S_{24}$  – отказ гидравлической системы машины;
- $S_{25}$  – отказ системы управления машины.

В такой модели имеют место два типа потоков: предметов труда и отказов оборудования. Приоритетом пользуется поток отказов, т. к. при наступлении они «обрабатываются» (ремонтируются) в первую очередь.

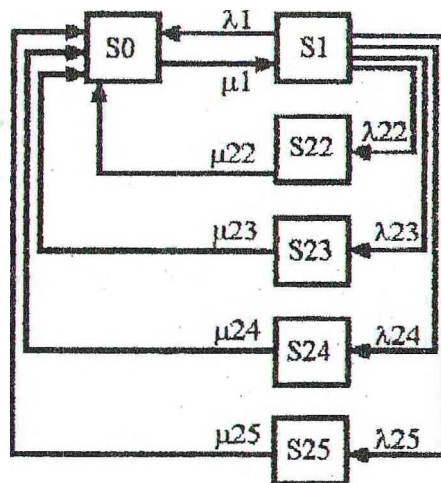


Рис. Схема состояний сучкорезно-раскряжевочной машины

Из свободного состояния  $S_0$  в рабочее  $S_1$  машина переходит с интенсивностью  $\lambda_1$  подачи манипулятора к дереву. Обратный переход осуществляется посредством очистки дерева от сучьев и раскряжевки с интенсивностью  $\mu_1$ . Отказ двигателя приведет к переходу в положение  $S_{22}$  из состояния  $S_1$  с интенсивностью  $\lambda_{22}$ . После выполнения ремонта с темпом  $\mu_{22}$  машина вернется в состояние  $S_0$ . Отказ технологического оборудования приведет к переходу в состояние  $S_{23}$  из состояния  $S_1$  с интенсивностью  $\lambda_{23}$ . После ремонта машина с темпом  $\mu_{23}$  перейдет в состояние  $S_0$ . Отказ гидросистемы приведет к переходу в состояние  $S_{24}$  из состояния  $S_1$  с интенсивностью  $\lambda_{24}$ . После ремонта машина перейдет из состояния  $S_{24}$  с темпом  $\mu_{24}$  в состояние  $S_0$ . Отказ системы управления переведет машину из состояния  $S_1$  в  $S_{25}$  с интенсивностью  $\lambda_{25}$ . После ремонта машина перейдет из состояния  $S_{25}$  с темпом  $\mu_{25}$  в состояние  $S_0$ .

Неизвестные параметры  $\lambda_{ij}$  и  $\mu_{ij}$  устанавливаются следующим образом:

- $\lambda_1 = 1/t_n$ , где  $t_n$  – продолжительность времени подачи манипулятора к дереву;
- $\mu_1 = 1/t_u$ , где  $t_u$  – продолжительность цикла обработки дерева;
- $\lambda_{22} = 1/t_{22}^{от}$ , где  $t_{22}^{от}$  – продолжительность времени между отказами двигателя;
- $\mu_{22} = 1/t_{22}^B$ , где  $t_{22}^B$  – продолжительность восстановления работоспособности двигателя;
- $\lambda_{23} = 1/t_{23}^{от}$ , где  $t_{23}^{от}$  – продолжительность времени между отказами технологического оборудования;
- $\mu_{23} = 1/t_{23}^B$ , где  $t_{23}^B$  – продолжительность восстановления работоспособности технологического оборудования;
- $\lambda_{24} = 1/t_{24}^{от}$ , где  $t_{24}^{от}$  – продолжительность времени между отказами гидравлической системы;
- $\mu_{24} = 1/t_{24}^B$ , где  $t_{24}^B$  – продолжительность восстановления работоспособности гидравлической системы;
- $\lambda_{25} = 1/t_{25}^{от}$ , где  $t_{25}^{от}$  – продолжительность времени между отказами системы управления машины;
- $\mu_{25} = 1/t_{25}^B$ , где  $t_{25}^B$  – продолжительность восстановления работоспособности системы управления машины.

Модель функционирования машина будет следующей:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dP_0}{dt} &= -\lambda_1 P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_{22} P_{22} + \mu_{23} P_{23} + \mu_{24} P_{24} + \mu_{25} P_{25}; \\ \frac{dP_1}{dt} &= -(\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}) P_1 + \lambda_1 P_0; \\ \frac{dP_{22}}{dt} &= -\mu_{22} P_{22} + \lambda_{22} P_1; \\ \frac{dP_{23}}{dt} &= -\mu_{23} P_{23} + \lambda_{23} P_1; \\ \frac{dP_{24}}{dt} &= -\mu_{24} P_{24} + \lambda_{24} P_1; \\ \frac{dP_{25}}{dt} &= -\mu_{25} P_{25} + \lambda_{25} P_1. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$P_0 + P_1 + P_{22} + P_{23} + P_{24} + P_{25} = 1 \quad (2)$$

Учитывая, что моделирование и исследование работы процессоров производится на протяжении длительного промежутка времени (не менее месяца), значения вероятностей  $P_{ij}$  будут колебаться относительно определенного среднего значения. При этом ошибки в значениях параметров не превысят 8%.

Тогда можно допустить, что  $P_0 \approx \text{const}$ ,  $P_1 \approx \text{const}$ ,  $P_{22} \approx \text{const}$ ,  $P_{23} \approx \text{const}$ ,  $P_{24} \approx \text{const}$ ,  $P_{25} \approx \text{const}$ .

Система дифференциальных уравнений при таких допущениях трансформируется в систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases}
 0 = -\lambda_1 P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_{22} P_{22} + \mu_{23} P_{23} + \mu_{24} P_{24} + \mu_{25} P_{25}; \\
 0 = -(\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}) P_1 + \lambda_1 P_0; \\
 0 = -\mu_{22} P_{22} + \lambda_{22} P_1; \\
 0 = -\mu_{23} P_{23} + \lambda_{23} P_1; \\
 0 = -\mu_{24} P_{24} + \lambda_{24} P_1; \\
 0 = -\mu_{25} P_{25} + \lambda_{25} P_1; \\
 P_0 + P_1 + P_{22} + P_{23} + P_{24} + P_{25} = 1.
 \end{cases} \quad (3)$$

Решая систему уравнений (3) относительно вероятностей состояний  $P_0, P_1, P_{22}, P_{23}, P_{24}, P_{25}$  получим выражения для расчета режимов работы процессоров:

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (4)$$

$$P_{22} = \frac{\lambda_{22}}{\mu_{22}} \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (5)$$

$$P_{23} = \frac{\lambda_{23}}{\mu_{23}} \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (6)$$

$$P_{24} = \frac{\lambda_{24}}{\mu_{24}} \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (7)$$

$$P_{25} = \frac{\lambda_{25}}{\mu_{25}} \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (8)$$

Коэффициенты загрузки по отдельным процессам в машине составят:

$$\frac{\lambda_{22}}{\mu_{22}} = \rho_{22}; \quad \frac{\lambda_{23}}{\mu_{23}} = \rho_{23}; \quad \frac{\lambda_{24}}{\mu_{24}} = \rho_{24}; \quad \frac{\lambda_{25}}{\mu_{25}} = \rho_{25}; \quad \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} = \varphi.$$

Тогда, после подстановки в уравнение (2) выражений (4), (5), (6), (7), (8) получим уравнение для расчета вероятности состояния  $P_0$ :

$$P_0 = [1 + \varphi(1 + \rho_{22} + \rho_{23} + \rho_{24} + \rho_{25})]^{-1}. \quad (9)$$

Подставляя в выражения (4), (5), (6), (7), (8) значение вероятности  $P_0$ , найдем значения вероятностей  $P_1, P_{22}, P_{23}, P_{24}, P_{25}$ .

Полученные формулы (4)–(9) позволяют установить рациональные параметры процессоров: интенсивности подачи деревьев в обработку и восстановления работоспособности машин без высокотратных их испытаний.