

**МОДЕЛИ РАБОТЫ ФОРВЕСТЕРА С УЧЕТОМ  
НАДЕЖНОСТИ**

**FORVESTER OPERATING MODELS WITH RELIABILITY**

**Клоков Д. В.**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,

**Леонов Е.А.**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,

**Гарабажиу А.А.**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц., **Чикилевский Я.А.**<sup>2</sup>, асс.,

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

D. Klokov<sup>1</sup>, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,

E. Leonov<sup>2</sup>, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,

A. Garabagiu<sup>2</sup>, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,

Y. Chukileuski<sup>1</sup>, Assistant Lecturer;

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

*В данной работе рассматривается возможность создания математическая модель для оптимизации работы лесных машин. Такая модель, используя теорию массового обслуживания, способна анализировать потоки сырья и отказов, тем самым позволяя определить рациональные эксплуатационные параметры рабочей машины для достижения максимальной производительности и прибыли.*

*This paper examines the possibility of creating a mathematical model for optimizing the operation of forest machines. Such a model, using the theory of mass service, is capable of analyzing the flow of raw materials and failures, thereby allowing us to determine the rational operating parameters of the working machine to achieve maximum productivity and profit.*

**Ключевые слова:** математическая модель, лесная промышленность, теория массового обслуживания, анализ, характеристики.

**Keywords:** mathematical model, forest industry, queuing theory, analysis, characteristics.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные лесные многооперационные машины (форвестеры, харвардеры, харвестеры, форвардеры и др.) представляют собой сложные системы. Установление рациональных параметров их работы обеспечит в дальнейшем эффективность функционирования таких машин [1–6].

Анализ вероятностной природы технологических процессов в лесном комплексе позволяет установить оптимальные и рациональные решения. Появляется возможность без дополнительных затрат получить положительные эффекты с достижением прибыли. Этот критерий является во всех случаях функционирования производства.

Определение оптимальных структур, качественных и количественных параметров функционирования, операций, предприятий лесного комплекса представляет задачу с учетом целого ряда факторов: природно-производственные, внешние, финансовые и др.

При исследовании функционирования различных лесопромышленных систем приняты следующие положения и допущения. Применяемые основы теории массового обслуживания вполне могут использоваться для исследования и принятия оптимальных и рациональных решений. Речь идет о решениях в области лесного комплекса.

Потоки предметов труда (дерева, хлысты, сортименты, пиломатериалы) и технических отказов оборудования обладают следующими свойствами. Стационарностью – основные параметры изменяются незначительно в течение продолжительного периода времени. Ординарностью – обработка предметов труда и устранение технических отказов осуществляется поодиночке. Отсутствие последствия – не влияет на обработку последующего предмета труда и технического отказа.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Модель работы указанной системы представляет собой систему линейных дифференциальных уравнений. Критериями являются вероятности возможных состояний во времени ее работы. В результате решения, по полученным моделям, устанавливаются: интенсивности подачи древесного сырья на обработку, которые обеспечивают максимальную производительность оборудования, интенсивность вос-

становления работоспособности его после технического отказа, размер рационального запаса древесного сырья.

Математическая модель работы форвестера разработана с учетом технических отказов (рис. 1). Для нее характерны следующие состояния:  $S_0$  – машина исправна, но не производит обработку деревьев, сбор, транспортировку, разгрузку и подсортировку сортиментов (совершает холостой ход с погрузочного пункта на пасаку);  $S_1$  – машина исправна, осуществляет валку деревьев, очистку их от сучьев, раскряжевку, сбор сортиментов, их транспортировку, разгрузку и подсортировку на погрузочном пункте;  $S_{21}$  – 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.

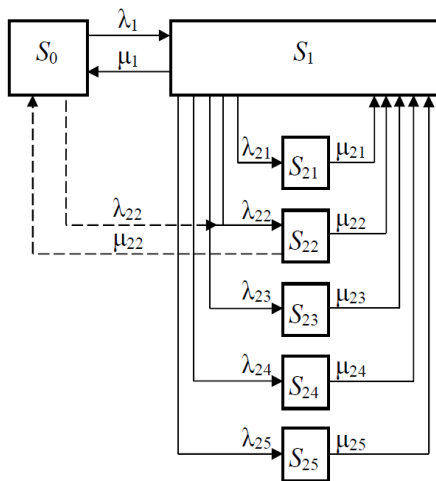


Рисунок 1 – Схема состояний системы форвестера

В такой модели имеют место два типа потоков: древесного сырья 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 растущему дереву. Обратный переход осуществляется посредством валки деревьев, очистки

их от сучьев, раскряжевки хлыстов на сортименты, сбора, погрузки и транспортировки сортиментов с интенсивностью  $\mu_1$ . При наступлении отказа ходовой части система с интенсивностью  $\lambda_{21}$  перейдет из состояния  $S_1$  в  $S_{21}$ . После выполнения ремонта с темпом  $\mu_{21}$  система вернется в состояние  $S_1$ . 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  $\mu_{22}$  может перейти как в состояние  $S_0$ , так и в состояние  $S_1$ . 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  $S_1$  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  $S_1$  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  $S_{25}$  в  $S_1$  с темпом  $\mu_{25}$ .

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

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

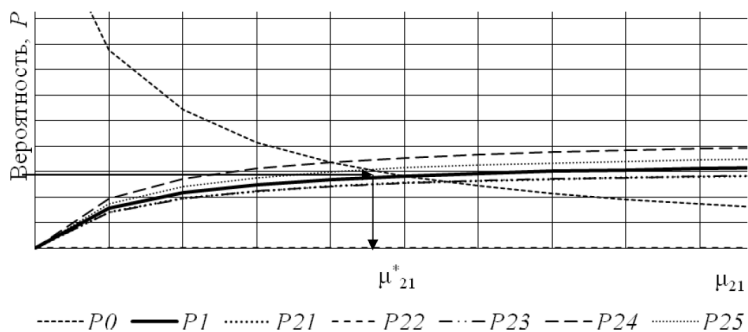


Рисунок 2 – Зависимость вероятностей состояний систем форвестера

Установленное рациональное значение  $\mu^*_{21}$  позволяет определить рациональную продолжительность восстановления ходовой части.

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная модель, опираясь на заданные параметры исследуемого форвестера, обеспечивает определение оптимальных режимов как подачи сырья для обработки, так и восстановительных работ в случае технических отказов. Это достигается за счет увеличения производительности оборудования при минимальных финансовых издержках.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Клоков, Д. В. Модель работы лесовозного автопоезда с учетом надежности / Д. В. Клоков, А. А. Гарабажиу, Е. А. Леонов // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сборник научных статей. Выпуск 2. – Мн., 2020. – С. 164–173.

2. Леонов, Е. А. Математическая модель работы рубильной машины с учетом ее технических отказов / Е. А. Леонов, В. В. Игнатенко, Д. В. Клоков // Труды БГТУ «Лесная и деревообработ. промышленность». – 2016. – № 2. – С. 40–44.

3. Клоков, Д. В. Модель работы форвардера с учетом надежности / Д. В. Клоков, Е. А. Леонов, И. В. Турлай // Труды БГТУ «Лесная и деревообработ. промышленность». – 2015. – № 2. – С. 23–26.

4. Клоков, Д. В. Модель работы харвардера с учетом надежности / Д. В. Клоков, Е. А. Леонов // Сборник научных статей «Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко». – 2015. – № 160. – С. 159–164.

5. Клоков, Д. В. Модель работы харвестера / Д. В. Клоков, И. В. Турлай // Труды БГТУ. – 2014. – № 2. – С. 77–79.

6. Клоков, Д. В. Модели работы лесных машин с учетом надежности / Д. В. Клоков, И. В. Турлай // Труды БГТУ «Лесная и деревообработ. промышленность». – 2012. – № 2. – С. 66–67.

Представлено 28.05.2025