

УДК 621.933.6

**С.П. Агеев**

Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства филиала «Севмашвтуз» СПбГМТУ. Имеет более 60 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.  
Тел.: 8 (8184) 20-03-57



## ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ

Предложена математическая модель лесопильной рамы как системы массового обслуживания, проанализировано влияние различных видов потерь на коэффициенты использования лесопильных рам в течение рабочего времени.

*Ключевые слова:* коэффициенты использования, система массового обслуживания, дифференциальные уравнения, вероятности состояния, среднечасовая производительность лесопильных рам.

Как известно, среднесменная производительность  $A_k$  лесопильных рам (ЛР), а значит, и среднее значение удельного расхода электроэнергии (УРЭ) за смену зависят от длительности рабочих циклов, а также цикловых и внецикловых потерь времени. Эти зависимости учитываются с помощью коэффициентов использования ЛР во времени, связанных между собой следующим соотношением [4]:

$$K = K_o K_n, \quad (1)$$

где  $K$  – полный коэффициент использования ЛР во времени;

$K_o$  и  $K_n$  – коэффициенты использования в операционном и календарном времени.

К цикловым относятся потери времени на холостые ходы, присутствующие в рабочих циклах ЛР, когда непосредственная распиловка бревен не производится. В [1] показано, что продолжительность распиловки бревен и длительность холостых ходов следует рассматривать как случайные величины со своими законами распределения.

При анализе производительности лесопильного оборудования обычно выделяют два вида внецикловых потерь [6]: технические потери, связанные с режимом работы оборудования (потери от инструмента, ремонта и регулирования механизмов и устройств и др.); организационные потери, функционально не связанные с режимом работы (отсутствие бревен, простой линии вследствие несвоевременной уборки материала, брак предыдущих операций, обнаруженный при обработке и т.д.).

Продолжительное наблюдение за работой лесопильного оборудования показывает, что в процессе длительной эксплуатации потеря его работоспособности происходит в результате появления отказов. Степень изношенности оборудования не исключает характер случайности появления отказов, если рассматривать оборудование в каждый отдельный период времени между очередными плановыми ремонтами. Простои, связанные с техническими отказами, обусловлены надежностью функционирования узлов и деталей ЛР. Поток случайных отказов лесопильного оборудования характеризуется показателем среднего количества отказов в единицу времени

и в течение межремонтного периода определяется интенсивностью отказов  $\lambda$ . Эта величина не остается постоянной в течение всего времени эксплуатации лесопильного оборудования, а изменяется по типичной кривой, приведенной в [5].

Длительности любых простоев ЛР являются случайными величинами, так как зависят от совместного действия большого числа факторов. Характерной особенностью процессов деревообработки является то, что в них постоянно проявляется действие различных случайных факторов. Влияние тех или иных видов потерь на коэффициенты использования ЛР может быть исследовано методами теории вероятностей. Это позволит учитывать ряд случайностей, более обоснованно проводить планирование и организацию работы лесопильного оборудования.

В настоящей работе рассматривается один из способов учета влияния видов потерь времени на коэффициенты использования ЛР и ее среднесменную производительность, использующий методы математической теории массового обслуживания [2].

Имеем лесопильную раму как систему массового обслуживания (СМО). Работа такой СМО характеризуется тем, что в ней протекает случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем. Этот процесс состоит в том, что ЛР как СМО с течением времени случайным образом изменяет свое состояние.

Рассмотрим работу ЛР на протяжении рабочей смены, когда она в любой момент времени может находиться только в одном из четырех возможных состояний:

$E_1$  – ЛР занята распиловкой очередного бревна;

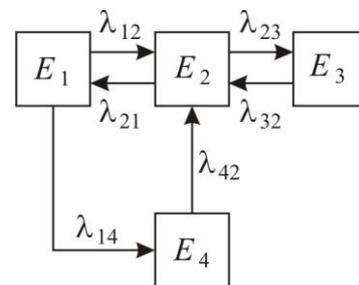
$E_2$  – ЛР находится в режиме холостого хода;

$E_3$  – ЛР остановлена для проведения необходимых ремонтных работ по заранее составленному плану или по организационным причинам (организационно-технические простои);

$E_4$  – ЛР остановлена для проведения ремонтных работ и непредусмотренных техническими условиями регулировочных мероприятий, возникших в результате внезапного отказа оборудования.

Обозначим вероятности этих состояний в момент времени  $t$ :  $P_1(t)$ ,  $P_2(t)$ ,  $P_3(t)$  и  $P_4(t)$  соответственно. Случайный процесс с дискретными состояниями удобно интерпретировать с помощью размеченного графа состояний (см. рисунок).

Размеченный граф состояний лесопильной рамы



В этом случае процесс удобно представить как блуждание системы (ЛР) по этому графу с мгновенными переходами из состояния в состояние по соответствующей стрелке, происходящими в случайные моменты времени под действием потоков событий с постоянными интенсивностями  $\lambda_{ij}$ . Для рассматриваемой модели ЛР как СМО эти интенсивности определяют следующим образом:

$$\lambda_{12} = 1/T_{12}; \lambda_{14} = 1/T_{14}; \lambda_{23} = 1/T_{23}; \lambda_{21} = 1/T_{21}; \lambda_{42} = 1/T_{42}; \lambda_{32} = 1/T_{32},$$

где  $T_{12}$  – среднее время распиловки одного бревна, ч;

$T_{14}$  – среднее время между двумя последовательными отказами (время наработки на отказ), ч;

$T_{23}$  – среднее время между двумя переналадками, вызванными плановыми остановками ЛР, ч;

$T_{21}$  – среднее время холостого хода (межторцового разрыва), ч;

$T_{42}$  – средняя длительность простоя, вызванного внезапным отказом, ч;

$T_{32}$  – средняя длительность переналадки, ч.

Все указанные длительности могут быть получены на практике в результате статистической обработки данных, взятых из производственных журналов.

Составим дифференциальные уравнения для всех вероятностей состояний ЛР. Тогда вероятность  $P_1(t + \Delta t)$  того, что в момент времени  $(t + \Delta t)$  лесопильная рама будет находиться в состоянии  $E_1$  (распиловка очередного бревна), равна (с точностью до бесконечно малых более высокого порядка, чем  $\Delta t$ ) сумме следующих вероятностей:

вероятности того, что ЛР в момент времени  $t$  была занята распиловкой этого бревна и за время  $\Delta t$  распиловка не закончилась, т.е.

$$P_1(t) (1 - (\lambda_{12} + \lambda_{14}) \Delta t);$$

вероятности того, что ЛР в момент времени  $t$  находилась в режиме холостого хода и за время  $\Delta t$  этот режим закончился, т.е.

$$P_2(t) \lambda_{21} \Delta t.$$

Отсюда

$$P_1(t + \Delta t) = P_1(t) (1 - (\lambda_{12} + \lambda_{14}) \Delta t) + P_2(t) \lambda_{21} \Delta t.$$

Переносим  $P_1(t)$  в левую часть равенства, делим на  $\Delta t$  и переходя к пределу при  $\Delta t \rightarrow 0$ , получаем дифференциальное уравнение

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -P_1(t) (\lambda_{12} + \lambda_{14}) + P_2(t) \lambda_{21}.$$

Вероятность  $P_2(t + \Delta t)$  того, что в момент времени  $(t + \Delta t)$  лесопильная рама будет находиться в состоянии  $E_2$  (режим холостого хода) равна сумме следующих вероятностей:

вероятности того, что ЛР в момент времени  $t$  была занята распиловкой очередного бревна, и за время  $t$  наступил межторцовый разрыв между бревнами, т.е.

$$P_1(t) \lambda_{12} \Delta t;$$

вероятности того, что ЛР в момент времени  $t$  уже находилась в режиме холостого хода и за время  $\Delta t$  этот режим не закончился, т.е.

$$P_2(t) (1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23}) \Delta t);$$

вероятности того, что ЛР в момент времени  $t$  находилась в состоянии  $E_3$  (была остановлена по организационно-техническим причинам) и за время  $\Delta t$  причина остановки была устранена, а ЛР включена для приема очередного бревна, т.е.

$$P_3(t) \lambda_{32} \Delta t;$$

вероятности того, что ЛР в момент времени  $t$  находилась в состоянии  $E_4$  (была остановлена для проведения ремонтных работ и непредусмотренных техническими условиями регулировочных мероприятий, возникших в результате внезапного отказа оборудования) и за время  $\Delta t$  причина остановки была устранена, а ЛР включена для приема очередного бревна, т.е.

$$P_4(t) \lambda_{42} \Delta t.$$

Таким образом,

$$P_2(t + \Delta t) = P_1(t) \lambda_{12} \Delta t + P_2(t) (1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23}) \Delta t) + P_3(t) \lambda_{32} \Delta t + P_4(t) \lambda_{42} \Delta t,$$

откуда после преобразования

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = P_1(t) \lambda_{12} + P_3(t) \lambda_{32} + P_4(t) \lambda_{42} - P_2(t) (\lambda_{21} + \lambda_{23}).$$

Аналогичные дифференциальные уравнения имеют место и для других состояний:

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = P_2(t) \lambda_{23} - P_3(t) \lambda_{32}; \quad \frac{dP_4(t)}{dt} = P_1(t) \lambda_{14} - P_4(t) \lambda_{42}.$$

Для стационарного режима поточной линии вместо системы дифференциальных уравнений получим систему алгебраических уравнений, так как все производные будут равны нулю:

$$\begin{aligned} 0 &= -P_1 (\lambda_{12} + \lambda_{14}) + P_2 \lambda_{21}; \\ 0 &= P_1 \lambda_{12} + P_3 \lambda_{32} + P_4 \lambda_{42} - P_2 (\lambda_{21} + \lambda_{23}); \\ 0 &= P_2 \lambda_{23} - P_3 \lambda_{32}; \\ 0 &= P_1 \lambda_{14} - P_4 \lambda_{42}. \end{aligned}$$

Выразим все вероятности  $P_i$  ( $i = 2, 3, 4$ ) через вероятность  $P_1$ , а второе уравнение заменим на нормировочное  $\sum_{i=1}^4 P_i = 1$ .

Тогда

$$P_2 = \frac{\lambda_{12} + \lambda_{14}}{\lambda_{21}} P_1 = a_2 P_1; \quad P_3 = \frac{\lambda_{23}}{\lambda_{32}} P_2 = \frac{\lambda_{23}}{\lambda_{32}} a_2 P_1 = a_3 P_1; \quad P_4 = \frac{\lambda_{14}}{\lambda_{42}} P_1 = a_4 P_1;$$

$$\sum_{i=1}^4 P_i = P_1 + a_2 P_1 + a_3 P_1 + a_4 P_1 = 1.$$

Отсюда

$$P_1 = \frac{1}{1 + a_2 + a_3 + a_4}.$$

Вероятность  $P_i$  состояния ЛР в установившемся режиме работы поточной линии можно трактовать как среднее относительное время пребывания ЛР в состоянии  $E_i$  [5]. Для нашего случая

$$P_1 = \frac{T_3}{T_k}; \quad P_2 = \frac{T_B}{T_k}; \quad P_3 = \frac{T_{H1}}{T_k}; \quad P_4 = \frac{T_{H2}}{T_k},$$

где  $T_{H1}$ ,  $T_{H2}$  – среднее время нахождения ЛР в состояниях  $E_3$  и  $E_4$  соответственно в течение календарного времени  $T_k$ .

Согласно [4], коэффициенты использования ЛР во времени

$$K_H = P_1 + P_2; \quad K_0 = P_1 / (P_1 + P_2); \quad K = P_1. \quad (2)$$

Среднечасовая производительность ЛР за рабочую смену

$$A_k = K A_3 = P_1 A_3, \quad (3)$$

где  $A_3$  – среднечасовая производительность ЛР за эффективное время [3].

Практическая значимость формул (2), (3) состоит в том, что они позволяют определить коэффициенты использования ЛР через вероятности ее состояний, которые зависят от параметров режима работы ЛР. Изменяя последние, можно получить вероятностное распределение среднечасовой производительности и УРЭ ЛР за смену в зависимости от того или иного фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агеев С.П.* Математическое моделирование процессов распиловки древесины //Изв. СПб ЛТА. Вып. 179. С. 142–152.
2. *Агеев С.П.* Повышение энергетической эффективности производства пилопродукции: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Архангельск, 2011. 37 с.
3. *Агеев С.П.* Показатели энергоиспользования лесопильных рам//Лесн. журн. 2009. № 3. С. 131–138. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Агеев С.П.* Энергетические режимы работы окорочных станков//Лесн. журн. 2007. № 4. С. 104–111. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Бызов В.И., Иванищев Ю.П.* Надежность лесопильного оборудования. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 128 с.
6. *Калитеевский Р.Е.* Автоматизация производственных процессов в лесопилении. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 336 с.

Поступила 23.03.11

***S.P. Ageev***

«Sevmashvtuz» Branch of Saint-Petersburg Stat Marine Technical University

**Probability Modelling of a Vertical Frame Saw Performance**

A mathematical model of a saw frame as a mass servicing system has been proposed. The impact of different types of losses on the coefficients of saw frames performance during working hours has been analyzed.

*Keywords:* utilization coefficient, mass servicing system, differential equations, probability of the state, average hourly productivity of saw frames.