

туры,  $n_n$  – удельная проницаемость пористой структуры,  $p$  – давление,  $\gamma$  – удельный вес жидкости,  $x$  – координата перемещения, удельная проницаемость материала древесины

$$n = n_k + n_n.$$

Введем суперпозиционный коэффициент течения для капиллярно-пористой структуры

$$K = r^2_c 8^{-1} \mu^{-1} n_k + k \gamma^{-1} n_n \quad (3)$$

и перепишем (2) в виде

$$V = -K (dp/dx). \quad (4)$$

Упругой деформации древесинного скелета соответствует выражение

$$\varepsilon = \partial w / \partial x = a \sigma, \quad (5)$$

где  $w$  – перемещение скелета вдоль  $x$  в процессе прессования.

Введем скорость перемещения скелета  $\partial w / \partial t$ , определяющую скорость уплотнения материала древесины, и перепишем (4) в виде

$$V = \partial w / \partial t = -K (dp/dx). \quad (6)$$

Из условия равновесия

$$\partial \sigma / \partial x + \partial p / \partial x = 0$$

и выражений (5) и (6) следует дифференциальное уравнение

$$K a^{-1} \partial^2 w / \partial x^2 = \partial w / \partial t, \quad (7)$$

или

$$v \partial^2 w / \partial x^2 = \partial w / \partial t, \quad (8)$$

где  $v = K a^{-1}$ .

После дифференцирования (8) по времени получаем уравнение для скорости истечения жидкости из материала древесины и соответственно скорости его уплотнения

$$v \partial^2 V / \partial x^2 = \partial V / \partial t. \quad (9)$$

Наряду с дифференциальным уравнением для скорости уплотнения древесины (9) можно на

основании (8) и (5) путем дифференцирования (8) по  $x$  получить дифференциальное уравнение для нормальных напряжений, возникающих в материале древесины в процессе ее прессования –

$$v \partial^2 \sigma / \partial x^2 = \partial \sigma / \partial t, \quad (10)$$

а также, с учетом (1), уравнение относительной деформации

$$v \partial^2 \varepsilon / \partial x^2 = \partial \varepsilon / \partial t. \quad (11)$$

Решение (11) можно записать в виде

$$(\varepsilon - \varepsilon_0) = (1 - \varepsilon_0) [1 - 2 \pi^{-1/2} \int \exp(-\lambda^2) d\lambda], \quad (12)$$

в котором  $\varepsilon_0$  – асимптотическая степень сжатия, обусловленная упругостью древесного скелета материала согласно (1), переменная  $\lambda = 1/2 x / (vt)^{1/2}$

Для полностью капиллярной структуры материала, согласно (3), коэффициент истечения

$$K = r^2_c 8^{-1} \mu^{-1} n,$$

для полностью пористой структуры он равен

$$K = k \gamma^{-1} n.$$

Выполненные аналитические построения процесса уплотнения материала древесины на основе его представления как упругой древесной структуры, у которой проницаемое капиллярно-пористое пространство заполнено несжимаемой жидкостью, позволяют представить динамическую картину протекания процесса прессования и формулировать основные параметры состояния технологического процесса получения материалов с новыми физико-механическими свойствами.

#### Литература

1. Пятакин В.И., Тишин Ю.Г., Базаров С.М. Техническая гидродинамика древесины. М.: Лесн. пром-ть, 1990. 304 с.

УДК 631.3.001.4:658

Ю.И. Беленький, С.П. Рыков, Г.К. Парфенопуло

### К СТРАТЕГИИ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ

На основе представления относительной вероятности как разности вероятностей безотказной работы и отказа определяется время эффективной эксплуатации комплексов машин.

**Ключевые слова:** относительная вероятность, тестирование, время, цикл, работа.

**Введение.** Рыночные условия развития лесозаготовительного производства обуславливают необходимость высокопроизводительного и надежного использования техники. Надежность характеризуется безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохранностью, которые должны поддерживаться и обеспечиваться в течение всего срока эксплуатации машин. В процессе эксплуатации машин высокое качество технического обслуживания и тестирование обеспечива-

ют эффективную работоспособность систем машин лесозаготовки.

Производство лесоматериалов выполняется комплексами механизмов, машин и оборудования, которые последовательно выполняют необходимые дискретные технологические операции, поэтому критерии их эффективной работоспособности как у взаимосвязанных дискретных статистических систем определяются на основе теории марковских цепей.

**Результаты исследования.** Вероятность безотказной работы лесных машин во времени подчиняется экспоненциальному закону распределения, который определяется их тестированием производителем [1, 2]

$$p(t) = \exp(-\lambda t), \quad (1)$$

где  $\lambda$  – параметр распределения,  $t$  – время.

При анализе технологического процесса лесозаготовки следует выделять внешнее непрерывное время  $t$  как аддитивную полугруппу и внутреннее дискретное время цикла операций производства 1 м<sup>3</sup> древесины

$$T = \sum \tau_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Здесь  $i$  – число последовательных операций производства, время выполнения производства 1 м<sup>3</sup> древесины  $i$ -той операцией равно

$$\tau_i = 1 / n_i, \quad (3)$$

где  $n_i$  – производительность.

Внутренним временем цикла производства можно квантовать внешнее время протекания процесса

$$t = N T,$$

здесь  $N$  – число циклов производства единицы лесопroduкции.

Внутреннее время цикла производства отличается от внешнего тем, что оно является стохастическим параметром, обусловленным работой в однородном случайном поле естественных древостоев и стационарным случайным характером самого процесса.

В общем случае внутреннее время цикла можно записать в виде суперпозиции некоррелированных между собой гармоник  $\omega$  со случайными амплитудами  $b$  и фазами  $\varphi_j$

$$T(t) = \sum b_j \cos(\omega_j t - \varphi_j),$$

которым соответствует среднее квадратическое значение времени цикла

$$T_{c*} = T_c (1 + s^3 / T_c^2)^{1/2},$$

при  $s^3 / T_c^2 \ll 1$  можно записать

$$T_{c*} = T_c (1 + 1/2 s^3 / T_c^2), \quad (4)$$

где  $s^2$  – дисперсия,  $T_c$  – среднее время.

Наличие представлений двух времен в технологическом процессе лесозаготовки ставит задачу необходимости рассмотрения эффективности эксплуатации при внешнем и внутреннем временах.

Если технологический процесс лесозаготовки рассматривается во внешнем времени с условием достоверности начала работ для всех машин в системе  $p(t) = 1$  при  $t = 0$ , то вероятность безотказной работы согласно (1) равна

$$p(t) = \exp(-t \sum \lambda_i) = \exp(-\lambda_t t), \quad \sum \lambda_i = \lambda_t. \quad (5)$$

Если перейти к дискретному времени цикла операций

$$t = NT,$$

представление (5) переходит в

$$p(N) = \exp(-N \sum \lambda_i \tau_i), \quad (6)$$

если выполнить осреднение

$$\sum \lambda_i \tau_i = \lambda_t T,$$

тогда (6) принимает вид

$$p(N) = \exp(-N \lambda_t T). \quad (7)$$

В том случае, когда комплекс машин сформирован из числа механизмов и машин, имеющих разное время начала эксплуатации и связанную с этим различную начальную вероятность безотказной работы, вероятность его безотказной работы во время эксплуатации следует оценивать выражением

$$p(t) = \exp(-\lambda_1 t) \exp[-\lambda_2 (t - \theta_{21})] \exp[-\lambda_i (t - \theta_{i1})], \quad (8)$$

или

$$p(t) = \exp(-t \sum \lambda_i + \sum \lambda_i \theta_{i1}) \quad (9)$$

Временной параметр  $\theta_{i1}$  характеризует значе- ние разницы позднего времени начала эксплуатации  $i$ -машины от начала базовой ( $i = 1$ ), которая раньше всех начинала эксплуатироваться.

При переходе к дискретному внутреннему времени представление (9) переходит в

$$p(N) = \exp(-N \lambda_t T + \sum \lambda_i N_{i1} T)$$

и ввиду статистического характера внутреннего времени цикла производства единицы лесопroduкции полученное представление принимает вид

$$p(N) = \exp[-N \lambda_t (T_c + T_{c*}) + \sum \lambda_i N_{i1} (T_c + T_{c*})].$$

Вероятности безотказной работы соответствует асимметричное представление вероятности отказа

$$q(t) = 1 - p(t), \quad (10)$$

для них имеет место алгебра: объединение (суммирование)  $p + q = 1$ , пересечение  $p \cap q = 1/2$ , разность  $p - q = r = 2p - 1$ .

Разность вероятностей  $r$  можно рассматривать как относительную вероятность между вероятностью события (безотказная работа) и вероятностью его отрицания (отказ).

В отличие от вероятности  $p$ , которая изменяется от 1 до 0, относительная вероятность  $r$  изменяется от 1 до -1, ее отрицательным значениям отвечает условие превышения вероятности отрицания события (отказ) над вероятностью события (безотказная работа); достоверности соответствует значение  $r = 1$ , а невозможности  $r = -1$  [3].

При положительном значении относительной вероятности  $1 \geq r > 0$  событие принадлежит к классу вероятных (безотказная работа); здесь вероятность безотказной работы выше вероятности отказа.

При отрицательном значении относительной вероятности  $0 > r \geq -1$  событие принадлежит к классу отрицательных (отказ), в этом случае вероятность отказа больше вероятности безотказной работы, и событие находится в критической области.

Условию равенства относительной вероятности нулю соответствует равенство вероятностей события и его отрицания (пересечение вероятностей) и время его наступления

$$t_0 = \ln 2 / \lambda,$$

ввиду того, что  $\ln 2 < 1$ , имеет место условие  $t_0 < \lambda^{-1} = t_c$ . Времени эксплуатации ( $t_0 < t \leq t_c$ ) соответствует отрицательное значение относительной

вероятности, что указывает на то, что она входит в класс катастрофных (негативных) для нее событий, поэтому необходимо тестировать технику на предмет ее работоспособности.

Представленный подход для отдельно взятой машины с позиции марковских цепей следует распространить на всю систему механизмов и машин, связанных при работе внешним непрерывным временем и внутренним дискретным.

Диапазон времени тестирования комплексов механизмов и машин, у которых начало эксплуатации по времени совпадает для всех (условие начальной достоверности), определяем на основании (5)

$$t_{0k} = \ln 2 / \lambda_{\tau}, \quad t_{0k} < t_{ck} = \lambda^{-1}_{\tau},$$

из условия  $\sum \lambda_i = \lambda_{\tau} > \lambda_i$  следуют неравенства  $t_{0k} < t_0$  и  $t_{ck} < t_c$ . Также для периодов времени в целом  $(t_{0k} < t \leq t_{ck}) < (t_0 < t \leq t_c)$  следует, что время тестирования работы машин в системе должно наступать раньше, чем определяется производителем для отдельно взятой машины.

Диапазон времени тестирования комплексов механизмов и машин, у которых начало эксплуатации по времени может не совпадать, находим на основании (9)

$$t_{0k\tau} = \ln 2 / (\sum \lambda_i - \sum \lambda_i \theta_{i1*}), \quad t_{ck\tau} = 1 / (\sum \lambda_i - \sum \lambda_i \theta_{i1*}). \quad (11)$$

Ввиду того, что

$$(\sum \lambda_i - \sum \lambda_i \theta_{i1*}) < \sum \lambda_i,$$

имеет место условие  $(t_{0k\tau} < t \leq t_{ck\tau}) > (t_{0k} < t \leq t_{ck})$ , поэтому здесь диапазон времени тестирования наступает позже по сравнению с системой, сформированной из новых машин, работавших ранее.

При переходе к дискретному времени начальному значению критического числа операций цикла соответствует формула

$$N_0 = \ln 2 / \lambda_{\tau} T \quad (12)$$

и конечному

$$N_c = (1 / \lambda_{\tau} T), \quad N_0 < N_c,$$

числу циклов эксплуатации системы машин  $N \in (N_0 < N \leq N_c)$  соответствует критическое значение, обусловленное отрицательным значением относительной вероятности.

Далее соответственно получаем

$$N_{0\tau} = \ln 2 / (\lambda_{\tau} T - \sum \lambda_i N_{i1*} T) \quad (13)$$

и

$$N_{0k\tau} = 1 / (\lambda_{\tau} T - \sum \lambda_i N_{i1*} T), \quad (14)$$

а также условие

$$(N_{0\tau} < N \leq N_{0k\tau}) > (N_0 < N \leq N_c).$$

Ввиду статистического характера внутреннего времени цикла производства единицы лесопроизводства диапазон времени тестирования системы механизмов и машин, работающих в стохастическом режиме, следует оценивать выражением

$$\ln 2 / [\lambda_{\tau} (T_c + T_{c*}) - \sum \lambda_i N_{i1*} (T_c + T_{c*})] < N < 1 / [\lambda_{\tau} (T_c + T_{c*}) - \sum \lambda_i N_{i1*} (T_c + T_{c*})].$$

На основе представления относительной вероятности как разности вероятностей безотказной работы техники и ее отказа предлагается методика расчета эффективной стратегии эксплуатации как отдельных машин, так и их систем.

#### Литература

1. Шиловский В.Н. Обоснование и разработка комплексной системы организации технического сервиса территориально распределенных лесозаготовительных машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2002. 34 с.
2. Базаров С.М., Мартынов Б.Г. Обоснование индивидуальной стратегии эффективной эксплуатации лесных машин по результатам диагностирования // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2005. Вып.172. С.85-92.

УДК 630\*81.001.5

А.Н. Соловьев, А.В. Елкин

### ВОЗМОЖНОСТЬ РАСКРОЯ ДРЕВЕСИНЫ СТРУНОЙ, СОВЕРШАЮЩЕЙ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

*Рассмотрена возможность раскроя древесины струной, совершающей акустические колебания, которые являются источником диссипативной энергии, определяющей образование вязкотекучего состояния материала в окрестности струны.*

**Ключевые слова:** растительный полимер, диссипация, вязкотекучесть, частота, экология.

**Введение.** Механическое резание древесины является одной из основных и дорогостоящих операций на деревоперерабатывающих предприятиях. Известно, что процесс разрушения материала древесины режущим инструментом сопровождается механическими, тепловыми, электрическими и химическими явлениями. К недостат-

кам механического разрушения следует отнести то обстоятельство, что большая часть работы резания расходуется на образование стружки, которая становится отходом производства.

Создание высоких технологий производства изделий из древесины на основе раскроя как безотходного и экологически чистого процесса опре-