УДК 532.517

В.В. Игнатенко, доц., канд. физ.-мат. наук;
Е.А. Леонов, доц., канд. техн. наук;
(БГТУ, г. Минск)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ «ХАРВЕСТЕР-ФОРВАРДЕР»

В лесозаготовительной промышленности на смену традиционным бензопилам и трелевочным тракторам пришли харвестеры (машины, выполняющие комплекс операций: валку деревьев, их очистку от сучьев и раскряжевку на нужные сортименты), форвардеры (машины, осуществляюшие сбор и транспортировку сортиментов на погрузочный пункт, включая разгрузку, подсортировку и укладку сортиментов в штабели) и ряд других машин. Специалисту приходится анализировать работу как отдельных узлов машины, так и всей технологической линии (рисунок 1). При достаточно широком выборе однотипного оборудования, очень важно правильно сформировать его в эффективные технологические системы машин. Решение этих проблем практически невозможно без математического моделирования исследуемых объектов. Целью данного доклада является построение математической модели работы системы лесозаготовительных машин «харвестер – форвардер» и анализ полученных решений для определения их оптимальных режимов работы.

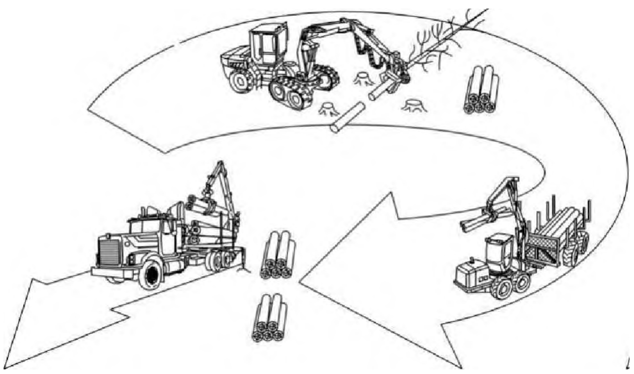

Рисунок 1 – Технологическая схема заготовки сортиментов системой машин «харвестер – форвардер»

Для построения математической модели рассмотрим граф состояний работы форвардера (рисунок 2).

$$S_0 \rightleftarrows S_1$$

Рисунок 2 – Граф состояний форвардера

Форвардер может находится в следующих состояниях: S_0 – простаивать из-за временного отсутствия заготавливаемых харвестером сортиментов; S_1 – осуществлять сбор и транспортировку сортиментов на погрузочный пункт.

Из свободного состояния S_0 в рабочее S_1 форвардер переходит с интенсивностью λ, где $\lambda = 1/t_з$ интенсивность заготовки сортиментов харвестером, $t_з$ – продолжительность цикла обработки сортиментов харвестером.

Работа системы лесозаготовительных машин «харвестер – форвардер» характеризуется следующими параметрами: харвестер осуществляет заготовку сортиментов на лесосеке с интенсивностью λ сортиментов в час; форвардер осуществляет сбор и транспортировку сортиментов на погрузочный пункт с интенсивностью μ сортиментов в час. При этом форвардер может находится в следующих состояниях: S_0 – простаивать из-за временного отсутствия заготавливаемых харвестером сортиментов; S_1 – осуществлять сбор и транспортировку сортиментов на погрузочный пункт. Из свободного состояния S_0 в рабочее S_1 форвардер переходит с интенсивностью λ, обратно переход осуществляется с интенсивностью μ.

Обозначим $P_i(t)$ – вероятность того, что в момент времени t система машин «харвестер – форвардер» находится в состоянии S_i, тогда модель функционирования системы (дифференциальные уравнения Колмогорова для вероятностей состояний) будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_0}{dt} = -\lambda P_0 + \mu P_1; \\ \dfrac{dP_1}{dt} = \lambda P_0 - \mu P_1; \\ P_0 + P_1 = 1. \end{cases} \qquad (1)$$

Неизвестные параметры λ и μ устанавливаются следующим образом: $\lambda = 1/t_з$, где $t_з$ – продолжительность цикла заготовки сортиментов харвестером; $\mu = 1/t_т$, где $t_т$ – продолжительность цикла сбора, транспортировки, разгрузки и подсортировки сортиментов форвардером.

При исследовании работы лесозаготовительного оборудования на протяжении длительного промежутка времени месяц, год и т.д. (установившийся режим работы), можно считать, что $P_0 = \text{const}$, $P_1 = \text{const}$ (финальные вероятности состояния). Ошибка при принятии данного допущения не превышает 8% [2, 3].

В этом случае система дифференциальных уравнений (1) преобразуется в систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} 0 = -\lambda P_0 + \mu P_1; \\ 0 = \lambda P_0 - \mu P_1; \\ P_0 + P_1 = 1. \end{cases} \tag{2}$$

Решая систему уравнений относительно вероятностей состояний P_0 и P_1 получим выражения для расчета режимов работы системы машин «харвестер – форвардер»:

$$P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \tag{3}$$

$$P_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \tag{4}$$

Полученные зависимости вероятностей состояний системы машин «харвестер – форвардер» позволяют установить рациональные значения параметров рассматриваемых машин. Технология работы с зависимостями следующая: на основе конкретных природно-производственных условий выбирается марка оборудования, например форвардера, работа которого характеризуется интенсивностью μ; из зависимостей (3) и (4) устанавливается рациональное значение параметра λ, по которому в дальнейшем подбирается конкретная марка харвестера [2, 3].

На рис.3 приведен пример установления рациональной интенсивности λ работы харвестера в зависимости от конкретной интенсивности μ работы форвардера.

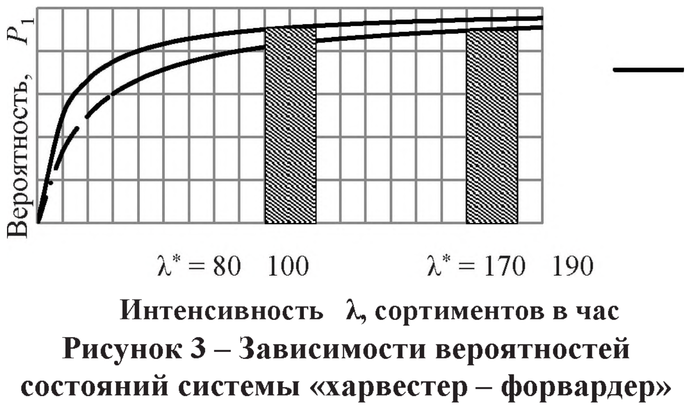

Рисунок 3 – Зависимости вероятностей состояний системы «харвестер – форвардер»

Принятый на основании рисунка 3 оптимальный диапазон значений λ^* позволяет осуществить выбор требуемого харвестера, обеспечивающего рациональную загрузку применяемого форвардера, т. к. при этом обеспечивается оптимальная величина вероятности его работы P_1^*.

Данная математическая модель может быть использована на производстве, при составлении эффективной системы машин «харвестер – форвардер» в зависимости от конкретных природно-производственных условий, при наименьших экономических затратах.

Построение математической модели, ее решение и анализ, полученных решений могут быть использованы при обучении студентов, технических специальностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатенко В. В., Турлай И. В., Федоренчик А. С. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок. Минск: БГТУ, 2004. 178 с.

2. Игнатенко В. В., Леонов Е. А. Установление рациональных параметров многооперационных машин в лесозаготовительной промышленности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5–4. С. 291–295.

3. Леонов Е. А., Игнатенко В. В., Клоков Д. В. Математическая модель работы рубильной машины с учетом ее технических отказов // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообр. пром-сть. С. 40–44.

УДК 517.977

И.М. Борковская, доц., канд. физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск)

О ПОСТРОЕНИИ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ГИБРИДНОЙ ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНОЙ СИСТЕМЫ

Важнейшим свойством реальной системы управления является свойство устойчивости. В качественной теории управления динамическими системами задача стабилизации занимает одно из центральных мест. С помощью воздействия регулятора, построенного по принципу обратной связи, необходимо обеспечить устойчивость замкнутой системы. В докладе предлагаются способы выбора регулятора, обеспечивающего устойчивость гибридной дискретно-непрерывной системы с «многомерным» (2-D-мерным) временем, состоящей из непрерывной и дискретной составляющих:

$$\dot{x}_1(t,k) = A_{11}x_1(t,k) + A_{12}x_2(t,k) + B_1u(t,k),\ t \in [0,+\infty), \quad (1)$$

$$x_2(t,k+1) = A_{21}x_1(t,k) + A_{22}x_2(t,k) + B_2u(t,k),\ k = 0,1,2,\ldots \quad (2)$$

Для скалярного случая, когда система принимает вид