

УДК 634.0.30

**Д. В. Клоков** кандидат технических наук, доцент (БГТУ);  
**И. В. Турлай**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

### МОДЕЛЬ РАБОТЫ ХАРВЕСТЕРА

Предложены новая модель функционирования харвестеров с учетом технических и технологических отказов на различных стадиях работы, формулы для установления эффективности работы систем по критериям вероятностей состояний с определением рациональных параметров функционирования: интенсивности подачи сырья, его обработки и ремонта оборудования.

A new model of harvester taking into account technical and technological failures at various stages of work is proposed, the formulas to determine the effectiveness of systems according to the criteria determining the probabilities of states with rational parameters of operation (flow rate of raw materials, their processing and repair of equipment) are offered.

**Введение.** Современные харвестеры представляют собой сложные системы, и установление рациональных параметров их работы обеспечит в дальнейшем эффективность функционирования таких машин.

**Основная часть.** Математическая модель для харвестеров разработана с учетом технических отказов (рис. 1). Для нее характерны следующие состояния:  $S_0$  – машина исправна, простаивает или совершает поездки со стоянки на стоянку, но не производит обработку деревьев;  $S_1$  – машина исправна, осуществляет валку деревьев, очистку их от сучьев и раскряжевку;  $S_{21}$  – отказ ходовой части;  $S_{22}$  – отказ двигателя;  $S_{23}$  – отказ технологического оборудования (манипулятора, харвестерной головки);  $S_{24}$  – отказ гидравлической системы;  $S_{25}$  – отказ системы управления [1].

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

Из свободного состояния  $S_0$  в рабочее  $S_1$  система переходит с интенсивностью  $\lambda_1$  подачи рабочего органа к дереву. Обратный переход осуществляется посредством обработки дерева с интенсивностью  $\mu_1$ . При наступлении отказа ходовой части система с интенсивностью  $\lambda_{21}$  перейдет из состояния  $S_0$  в  $S_{21}$ . После выполнения ремонта с темпом  $\mu_{21}$  система вернется в состояние  $S_0$ . Отказ двигателя может привести к переходу в положение  $S_{22}$ , как из состояния  $S_0$ , так и из  $S_1$  с интенсивностью  $\lambda_{22}$ . После ремонта система с темпом  $\mu_{22}$  перейдет в состояние  $S_0$ . Отказ технологического оборудования приведет к переходу в состояние  $S_{23}$  из состояния  $S_1$  с интенсивностью  $\lambda_{23}$ . После ремонта система перейдет из состояния  $S_{23}$  в  $S_0$  с темпом  $\mu_{23}$ . Отказ гидросистемы приведет систему из состояния  $S_1$  в  $S_{24}$  с интенсивностью  $\lambda_{24}$ . После ремонта система перейдет из состояния  $S_{24}$  в  $S_0$  с темпом  $\mu_{24}$ . Отказ системы

управления приведет систему из состояния  $S_1$  в  $S_{25}$  с интенсивностью  $\lambda_{25}$ . После ремонта система перейдет из состояния  $S_{25}$  с темпом  $\mu_{25}$  в состояние  $S_0$ .

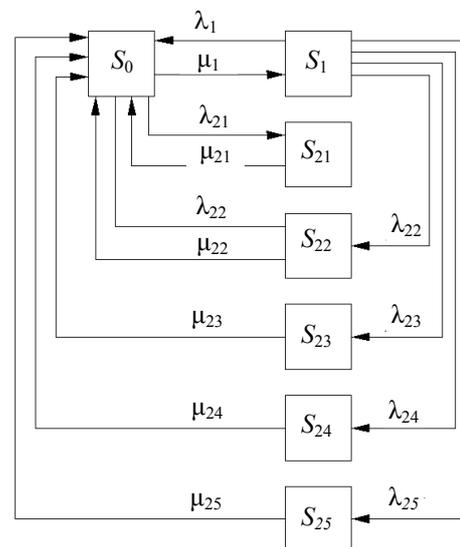


Рис. 1. Схема состояний системы харвестера

Неизвестные параметры  $\lambda_{ij}$  и  $\mu_{ij}$  устанавливаются следующим образом:  $\lambda_1 = 1/t_n$ , где  $t_n$  – продолжительность времени подачи рабочего органа к дереву;  $\mu_1 = 1/t_{ц}$ , где  $t_{ц}$  – продолжительность цикла валки и обработки дерева;  $\lambda_{21} = 1/t_{21}^{от}$ , где  $t_{21}^{от}$  – продолжительность времени между отказами шасси;  $\mu_{21} = 1/t_{21}^B$ , где  $t_{21}^B$  – продолжительность времени восстановления работоспособности шасси;  $\lambda_{22} = 1/t_{22}^{от}$ , где  $t_{22}^{от}$  – продолжительность времени между отказами двигателя;  $\mu_{22} = 1/t_{22}^B$ , где  $t_{22}^B$  – продолжительность времени 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 времени восстановления работоспособности технологического

оборудования;  $\lambda_{24} = 1 / t_{24}^{OT}$ , где  $t_{24}^{OT}$  – продолжительность времени между отказами гидравлической системы;  $\mu_{24} = 1 / t_{24}^B$ , где  $t_{24}^B$  – продолжительность времени восстановления работоспособности гидравлической системы;  $\lambda_{25} = 1 / t_{25}^{OT}$ , где  $t_{25}^{OT}$  – продолжительность времени между отказами системы управления;  $\mu_{25} = 1 / t_{25}^B$ , где  $t_{25}^B$  – продолжительность времени восстановления работоспособности системы управления.

Модель функционирования системы будет иметь следующий вид:

$$\frac{dP_0}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22}) \cdot P_0 + \mu_1 \cdot P_1 + \mu_{21} \cdot P_{21} + \mu_{22} \cdot P_{22} + \mu_{23} \cdot P_{23} + \mu_{24} \cdot P_{24} + \mu_{25} \cdot P_{25};$$

$$\frac{dP_1}{dt} = -(\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}) \cdot P_1 + \lambda_1 \cdot P_0;$$

$$\frac{dP_{21}}{dt} = -\mu_{21} \cdot P_{21} + \lambda_{21} \cdot P_0;$$

$$\frac{dP_{22}}{dt} = -\mu_{22} \cdot P_{22} + \lambda_{22} \cdot P_1 + \lambda_{22} \cdot P_0;$$

$$\frac{dP_{23}}{dt} = -\mu_{23} \cdot P_{23} + \lambda_{23} \cdot P_1;$$

$$\frac{dP_{24}}{dt} = -\mu_{24} \cdot P_{24} + \lambda_{24} \cdot P_1;$$

$$\frac{dP_{25}}{dt} = -\mu_{25} \cdot P_{25} + \lambda_{25} \cdot P_1.$$

$$P_0 + P_1 + P_{21} + P_{22} + P_{23} + P_{24} + P_{25} = 1. \quad (1)$$

С учетом того, что моделирование и исследование работы харвестера производится на протяжении длительного промежутка времени (месяц, год и т. д.), значения вероятностей  $P_{ij}$  будут колебаться относительно определенного среднего значения.

Тогда можно допустить, что  $P_0 \approx \text{const}$ ,  $P_1 \approx \text{const}$ ,  $P_{21} \approx \text{const}$ ,  $P_{22} \approx \text{const}$ ,  $P_{23} \approx \text{const}$ ,  $P_{24} \approx \text{const}$ ,  $P_{25} \approx \text{const}$ .

Ошибка при принятии данного допущения не превышает 8%.

Решив систему уравнений относительно вероятностей состояний  $P_0, P_1, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{24}, P_{25}$ , получим выражения для расчета режимов работы машины:

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (2)$$

$$P_{21} = \frac{\lambda_{21}}{\mu_{21}} P_0; \quad (3)$$

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

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

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

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

Примем, что

$$\frac{\lambda_{21}}{\mu_{21}} = \rho_{21}; \quad \frac{\lambda_{22}}{\mu_{22}} = \rho_{22}; \quad \frac{\lambda_{23}}{\mu_{23}} = \rho_{23}; \quad \frac{\lambda_{24}}{\mu_{24}} = \rho_{24};$$

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

После подстановки в уравнение (1) выражений (2)–(7) получим уравнение для расчета вероятности состояния  $P_0$ :

$$P_0 = \frac{1}{1 + \rho_{21} + \rho_{22} + \varphi \cdot (1 + \rho_{22} + \rho_{23} + \rho_{24} + \rho_{25})}. \quad (8)$$

Подставив в выражения (2)–(7) значения вероятности  $P_0$ , найдем значения вероятностей  $P_1, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{24}, P_{25}$ .

Полученные зависимости вероятностей состояний систем харвестера позволяют установить рациональные значения параметров машины. Технология работы с зависимостями следующая. Принимается на основе технических характеристик ряд параметров, например  $\mu_1, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}$  либо  $\lambda_{25}$ , и из построенных зависимостей устанавливаются искомые параметры. Например,  $\lambda_1, \mu_{21}, \mu_{22}, \mu_{23}, \mu_{24}$  либо  $\mu_{25}$ . Ниже приведен пример установления названных параметров.

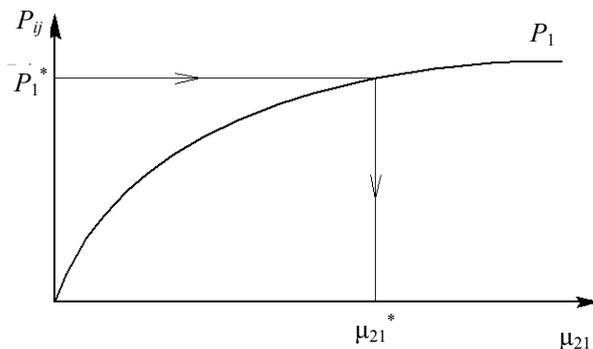


Рис. 2. Зависимость вероятностей состояний систем харвестера

Установленное значение  $\mu_{21}^*$  позволяет определить рациональную, в данном случае, продолжительность восстановления ходовой части:

$$t_{21}^* = \frac{1}{\mu_{21}^*}.$$

При этом обеспечивается надлежащая производительность машины, т. к. достигается практически максимальная ее величина  $P_1^*$  (вероятность работы).

**Заключение.** Разработанная модель позволяет при заданных характеристиках исследуемого

харвестера получать рациональные режимы подачи сырья на обработку и ремонта технологического оборудования в случае технических отказов. Это приведет к росту производительности оборудования без существенных финансовых затрат.

### Литература

1. Игнатенко В. В., Турлай И. В., Федоренчик А. С. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок: учеб. пособие для студентов специальностей лесотехнического профиля / Минск: БГТУ, 2004. 180 с.

*Поступила 27.02.2014*