

Таблица 2

Параметры трелевочных машин

Наименование параметров	Значения параметров					
	ТТР-401	МЛ-126/127	ТКЛ4-01	ЛГ-157	Coterpiller-525	Timberjack-240 B
Колесная формула	4К4	4К4	4К4	4К4	4К4	4К4
Масса (M), кг	4500	8000	14500	10061	13290	11350
Объем пачки, (Q), м ³	2,0	6	7	6	4,8	8
Мощность двигателя, (N _д), кВт	60	60/77	132	87	130	110
Тип трансмиссии	мех.	мех.	гидро-мех.	гидро-мех.	гидро-мех.	мех.
Скорость движения, км/ч	до 20	до 26,2	до 32,2	до 24,3	до 25,8	до 12,9
Тяговое усилие лебедки, кН	30	60	-	133	192,7	-
Э _т , кВт/т	30	10/12,8	18,9	-	27,08	13,75
K _т , т/т	0,44	0,75	0,48	-	0,37	0,71
Э _м , кВт/т	13	7,5/9,65	9,2	8,65	9,78	9,73

Примечание. $\varepsilon_m = \frac{N_{дв}}{Qn}$; $K_m = \frac{Qn}{M}$; $\varepsilon_m = \frac{N_{дв}}{M}$.

Форма, размерные параметры, масса машины и технологического оборудования принимались с учетом существующих ограничений и возможности обеспечения необходимых вылетов рабочих органов, кинематики их перемещений, компоновки, что имеет большое значение для маневренности машины при движении по лесосеке и в узких коридорах.

УДК 630*03

И.В. Турлай, доцент; С.М. Крек, магистр

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВАЛОЧНЫХ, ВАЛОЧНО - ПАКЕТИРУЮЩИХ И ВАЛОЧНО - ТРЕЛЕВОЧНЫХ МАШИН

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

Целью данных исследований является установление расчетных формул для определения рациональных параметров и режимов работы лесосечных машин. Основываясь на принципе выполнения близких функций, выделим следующие группы машин: валочные (ВМ) и валочно-пакетирующие (ВПМ); валочно-трелевочные (ВТМ); трелевочные с чокерным оборудованием; трелевочные с пачковым захватом; сучкорезные; сучкорезно-раскрывочные машины; форвардеры; харвестеры.

При управлении технологическим процессом, выборе параметров оборудования важной задачей является оценка и влияние надежности этих па-

раметров на работу систем. Разработаем математические модели для ВМ, ВПМ и ВТМ с учетом технических отказов. Для этого используем теорию марковских процессов.

Разработаем математическую модель для ВМ и ВПМ с учетом технических отказов. Для их характерны следующие состояния: S_0 – машина исправна, простаивает или совершает переезды со стоянки на стоянку, но не производит обработку деревьев; S_1 – машина осуществляет валку деревьев, исправна; S_{21} – отказ ходовой части; S_{22} – отказ двигателя; S_{23} – отказ технологического оборудования (манипулятора, ЗСУ); S_{24} – отказ гидравлической системы (рис. 1).

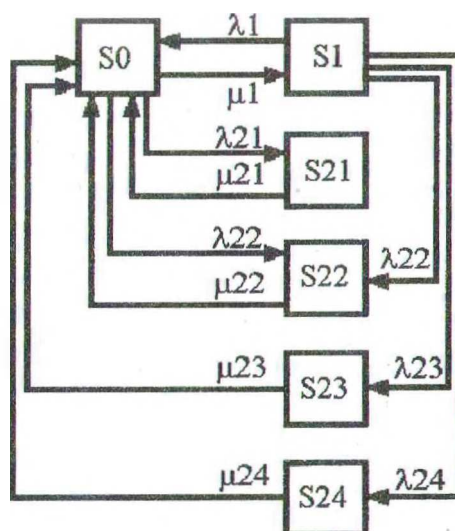


Рис. 1. Схема состояний систем ВМ и ВПМ

В такой модели имеют место два типа потоков: предметов труда 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 подачи λ_1 рабочего органа к дереву. Обратный переход осуществляется посредством валки дерева с интенсивностью μ_1 . При наступлении отказа ходовой части система с интенсивностью λ_{21} перейдет из состояния S_0 в S_{21} . После выполнения ремонта с темпом μ_{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 λ_{22} . После ремонта система с темпом μ_{22} перейдет в состояние S_0 . Отказ технологического оборудования приведет к переходу в состояние S_{23} из состояния S_1 с интенсивностью λ_{23} . После ремонта система перейдет из состояния S_{23} в S_0 с темпом μ_{23} , т. к. восстановление работоспособности технологического оборудования возможно только после освобождения машины от предмета труда (дерева). Отказ гид-

росистемы переведет систему из состояния S_1 в S_{24} с интенсивностью λ_{24} . После ремонта система перейдет из состояния S_{24} в состояние S_0 , т. к. ремонт гидросистемы, как правило, осуществляется без предмета труда (дерева) с темпом μ_{24} .

Неизвестные параметры λ_{ij} и μ_{ij} устанавливаются следующим образом: $\lambda_1 = 1/t_{11}$, где t_{11} – продолжительность подачи рабочего органа к дереву; $\mu_1 = 1/t_{11}$, где t_{11} – продолжительность цикла валки дерева; $\lambda_{21} = 1/t_{21}^{om}$, где t_{21}^{om} – продолжительность между отказами шасси; $\mu_{21} = 1/t_{21}^B$, где t_{21}^B – продолжительность восстановления работоспособности шасси; $\lambda_{22} = 1/t_{22}^{om}$, где t_{22}^{om} – продолжительность между отказами двигателя; $\mu_{22} = 1/t_{22}^B$, где t_{22}^B – продолжительность восстановления работоспособности двигателя; $\lambda_{23} = 1/t_{23}^{om}$, где t_{23}^{om} – продолжительность между отказами технологического оборудования; $\mu_{23} = 1/t_{23}^B$, где t_{23}^B – продолжительность восстановления работоспособности технологического оборудования; $\lambda_{24} = 1/t_{24}^{om}$, где t_{24}^{om} – продолжительность между отказами гидравлической системы; $\mu_{24} = 1/t_{24}^B$, где t_{24}^B – продолжительность восстановления работоспособности гидравлической системы.

На основании положений теории массового обслуживания, с учетом допущений о характере лесопромышленных процессов как марковских, модель функционирования систем ВМ и ВПМ будет следующей:

$$\begin{cases} dP_0/dt = -(\lambda_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22})P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_{21} P_{21} + \mu_{22} P_{22} + \mu_{23} P_{23} + \mu_{24} P_{24}, \\ dP_1/dt = -(\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24})P_1 + \lambda_1 P_0, \\ dP_{21}/dt = -\mu_{21} P_{21} + \lambda_{21} P_0, \\ dP_{22}/dt = -\mu_{22} P_{22} + \lambda_{22} P_1 + \lambda_{22} P_0, \\ dP_{23}/dt = -\mu_{23} P_{23} + \lambda_{23} P_1, \\ dP_{24}/dt = -\mu_{24} P_{24} + \lambda_{24} P_1. \end{cases} \quad (1)$$

$$P_0 + P_1 + P_{21} + P_{22} + P_{23} + P_{24} = 1. \quad (2)$$

С учетом того, что моделирование и исследование работы ВМ и ВПМ 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 $P_0 \approx const$, $P_1 \approx const$, $P_{21} \approx const$, $P_{22} \approx const$, $P_{23} \approx const$, $P_{24} \approx const$.

Ошибка при принятии данного допущения не превышает 8%.

Тогда система дифференциальных уравнений трансформируется в систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases}
 0 = -(\lambda_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22})P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_{21} P_{21} + \mu_{22} P_{22} + \mu_{23} P_{23} + \mu_{24} P_{24}, \\
 0 = -(\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24})P_1 + \lambda_1 P_0, \\
 0 = -\mu_{21} P_{21} + \lambda_{21} P_0, \\
 0 = -\mu_{22} P_{22} + \lambda_{22} P_1 + \lambda_{22} P_0, \\
 0 = -\mu_{23} P_{23} + \lambda_{23} P_1, \\
 0 = -\mu_{24} P_{24} + \lambda_{24} P_1, \\
 P_0 + P_1 + P_{21} + P_{22} + P_{23} + P_{24} = 1.
 \end{cases} \quad (3)$$

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

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

$$P_{21} = \frac{\lambda_{21}}{\mu_{21}} P_0; \quad (5)$$

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

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

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

Примем, что

$$\frac{\lambda_{21}}{\mu_{21}} = \rho_{21}, \frac{\lambda_{22}}{\mu_{22}} = \rho_{22}, \frac{\lambda_{23}}{\mu_{23}} = \rho_{23}, \frac{\lambda_{24}}{\mu_{24}} = \rho_{24}, \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24}} = \varphi.$$

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

$$P_0 = [1 + \rho_{21} + \rho_{22} + \varphi(1 + \rho_{22} + \rho_{23} + \rho_{24})]^{-1}. \quad (9)$$

Подставив в выражения (4), (5), (6), (7), (8) значение вероятности P_0 , найдем значения вероятностей $P_1, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{24}$.

Разработаем математическую модель для ВТМ с учетом технических отказов. Для нее характерны следующие состояния: S_0 – машина исправна, простаивает или совершает холостые переезды, но не производит валку, пакетирование и трелевку деревьев; S_I – машина осуществляет валку, пакети-

рование и трелевку деревьев, исправна; S_{21} – отказ ходовой части; S_{22} – отказ двигателя; S_{23} – отказ технологического оборудования (манипулятор, валочная головка); S_{24} – отказ пакетирующего устройства; S_{25} – отказ гидравлической системы; S_3 – пакетирующее устройство неисправно, машина работает в режиме валки (рис. 2).

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

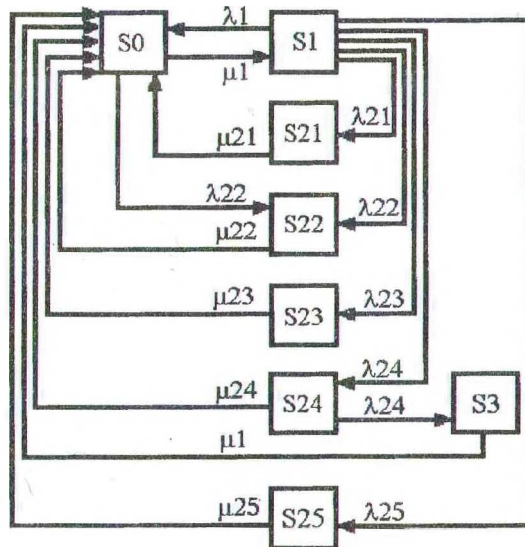


Рис. 2. Схема состояний системы ВТМ

Из свободного состояния S_0 в рабочее S_1 система переходит с интенсивностью подачи λ_1 рабочего органа к дереву. Обратный переход осуществляется посредством валки, пакетирования и трелевки деревьев с интенсивностью μ_1 . При наступлении отказа ходовой части система с интенсивностью λ_{21} перейдет из состояния S_1 в S_{21} . После выполнения ремонта с темпом μ_{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 λ_{22} . После ремонта система с темпом μ_{22} перейдет в состояние S_0 . Отказ технологического оборудования (манипулятор, валочная головка) приведет к переходу в состояние S_{23} из состояния S_1 с интенсивностью λ_{23} . После ремонта система перейдет из состояния S_{23} в S_0 с темпом μ_{23} , т. к. восстановление работоспособности технологического оборудования возможно только после освобождения машины от предмета труда (дерева). Отказ пакетирующего устройства переведет систему из состояния S_1 в S_{24} с интенсивностью λ_{24} . После ремонта система перейдет в состояние S_0 с темпом μ_{24} . Если пакетирующее устройство не ремонтируют сразу, то машина с интенсивностью λ_{24} может перейти в состояние S_3 , работы в режиме валки. Из положения S_3 ,

осуществляя валку дерева, машина будет переходить в состояние S_0 с темпом μ_{24} . Отказ гидросистемы переведет систему из состояния S_1 в S_{25} с интенсивностью λ_{25} . После ремонта система перейдет из состояния S_{25} в S_0 с темпом μ_{25} , т. к. ремонт гидросистемы, как правило, осуществляется без предмета труда (дерева).

Неизвестные параметры λ_{ij} и μ_{ij} устанавливаются следующим образом: $\lambda_1 = 1/t_{II}$, где t_{II} – продолжительность подачи рабочего органа к дереву; $\mu_1 = 1/t_{Ц}$, где $t_{Ц}$ – продолжительность цикла валки, пакетирования и трелевки деревьев; $\lambda_{21} = 1/t_{21}^{om}$, где t_{21}^{om} – продолжительность между отказами шасси; $\mu_{21} = 1/t_{21}^B$, где t_{21}^B – продолжительность восстановления работоспособности шасси; $\lambda_{22} = 1/t_{22}^{om}$, где t_{22}^{om} – продолжительность между отказами двигателя; $\mu_{22} = 1/t_{22}^B$, где t_{22}^B – продолжительность восстановления работоспособности двигателя; $\lambda_{23} = 1/t_{23}^{om}$, где t_{23}^{om} – продолжительность между отказами технологического оборудования (манипулятора, валочной головки); $\mu_{23} = 1/t_{23}^B$, где t_{23}^B – продолжительность восстановления работоспособности технологического оборудования; $\lambda_{24} = 1/t_{24}^{om}$, где t_{24}^{om} – продолжительность между отказами пакетирующего устройства; $\mu_{24} = 1/t_{24}^B$, где t_{24}^B – продолжительность восстановления работоспособности пакетирующего устройства; $\lambda_{25} = 1/t_{25}^{om}$, где t_{25}^{om} – продолжительность между отказами гидравлической системы; $\mu_{25} = 1/t_{25}^B$, где t_{25}^B – продолжительность восстановления работоспособности гидравлической системы; $\mu_3 = 1/t_{Ц1}$, где $t_{Ц1}$ – продолжительность цикла валки дерева.

Модель функционирования системы

$$\begin{cases} dP_0/dt = -(\lambda_1 + \lambda_{22})P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_{21} P_{21} + \mu_{22} P_{22} + \mu_{23} P_{23} + \mu_{24} P_{24} + \mu_{25} P_{25} + \mu_3 P_3, \\ dP_1/dt = -(\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25})P_1 + \lambda_1 P_0, \\ dP_{21}/dt = -\mu_{21} P_{21} + \lambda_{21} P_1, \\ dP_{22}/dt = -\mu_{22} P_{22} + \lambda_{22} P_1 + \lambda_{22} P_0, \\ dP_{23}/dt = -\mu_{23} P_{23} + \lambda_{23} P_1, \\ dP_{24}/dt = -(\mu_{24} + \lambda_{24})P_{24} + \lambda_{24} P_1, \\ dP_{25}/dt = -\mu_{25} P_{25} + \lambda_{25} P_1, \\ dP_3/dt = -\mu_3 P_3 + \lambda_{24} P_{24} \end{cases} \quad (10)$$

$$P_0 + P_1 + P_{21} + P_{22} + P_{23} + P_{24} + P_{25} + P_3 = 1. \quad (11)$$

С учетом допущений, принятых ранее, получены выражения для расчета режимов работы машины.

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (12)$$

$$P_{21} = \frac{\lambda_{21}}{\mu_{21}} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (13)$$

$$P_{22} = \frac{\lambda_{22}}{\mu_{22}} P_0 + \frac{\lambda_{22}}{\mu_{22}} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (14)$$

$$P_{23} = \frac{\lambda_{23}}{\mu_{23}} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (15)$$

$$P_{24} = \frac{\lambda_{24}}{\mu_{24} + \lambda_{24}} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (16)$$

$$P_{25} = \frac{\lambda_{25}}{\mu_{25}} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (17)$$

$$P_3 = \frac{\lambda_{24}^2}{\mu_3(\mu_{24} + \lambda_{24})} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} P_0; \quad (18)$$

Примем, что:

$$\frac{\lambda_{21}}{\mu_{21}} = \rho_{21}; \quad \frac{\lambda_{22}}{\mu_{22}} = \rho_{22}; \quad \frac{\lambda_{23}}{\mu_{23}} = \rho_{23}; \quad \frac{\lambda_{24}}{\mu_{24}} = \rho_{24}; \quad \frac{\lambda_{25}}{\mu_{25}} = \rho_{25};$$

$$\frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}} = \varphi; \quad \frac{\lambda_{24}}{\mu_{24} + \lambda_{24}} = \psi; \quad \frac{\lambda_{24}^2}{\mu_3(\mu_{24} + \lambda_{24})} = \tau.$$

Уравнение для расчета вероятности состояния

$$P_0 = [1 + \rho_{22} + \varphi(1 + \rho_{21} + \rho_{22} + \rho_{23} + \rho_{25} + \psi + \tau)]^{-1}. \quad (19)$$

Подставив в выражения (12) - (18) значение вероятности P_0 , найдем значения вероятностей $P_1, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{24}, P_{25}, P_3$.

Полученные зависимости вероятностей состояний систем, включающих рассмотренные машины, позволяют установить рациональные значения параметров машин. Технология работы с зависимостями следующая. На основе технических характеристик принимается ряд параметров, например $\mu_1, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}$ либо λ_{25} , и из построенных зависимостей устанавливаются искомые параметры. Например, $\lambda_1, \mu_{21}, \mu_{22}, \mu_{23}, \mu_{24}$ либо μ_{25} .