

УДК 634.0.30

Д. В. Клоков, Е. А. Леонов, И. В. Турлай

Белорусский государственный технологический университет

МОДЕЛЬ РАБОТЫ ФОРВАРДЕРА С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ

В статье представлена модель работы форвардера с учетом его технических и технологических отказов на различных стадиях работы. Разработанная математическая модель базируется на применении теории массового обслуживания, критериев вероятностей состояний.

Работа форвардера характеризуется следующими состояниями: S_0 – машина исправна, но не производит сбор, транспортировку, разгрузку и подсортировку сортиментов; S_1 – машина исправна, осуществляет сбор, транспортировку, разгрузку и подсортировку сортиментов; S_{21} – отказ ходовой части; S_{22} – отказ двигателя; S_{23} – отказ технологического оборудования; S_{24} – отказ гидравлической системы. В такой модели имеют место два типа потоков: сортиментов и отказов оборудования. Приоритетом пользуется поток отказов, так как при их наступлении они «обрабатываются» (осуществляется ремонт машин) в первую очередь.

Целью теоретических исследований являлось установление рациональных режимов работы форвардера, что позволит обеспечить в дальнейшем эффективность уже созданных лесных погрузочно-транспортных машин. Разработанная методология позволяет определять: оптимальную продолжительность подачи рабочего органа к сортименту (штабелю сортиментов), а также оптимальные сроки восстановления работоспособности шасси, двигателя, технологического оборудования и гидравлической системы форвардера в условиях его производственной эксплуатации.

Ключевые слова: модель, форвардер, вероятность, технический отказ, параметры.

D. V. Klokov, E. A. Leonov, I. V. Turlay

Belarusian State Technological University

MODEL OF FORWARDER WORK IN TERMS OF RELIABILITY

The article presents a model of the forwarder operation based on its technical and technological failures at different stages of work. The developed mathematical model is based on the application of queuing theory, fidelity criteria states.

Forwarder work has the following states: S_0 – the machine is working, but does not produce the collection, transporting, unloading and sorting of logs; S_1 – the machine is working, it does collecting, transporting, unloading and sorting of logs; S_{21} – undercarriage failure; S_{22} – engine failure; S_{23} – failure of process equipment; S_{24} – failure of the hydraulic system. In this model, there are two types of flows: of logs and equipment failures. Priority is given to the flow of failures, since if they occur they are “processed” (machinery repair is carried out) in the first place.

The purpose of theoretical research was to establish rational work modes of the forwarder, which will provide effectiveness of established forest forwarders in the future. The developed methodology allows to determine: the optimal duration of the working body to assortment (pile of logs) as well as the optimal terms of recovery of chassis performance, of engine, of process equipment and of hydraulic forwarder in terms of its manufacturing operation.

Key words: model, forwarder, probability, technical denial, parameters.

Введение. Современные форвардеры представляют собой сложные системы. Установление рациональных параметров их работы обеспечит в дальнейшем эффективность функционирования таких машин.

Основная часть. Математическая модель для форвардеров разработана с учетом технических отказов (рис. 1). Для нее характерны следующие состояния: S_0 – машина исправна (простаивает или совершает холостой ход с погрузочного пункта на пасаку), но не производит сбор, транспортировку (подвозку), разгрузку и подсортировку сортиментов; S_1 – машина исправна, осуществляет сбор, транспортировку, разгрузку и подсортировку сортиментов; S_{21} –

отказ ходовой части; S_{22} – отказ двигателя; S_{23} – отказ технологического оборудования (манипулятора, грейферного захвата); S_{24} – отказ гидравлической системы.

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

Из свободного состояния S_0 в рабочее S_1 система переходит с интенсивностью λ_1 подачи рабочего органа к сортименту (штабелю сортиментов). Обратный переход осуществляется посредством погрузки и транспортировки сортиментов 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 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} . Отказ гидросистемы приведет систему из состояния S_1 в S_{24} с интенсивностью λ_{24} . После ремонта система перейдет из состояния S_{24} в S_1 с темпом μ_{24} .

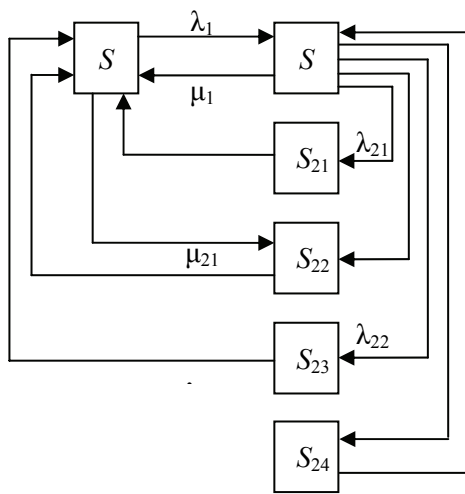


Рис. 1. Схема состояний системы форвардера

Неизвестные параметры λ_i и μ_i устанавливаются следующим образом: $\lambda_1 = 1/t_n$, где t_n – продолжительность времени подачи рабочего органа к сортименту (штabelle сортиментов); $\mu_1 = 1/t_{ц}$, где $t_{ц}$ – продолжительность цикла сбора, транспортировки, разгрузки и подсортировки сортиментов; $\lambda_{21} = 1/t_{21}^{от}$, 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; $\lambda_{24} = 1/t_{24}^{от}$, где $t_{24}^{от}$ – продолжительность времени между отказами гидравлической системы; $\mu_{24} = 1/t_{24}^B$, где t_{24}^B – продолжительность времени восстановления работоспособности гидравлической системы.

Модель функционирования системы будет иметь следующий вид:

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

С учетом того, что моделирование и исследование работы форвардера производится на протяжении длительного промежутка времени (месяц, год и т. д.), значения вероятностей P_i будут колебаться относительно определенного среднего значения. В этом случае 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% [1–5]. Система дифференциальных уравнений (1) примет вид:

$$\begin{cases} 0 = -(\lambda_1 + \lambda_{22})P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_{21} P_{21} + \\ \quad + \mu_{22} P_{22} + \mu_{23} P_{23}, \\ 0 = \lambda_1 P_0 - (\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24})P_1 + \\ \quad + \mu_{24} P_{24}, \\ 0 = \lambda_{21} P_1 - \mu_{21} P_{21}, \\ 0 = \lambda_{22} P_0 + \lambda_{22} P_1 - \mu_{22} P_{22}, \\ 0 = \lambda_{23} P_1 - \mu_{23} P_{23}, \\ 0 = \lambda_{24} P_1 - \mu_{24} P_{24}, \\ P_0 + P_1 + P_{21} + P_{22} + P_{23} + P_{24} = 1. \end{cases} \quad (2)$$

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

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23}} P_0; \quad (3)$$

$$P_{21} = \frac{\lambda_{21} \lambda_1}{\mu_{21} (\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23})} P_0; \quad (4)$$

$$P_{22} = \frac{\lambda_{22}}{\mu_{22}} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23}} \right) P_0; \quad (5)$$

$$P_{23} = \frac{\lambda_{23}\lambda_1}{\mu_{23}(\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23})} P_0; \quad (6)$$

$$P_{24} = \frac{\lambda_{24}\lambda_1}{\mu_{24}(\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23})} P_0. \quad (7)$$

Примем, что

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

$$\frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23}} = \varphi.$$

После подстановки выражений (3)–(7) в последнее уравнение системы (2) получим уравнение для расчета вероятности состояния P_0 :

$$P_0 = [1 + \rho_{22} + \varphi(1 + \rho_{21} + \rho_{22} + \rho_{23} + \rho_{24})]^{-1}. \quad (8)$$

Подставив в выражения (3)–(7) значения вероятности P_0 , найдем значения вероятностей $P_1, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{24}$.

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

На рис. 2 приведен пример установления одного из названных параметров.

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

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

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

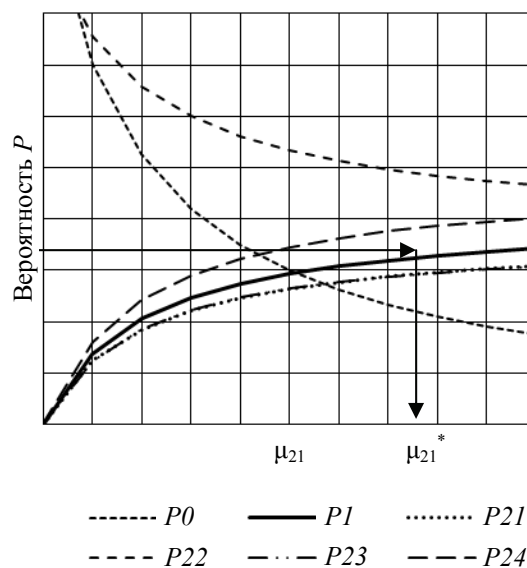


Рис. 2. Зависимость вероятностей состояний систем форвардера

Заключение. Разработанная модель позволяет при заданных характеристиках исследуемого форвардера 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. Клоков Д. В., Турлай И. В. Модели работы лесных машин с учетом надежности // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообработка. пром-сть. С. 66–67.
2. Клоков Д. В., Турлай И. В. Модель работы харвестера // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообработка. пром-сть. С. 77–79.
3. Клоков Д. В., Турлай И. В., Леонов Е. А. Оборудование лесопромышленных предприятий. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2015. – 200 с.
4. Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья / А. С. Федоренчик [и др.]. Минск: БГТУ, 2014. 274 с.
5. Матвейко А. П., Клоков Д. В., Протас П. А. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Практикум. Минск: БГТУ, 2013. 199 с.

References

1. Klovok D. V., Turlay I. V. Models of forest machines work in respect of reliability. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2 (149): Forest and Woodworking Industry, pp. 66–67 (in Russian).
2. Klovok D. V., Turlay I. V. Model of work harvester. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2 (166): Forest and Woodworking Industry, pp. 77–79 (in Russian).
3. Klovok D. V., Turlay I. V., Leonov E. A. *Oborudovanie lesopromyshlennykh predpriyatiy. Laboratornyy praktikum* [Equipment timber companies. Laboratory practicum]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 200 p.
4. Fedorenchik A. S., Mokhov S. P., Klovok D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovanie kompleksnogo ispol'zovaniya drevesnogo syr'ya. Praktikum* [Technology and equipment for the integrated use of wood raw material. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 274 p.

5. Matveyko A. P., Klokov D. V., Protas P. A. *Tekhnologiya i oborudovanie lesosechnykh i lesoskladskikh rabot. Praktikum* [Technology and equipment for logging and landing works. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2013. 199 p.

Информация об авторах

Клоков Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: klokov_dm@belstu.by

Леонов Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: debager13@rambler.ru

Турлай Иван Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: turlai@belstu.by

Information about the authors

Klokov Dmitriy Viktorovich – Ph. D. Engineering, assistant professor, Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klokov_dm@belstu.by

Leonov Evgeniy Anatol'evich – Ph. D. Engineering, senior lecturer, Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: debager13@rambler.ru

Turlay Ivan Vasil'evich – Ph. D. Engineering, assistant professor, assistant professor, Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: turlai@belstu.by

Поступила 20.02.2015