УДК 630*03

И. В. Турлай, доцент; А. Ф. Горбатенко, студент

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ХАРВЕСТЕРОВ

In this article you can find the Working model of harvesters in connection with the stockhestic index of reliability cultivate.

Харвестеры, машины последнего поколения, выполняют операции валки, очистки стволов от сучьев, установление объемов сортиментов, их маркировку и передачу всей информации потребителям либо на биржу (рис. 1). Высокое качество изготовления, полная либо частичная автоматизация процессов обеспечивает эффективность функционирования данных машин.

Наибольших успехов в разработке и создании харвестеров достигли известные фирмы «Valmet», «Timberjack», «Ponse», «Rauma – Reppola» и др. Невзирая на большую стоимость машин, их совершенствование и внедрение продолжает расширятся.

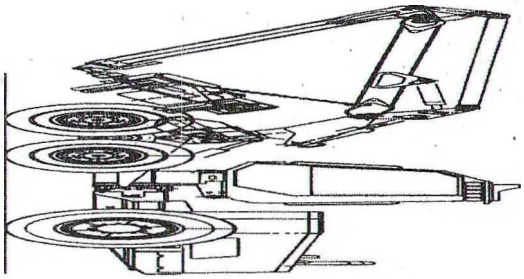

Рис. 1. Харвестер «Timberjack»

Принимая во внимание устойчивые тенденции в машинизации лесопромышленных операций, необходимо определиться с установлением рациональных режимов их работы.

С этой целью разработана модель функционирования харвестеров с учетом важнейших влияющих факторов: потоков деревьев на обработку, обрабатывающих процессов, отказов и восстановления харвестеров. Благодаря этой модели можно будет определять вероятности состояний работы харвестеров в любых диапазонах их функционирования.

При использовании метода теории исследования операций формализованная схема работы харвестера представляется следующей (рис. 2).

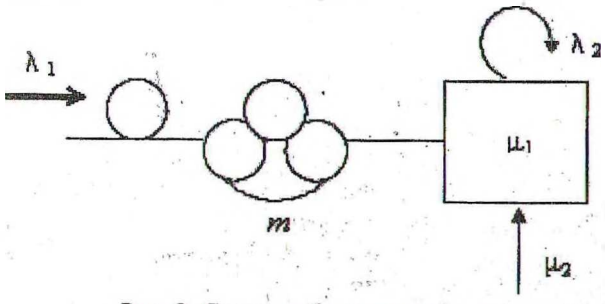

Рис. 2. Схема работы харвестера

Параметры процесса работы харвестера следующие:

m – количество деревьев находящихся в зоне работы харвестера;

λ_1 – интенсивность поступления деревьев в обработку;

$$\lambda_1 = \frac{1}{t_п},$$

где $t_п$ – интенсивность между обработкой очередных деревьев;

μ_1 – интенсивность обработки дерева до получения сортиментов;

$$\mu_1 = \frac{1}{t_{об}},$$

где $t_{об}$ – продолжительность цикла обработки дерева;

λ_2 – интенсивность технических отказов харвестера;

$$\lambda_2 = \frac{1}{t_{от}},$$

где $t_{от}$ – период между отказами;

μ_2 – интенсивность восстановления работоспособности;

$$\mu_2 = \frac{1}{t_в},$$

где $t_в$ – продолжительность цикла восстановительных работ;

Схема состояний, в которых может пребывать харвестер, представлена на рис. 3

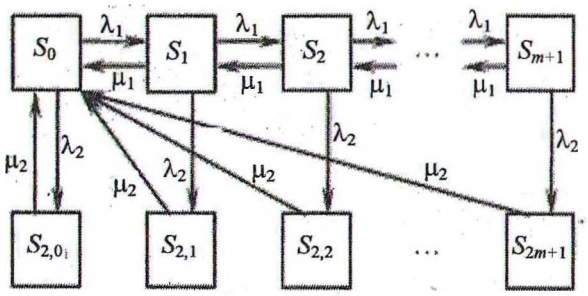

Рис. 3. Схема состояний харвестера в процессе работы

Приняты следующие обозначения:

S_0 – харвестер в исправном состоянии, но не обрабатывает дерево;

S_1 – харвестер обрабатывает дерево;

S_2 – харвестер обрабатывает дерево и в зоне его работы только одно дерево и т. д;

S_{m+1} – харвестер обрабатывает дерево и в зоне его работы максимальное количество деревьев m;

$S_{2,0}$ – состояние технического отказа из режима холостого хода;

$S_{2,1}$ – состояние технического отказа из режима обработки дерева и т. д.

Для получения модели работы харвестера рассмотрим следующие случаи.

1. Харвестер обрабатывает дерево и в зоне его работы больше нет деревьев (рис. 4).

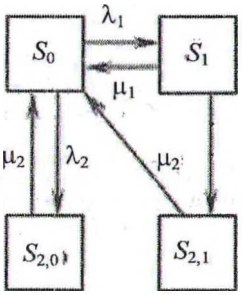

Рис. 4. Схема состояний харвестера при $m = 0$

В этом случае математическая модель функционирования харвестера представится как система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_0}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2)P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_2 P_{20} + \mu_2 P_{21}, \\ \dfrac{dP_1}{dt} = -(\mu_1 + \lambda_2)P_1 + \lambda_1 P_0, \\ \dfrac{dP_{20}}{dt} = -\mu_2 P_{20} + \lambda_2 P_0, \\ \dfrac{dP_{21}}{dt} = -\mu_2 P_{21} + \lambda_2 P_1, \\ P_0 + P_1 + P_{20} + P_{21} = 1. \end{cases}$$

Принимая во внимание, что все параметры работы, в продолжительный период, достаточно стабильны, системы уравнений трансформируется в линейную и значения вероятностей состояний будут следующими:

$$P_0 = \left[\left(1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)\left(1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_2}\right)\right]^{-1};$$

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_2} P_0;$$

$$P_{20} = \frac{\lambda_2}{\mu_2} P_0;$$

$$P_{21} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\mu_2(\mu_1 + \lambda_2)} P_0.$$

2. Харвестер обрабатывает дерево, и в зоне его работы только одно дерево (рис. 5).

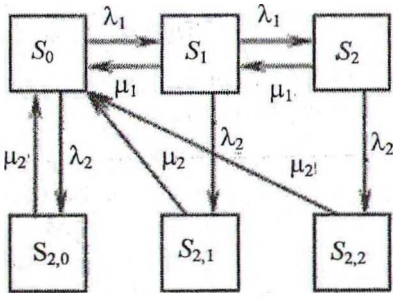

Рис. 5. Схема состояний харвестера при $m = 1$

Аналогично, как и в первом случае, составляем систему дифференциальных уравнений.

$$\begin{cases} \dfrac{dP_0}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2)P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_2 P_{20} + \mu_2 P_{21} + \mu_2 P_{22}, \\ \dfrac{dP_1}{dt} = -(\mu_1 + \lambda_1 + \lambda_2)P_1 + \lambda_1 P_0 + \mu_1 P_2, \\ \dfrac{dP_{20}}{dt} = -\mu_2 P_{20} + \lambda_2 P_0, \\ \dfrac{dP_{21}}{dt} = -\mu_2 P_{21} + \lambda_2 P_1, \\ \dfrac{dP_{22}}{dt} = -\mu_2 P_{22} + \lambda_2 P_2, \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_{20} + P_{21} + P_{22} = 1. \end{cases}$$

Тогда значения вероятностей состояний для установившегося режима работы харвестера будут следующими:

$$P_0 = \left[\left(1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)\left(1 + \frac{\lambda_1(\mu_1 + \lambda_2) + \lambda_1^2}{(\mu_1 + \lambda_2)^2 + \lambda_1 \lambda_2}\right)\right]^{-1};$$

$$P_1 = \frac{\lambda_1(\mu_1 + \lambda_2)}{(\mu_1 + \lambda_2)^2 + \lambda_1 \lambda_2} P_0;$$

$$P_2 = \frac{\lambda_1^2}{(\mu_1 + \lambda_2)^2 + \lambda_1 \lambda_2} P_0;$$

$$P_{20} = \frac{\lambda_2}{\mu_2} P_0;$$

$$P_{21} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (\mu_1 + \lambda_2)}{\mu_2(\mu_1 + \lambda_2)^2 + \mu_2 \lambda_1 \lambda_2} P_0;$$

$$P_{22} = \frac{\lambda_1^2 \lambda_2}{\mu_2(\mu_1 + \lambda_2)^2 + \mu_2 \lambda_1 \lambda_2} P_0.$$

3. Харвестер обрабатывает дерево, и в зоне его работы только два дерева. В этом случае работа харвестера представиться схемой состояний (рис. 6), а также вероятностями соответствующих состояний, интенсивностью поступления и обработки деревьев, интенсивно-

стью технических отказов и восстановления работоспособности харвестера.

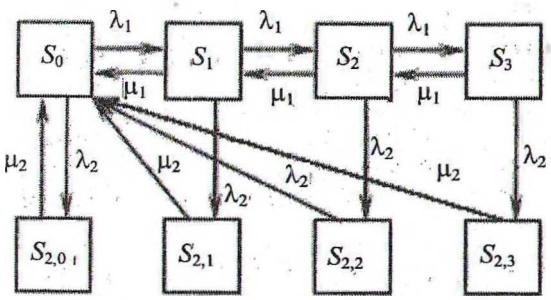

Рис. 6. Схема состояний харвестера при $m = 2$

Тогда функционирование харвестера можно описать системой уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{dP_0}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2)P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_2 P_{20} + \mu_2 P_{21} + \\ +\mu_2 P_{22} + \mu_2 P_{23}; \\ \dfrac{dP_1}{dt} = -(\mu_1 + \lambda_1 + \lambda_2)P_1 + \lambda_1 P_0 + \mu_1 P_2; \\ \dfrac{dP_2}{dt} = -(\mu_1 + \lambda_1 + \lambda_2)P_2 + \lambda_1 P_1 + \mu_1 P; \\ \dfrac{dP_3}{dt} = -(\mu_1 + \lambda_2)P_3 + \lambda_1 P_2; \\ \dfrac{dP_{20}}{dt} = -\mu_2 P_{20} + \lambda_2 P_0; \\ \dfrac{dP_{21}}{dt} = -\mu_2 P_{21} + \lambda_2 P_1; \\ \dfrac{dP_{22}}{dt} = -\mu_2 P_{22} + \lambda_2 P_2; \\ \dfrac{dP_{23}}{dt} = -\mu_2 P_{23} + \lambda_2 P; \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_{20} + P_{21} + P_{22} + P_{23} = 1. \end{cases}$$

При условии моделирования работы харвестера на протяжении длительного периода времени система уравнений преобразуется в линейную и значения вероятностей состояний работы будут следующими:

$$P_0 = \left[\left(1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right) \times \right.$$

$$\left. \times \left(1 + \frac{\lambda_1((\mu_1 + \lambda_2)^2 + \lambda_1\lambda_2) + \lambda_1^2(\mu_1 + \lambda_2) + \lambda_1^3}{(\mu_1 + \lambda_2)^3 + 2\mu_1\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_2^2 + \lambda_1^2\lambda_2}\right)\right]^{-1};$$

$$P_1 = \frac{\lambda_1((\mu_1 + \lambda_2)^2 + \lambda_1\lambda_2)}{((\mu_1 + \lambda_2)^3 + 2\mu_1\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_2^2 + \lambda_1^2\lambda_2)} P_0;$$

$$P_2 = \frac{\lambda_1^2(\mu_1 + \lambda_2)}{((\mu_1 + \lambda_2)^3 + 2\mu_1\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_2^2 + \lambda_1^2\lambda_2)} P_0;$$

$$P_3 = \frac{\lambda_1^3}{((\mu_1 + \lambda_2)^3 + 2\mu_1\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_2^2 + \lambda_1^2\lambda_2)} P_0;$$

$$P_{20} = \frac{\lambda_2}{\mu_2} P_0;$$

$$P_{21} = \frac{\lambda_1\lambda_2((\mu_1 + \lambda_2)^2 + \lambda_1\lambda_2)}{\mu_2((\mu_1 + \lambda_2)^3 + 2\mu_1\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_2^2 + \lambda_1^2\lambda_2)} P_0;$$

$$P_{22} = \frac{\lambda_1^2\lambda_2(\mu_1 + \lambda_2)}{\mu_2((\mu_1 + \lambda_2)^3 + 2\mu_1\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_2^2 + \lambda_1^2\lambda_2)} P_0;$$

$$P_{23} = \frac{\lambda_2\lambda_1^3}{\mu_2((\mu_1 + \lambda_2)^3 + 2\mu_1\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_2^2 + \lambda_1^2\lambda_2)} P_0.$$

Аналогично можно получить значения вероятностей состояний работы харвестера для случая, когда в зоне его работы m деревьев.

Полученная модель и расчетные формулы позволяют выполнять оптимизацию работы харвестеров в любых диапазонах их функционирования.