

634.0.3  
Т88

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт  
имени С.М.Кирова

на правах рукописи

ТУРЛАЙ Иван Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ  
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ  
СТОХАСТИЧНОСТИ

Специальность 05.21.01

"Процессы и технология лесоразработок, лесозаготовок,  
лесного хозяйства, лесопильных и деревообрабатывающих  
производств"

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 1976г.

630\*3

4271 ар

Работа выполнена в Белорусском технологическом институте  
им.С.М.Кирова на кафедре технологии лесозаготовок.

Научный руководитель, доцент,  
кандидат технических наук

Н.Ф.КОВАЛЕВ

Официальные оппоненты:

профессор,  
доктор технических наук

В.И.АЛЯБЬЕВ

доцент,  
кандидат технических наук

Ю.Н.БЕНЦЕНОСЦЕВ

Ведущее предприятие - Минлеспром БССР

Защита состоится " 24 " ноября 1976г. в 19 часов  
на заседании специализированного совета К - 497/2 по  
присуждению ученой степени кандидата наук в  
Белорусском технологическом институте им.С.М.Кирова  
Адрес: 220630, г.Минск-50, ул.Свердлова, 13а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Белорусского технологического института им.С.М.Кирова

Автореферат разослан " 20 " октября 1976г.

Ученый секретарь специализированного  
совета, доцент, кандидат технических наук ГРУШЕВСКАЯ Е.А.

64

Актуальность темы. Для успешного решения задач, стоящих перед лесной промышленностью, требуется значительное повышение производительности труда, совершенствование технологических процессов, внедрение высокопроизводительной техники и мероприятий, направленных на максимальное ее использование, применение новых методов управления.

Лесозаготовительной промышленностью эксплуатируются значительные производственные фонды, одновременно наблюдается усложнение лесозаготовительной техники и ее удорожание. В то же время по данным Минлеспрома СССР, используется она недостаточно эффективно. Итоговая производительность основных потоков предприятий значительно ниже производительности входящих в потоки машин. Специфика работ лесозаготовительного оборудования, воздействие на процессы совокупности случайных факторов (характеристики размеров и качества древесины, темпы обработки, надежность машин и др.) делает необходимым для отыскания возможностей повышения степени использования машин исследование функционирования лесозаготовительных систем основного потока с учетом их стохастичности.

Научная новизна работы. Разработаны математические модели функционирования систем, входящих в основные лесозаготовительные потоки, с учетом взаимодействия в них лесоматериалов, оборудования, стохастичности процессов и надежности оборудования, отличающиеся от известных более широким охватом взаимодействующих факторов. Получены новые аналитические расчетные формулы по определению параметров емкостей (запасов), прироста производительности, вероятностей сост. машин, удобные для практики инженерных расчетов. Впервые получены практические результаты статистического моделирования на ЭВМ. Разработан обобщенный алгоритм. Исследованы необходимость и эффективность гибких связей между машинами, обоснованы новые принципы компо. и оборудования в потоках.

4271 ар

Практическая ценность. Использование при проектировании и эксплуатации рекомендаций и расчетных методов способствует значительному росту пропускной способности основных лесозаготовительных потоков (на 10-35 %) без существенных дополнительных капиталовложений. Применение методики и программ статистического моделирования дает возможность решать проектные задачи при анализе многих вариантов без капитальных затрат на их опытное строительство. Материалы диссертации расширяют возможности теории лесозаготовок и полезны при обучении студентов.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и получали положительную оценку на Всесоюзном семинаре по оптимальному управлению в лесной промышленности (г.Москва, 1975г.), научно-технической конференции аспирантов и молодых специалистов лесной промышленности (г.Химки, 1975г.), Всесоюзной конференции по применению математических методов и ЭВМ в научных исследованиях в лесной промышленности (г.Москва, 1976г.), научно-технической конференции по передовой технике, технологии и организации труда на лесосплаве (г.Ленинград, 1976г.), научно-технических конференциях БТИ им.С.М.Кирова (1973-1976гг.).

Публикация. По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав основного текста, выводов и рекомендаций на 162 страницах машинописного текста, включая рисунки, с приложениями на 20 страницах. Диссертация содержит 46 рисунков, 11 таблиц, а также результаты внедрения рекомендаций в Бобруйском ОЛПХ и СибТИ.

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследованию вероятностной природы лесозаготовительных процессов и установлении на этой основе эффективных условий работы оборудования посвящены работы докт. технических наук Д.К.Воеводи, В.И.Алябьева, И.В.Батина, Г.А.Вильке, Б.Г.Залегаллера, канд. технических наук Ю.Н.Венценосцева, Д.И.Лудика, Н.Ф.Ковалева, Ю.В.Лебедева, А.К.Редькина и др. Подверглись рассмотрению следующие проблемы:

1. Установление типов распределений случайных величин для процессов обработки деревьев, хлыстов и др. на лесозаготовительном оборудовании, а также характеристик потоков предметов труда поступающих на обработку.

2. Использование аппарата теории массового обслуживания и надежности для анализа работы оборудования, а так же вопросы проектирования лесозаготовительных систем и потоков.

За рубежом разработкой рациональных структур и управляющих решений при эксплуатации лесозаготовительного оборудования от-дельно на лесосечных работах занимались в Принстоне (США), а так же Канадская Служба леса. Анализиремые процессы имитировались на ЭВМ с целью получения оптимальных решений в отношении выбора оборудования и технологии работ сопоставлением различных вариантов.

Однако сложность и многогранность проблемы требует дальнейшего развития ряда вопросов.

Изучение потребностей лесозаготовительного производства, отечественной и зарубежной литературы позволило сформулировать следующие задачи исследования:

1. Разработать математические модели функционирования лесозаготовительных систем (трелевки, обрезки сучьев, погрузки, раскряжевки, сортировки) с получением характеристик работы механиз-

мов для определения условий максимальной загрузки оборудования, включая организацию его использования.

2. Определить характер вероятностных закономерностей потоков деревьев, хлыстов и др., длительностей их обработки для различного оборудования с одновременным исследованием характеристик потоков отказов механизмов.

3. Разработать моделирующие алгоритмы для основных лесозаготовительных систем и осуществить статистическое моделирование их работы на ЭВМ. Установить типы и размеры рациональных запасов древесины и емкостей между механизмами, выполняющими отдельные операции в потоке.

4. Определить эффективные в отношении производительности принципы построения технологического потока лесозаготовок с учетом стохастичности большинства характеристик работы машин.

5. Исследовать влияние характера распределений случайных величин в лесозаготовительных процессах на работу технологических потоков и их взаимодействие. Оценить степень неопределенности при назначении вероятности расчетных показателей.

Для решения этих задач применены аналитические методы теории исследования операций, надежности, статистическое моделирование работы лесозаготовительных систем на ЭВМ и проведено исследование функционирования реальных систем в лесопрохозах.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ основных технологических потоков и отдельных систем, входящих в них, позволил установить возможность их общей схематизации и аналитического описания.

- . Общими закономерностями для рассматриваемых систем являются:
- многократное повторение операций обработки предметов тру-

да, имеющих статистические характеристики;

- элементы случайности в поступлении деревьев, хлыстов и др. и случайная длительность цикла обработки каждого из них;

- стохастичность отказов и продолжительностей восстановления работоспособности оборудования;

- конечное число состояний лесозаготовительных систем.

Для анализа были выделены следующие системы:

а) с единичным поступлением и обработкой предметов труда (раскряжевка, сортировка и др.);

б) с единичным поступлением и обработкой пачек предметов труда (трелевка, штабелевка и др.);

в) с пачковым поступлением предметов труда и единичной обработкой (механизированная обрезка сучьев на базе СМ-2, "Луч-2", ПСЛ-2 и др.);

г) поступление и обработка пачками предметов труда нефиксированного объема (погрузка деревьев на лесовозные автопоезда погрузчиками ПЛ-1, П-19, ПЛ-2, П-2).

Каждая из систем описывалась индивидуальным алгоритмом и представлялась в виде схемы состояний, в которых может пребывать механизм, осуществляющий обработку, во взаимодействии с поступающими предметами труда. Для схем состояний из систем дифференциальных уравнений получены аналитические выражения по определению значений вероятностей нахождения механизмов (трелевочного трактора, СМ-2, "Луч-2", лесопогрузчика, раскряжевочной установки, сортировочного лесотранспортера) в состояниях: работающем, простаивающем, неисправном и др.

Например, для процесса раскряжевки хлыстов система уравнений состояний имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = \mu_{10}P_{10}(t) + \mu_{12}P_{12}(t) - (\lambda_{10} + \lambda_2)P_0(t), \\ \frac{dP_{10}(t)}{dt} = \lambda_{10}P_0(t) - \mu_{10}P_{10}(t), \\ \frac{dP_{12}(t)}{dt} = \lambda_{12}P_2(t) - \mu_{12}P_{12}(t), \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_2P_0(t) + \mu_{12}P_{12}(t) - (\lambda_{12} + \mu_2)P_2(t); \end{array} \right. \quad (I)$$

$$P_0(t) + P_{10}(t) + P_{12}(t) + P_2(t) = 1.$$

Здесь

$P_0(t)$  - вероятность свободного состояния механизма;

$P_{10}(t)$  - вероятность отказа, наступившего в период свободного состояния;

$P_{12}(t)$  - вероятность отказа, возникшего в момент рабочего цикла;

$P_2(t)$  - вероятность занятости механизма обработкой;

$\lambda_{10}, \lambda_{12}$  - интенсивности отказов механизма в свободном состоянии и в состоянии обработки предметов труда;

$\mu_{10}, \mu_{12}$  - интенсивности восстановления работоспособности механизма для двух видов отказов;

$\lambda_2, \mu_2$  - интенсивности поступления и обработки предметов труда.

Если механизмы рассматриваются в переходный период (начало эксплуатации или опытные испытания), полученные выражения имеют вид:

$$P_{i,j} = c_{i,j} e^{r_1 t} + c_{i,j+1} e^{r_2 t} + \dots + c_{i,j+n} e^{r_n t}, \quad (2)$$

где  $P_{i,j}$  - вероятность состояния механизма;

$c_{i,j}, \dots, c_{i,j+n}$  - постоянные коэффициенты;

$r_1, \dots, r_n$  - корни характеристического уравнения;

$t$  - время;

$e$  - основание натуральных логарифмов.

Так, для систем с единичным поступлением и обработкой (системы раскряжки, сортировки) характеристическое уравнение пред-

ставилось следующим выражением:

$$\Delta = \begin{vmatrix} [(\lambda_{10} + \lambda_2) - r] & \mu_{10} & 0 & \mu_2 \\ \lambda_{10} & [(-\mu_{10}) - r] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & [(-\mu_{12}) - r] & \lambda_{12} \\ 0 & 0 & \mu_{12} & [(\lambda_{12} + \mu_2) - r] \end{vmatrix} = 0$$

В случае установившегося режима работы, в котором функционируют лесозаготовительные системы, выражения для  $P_{i,j}$  не содержат временной компоненты  $t$ .

Так, например, для системы механизированной обрезки сучьев

(СМ-2, "Луч-2"), получены следующие формулы:

- вероятность занятости СМ-2, "Луч-2", обрезкой сучьев:

$$P_p = \frac{n \lambda_2 \mu_1}{n \lambda_2 (\lambda_1 + \mu_1) + \mu_1 (\lambda_2 + \mu_2)} ; \quad (3)$$

- вероятность неисправного состояния механизма:

$$P_{II} = \frac{n \lambda_1 \lambda_2}{n \lambda_2 (\lambda_1 + \mu_1) + \mu_1 (\lambda_2 + \mu_2)} , \quad (4)$$

где  $\lambda_1, \mu_1$  - интенсивности отказов и восстановлений машин;

$\lambda_2, \mu_2$  - интенсивность поступления пачек деревьев объемом  $n$  штук и интенсивность обработки одного дерева.

Для систем поштучной раскряжевки и сертировки лесоматериалов выражения  $P_p$  и  $P_{II}$  определены в виде

$$P_p = \frac{\lambda_2 \mu_{10} \mu_{12}}{\mu_{10} \mu_{12} (\lambda_2 + \mu_2) + \lambda_{10} \mu_{12} \mu_2 + \lambda_{12} \lambda_2 \mu_{10}} \quad (5)$$

$$P_{II} = \frac{\lambda_{10} \mu_{12} \mu_2 + \lambda_{12} \lambda_2 \mu_{10}}{\mu_{10} \mu_{12} (\lambda_2 + \mu_2) + \lambda_{10} \mu_{12} \mu_2 + \lambda_{12} \lambda_2 \mu_{10}} \quad (6)$$

Аналогичные зависимости получены и для остальных рассматриваемых систем. Учитывая, что на производительность лесозаготовительного оборудования оказывает влияние ряд регулярных и случайных факторов, она не является постоянной и имеет колебания отно-

лительно средних значений. На основании систем дифференциальных уравнений (вида I), описывающих состояния механизмов, получено выражение для определения производительности машины с учетом неоднородности дерева, как предмета труда, случайности поступления его на обработку и надежности машины при жесткой связи между механизмами в потоке:

$$\Pi = \frac{\lambda_2^2 \mu_{10} \mu_{12}}{\mu_{10} \mu_{12} (\lambda_2 + \mu_2) + \lambda_{10} \mu_{12} \mu_2 + \lambda_{12} \lambda_2 \mu_{10}} \quad (7)$$

Анализ выражений (I - 7) и исследования проведенные на реальных системах в лесозаготовительных предприятиях, показали, что наиболее эффективна работа систем с глубокими и полугибкими связями. Последние имеют место при ограниченных запасах и емкостях.

Применительно к реально действующим лесозаготовительным системам нами рассматривались два варианта запасов (емкостей):

- запасы (емкости) предназначены для предотвращения простоев, возможных при отказах смежного механизма;

- запасы (емкости) создающие возможность устранить простои из-за отказов смежного механизма и, кроме того, обеспечивающие наиболее полную загрузку рассматриваемого механизма в виду имеющихся колебаний в интенсивности поступления сырья и его неоднородности.

С использованием полученных формул вероятностей состояний выведены выражения для определения размеров запасов (емкостей) соответственно двум вариантам:

$$m_1 = \frac{\lambda_2 (\lambda_{10} \mu_{12} \mu_2 + \lambda_{12} \lambda_2 \mu_{10}) T_2}{\mu_{10} \mu_{12} (\lambda_2 + \mu_2) + \lambda_{10} \mu_{12} \mu_2 + \lambda_{12} \lambda_2 \mu_{10}} \quad (8)$$

$$m_2 = \frac{[\mu_{10} \mu_{12} \mu_2 T_2 + (\lambda_{10} \mu_{12} \mu_2 + \lambda_{12} \lambda_2 \mu_{10}) T_1] \lambda_2}{\mu_{10} \mu_{12} (\lambda_2 + \mu_2) + \lambda_{10} \mu_{12} \mu_2 + \lambda_{12} \lambda_2 \mu_{10}} \quad (9)$$

Здесь,  $T_1$  - длительность простоя механизма в результате отказа;

$T_2$  - длительность простоя, вызванного нехваткой предметов труда.

Величины  $T_1$  и  $T_2$  определяются с вероятностью не ниже 0,9. Полученные значения  $M$  определяются вероятностью, с которой принимаются  $T_1$  и  $T_2$ .

В условиях эксплуатации, когда механизму устанавливается плановое задание  $\Pi_{\text{пл}}$  на время  $T_c$ , возможность выполнения  $\Pi_{\text{пл}}$  зависит от совокупности имеющихся факторов и действующих возмущений. На основании анализа схем состояний систем получено выражение для оценки возможности выполнения  $\Pi_{\text{пл}}$  с учетом стохастичности параметров работы:

$$t_{12}^{\text{min}} \geq \frac{\Pi_{\text{пл}} (K_0 \mu_{12} \mu_2 + \lambda_2 \mu_{10})}{\mu_{10} \mu_{12} (\lambda_2 + \mu_2) (\lambda_2 T_c - \Pi_{\text{пл}})} \quad (10)$$

где  $t_{12}^{\text{min}}$  - минимально необходимое время непрерывной работы механизма между отказами в период рабочего цикла для выполнения  $\Pi_{\text{пл}}$ ;

$K_0$  - отношение отказов в рабочем и свободном состояниях механизма ( $K_0 = \frac{\lambda_{10}}{\lambda_{12}} \ll 1$ ).

Допущением при выводе аналитических зависимостей является аппроксимация реальных потоков деревьев, хлыстов, сортиментов, отказов оборудования простейшими. В действующих системах рассматриваемого класса потоки предметов труда строго не являются простейшими, а продолжительности циклов обработки в 12 % случаев описываются экспоненциальными законами распределения. В остальных случаях приемлемы законы Эрланга. Для длительности восстановления работоспособности этот показатель равнялся 30 %. Оценка точности полученных формул проводилась сопоставлением результатов их использования с данными статистического моделирования работы лесозаготовительных систем на ЭВМ "Минск-22". Так, например, вероятности определения искомых параметров ( $M$ ) для раскряковки и сортировки составили соответственно: 0,98 - 1,0; 0,95 - 0,99, с от-

клонениями 0 - 2 % и I - 5 %.

При моделировании использовались законы распределения, имеющие место на практике и установленные исследованием. Применение полученных аналитических выражений правомерно в рассмотренных нами пределах и технологических процессах в связи с тем, что отклонения не более принятых при оценке главных параметров предметов труда.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК

Для получения достаточно надежных результатов исследования наблюдениями были охвачены наиболее типичные технологические процессы в Афанасьевском, Белозерском, Бобруйском, Витебском, Могилевском, Мостовском, Клевском, Красноуфимском, Хандагатайском леспромхозах, а также в Гомельском и Полоцком лесозаготовительных объединениях. Продолжительность наблюдений составила 325 рабочих смен. Нами был решен вопрос автоматизированной обработки статистических данных на ЭВМ "Минск-22". В алгоритме использованы общепринятые методы статистики. При описании опытных распределений использовались законы распределения Вейбулла, Эрланга и экспоненциальный. Проверка согласия проводилась с помощью критериев  $\int_k$  А.Н. Колмогорова и Колмогорова - Смирнова.

Исследования показали, что потоки деревьев, хлыстов на обработку в основном не являются простейшими. Так, 79 % потоков деревьев, поступающих для трелевки, относятся к эрланговским. Для потоков пачек деревьев (хлыстов), трелемых к фронту погрузки, и хлыстов, подающихся на раскряжевку, эти показатели составили соответственно 88 % и 70 %.

Продолжительности формирования пачки трелевочными тракторами, время обработки дерева машинами СМ-2 и "Луч-2", время погрузки

ки лесовозтопоездов, длительности цикла раскряжевки хлыстов распределены по закону Эрланга

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!}$$

для: - трелевочных тракторов в 80 % случаев;

- машин СМ-2 в 87 %;

- лесопогрузчиков ПД-1, П-19, П-2 в 100 %;

- раскряжевочных установок ПЛХ-ЗАС, ЛО-15С в 67 %.

Соответственно, параметр К закона распределения Эрланга изменялся в диапазонах: 4-5; 6-9; 8-16; 7-8.

Потоки отказов исследованного оборудования в 77 % случаев удовлетворительно аппроксимировались простейшими с наличием стационарности, ординарности, отсутствия последствия. Для 23 % потоков отказов распределение времени безотказной работы подчинялось закону Эрланга с параметром  $K = 2$ , причем  $K = 2$  имело место лишь для ПЛХ-ЗАС и сортировочных лесотранспортеров, т.е. оборудования, установленного стационарно и обеспеченного надлежащим профилактическим обслуживанием.

#### СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА Э В М.

Исследование лесозаготовительных процессов при высокой стоимости оборудования и отсутствии возможности для испытаний значительного числа опытных вариантов, а также изучение механизма взаимодействия случайных процессов эффективно проводить моделированием работы систем на ЭВМ со статистическим подходом.

В диссертации моделирование осуществлялось по единому обобщенному алгоритму (рис.1) с введением отличительных признаков для каждого рассматриваемого типа систем. Основные положения моделирования сводились к следующему.

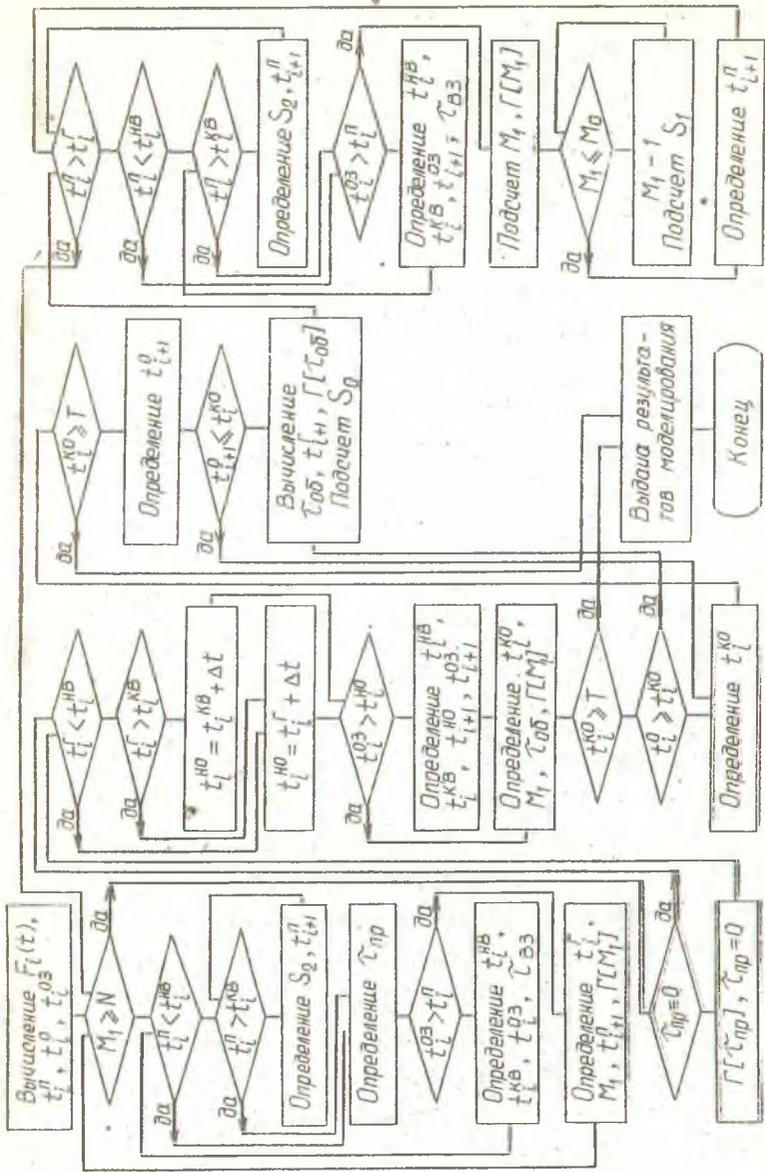


Рис. 1. Схема моделирующего алгоритма.

Обозначения величин в схеме моделирующего алгоритма:

- $F_j(t)$  - функции распределения случайных величин ( $j = 1, 2, \dots, 6$ );
- $t_j^{\text{н}}$  - моменты поступления предметов труда (хлыстов, деревьев);
- $t_j^{\text{об}}$  - моменты наступления отказов механизма;
- $t_j^{\text{кв}}$  - моменты наступления отказов запаса;
- $t_{i+1}^{\text{кв}}$  - моменты начала восстановления;
- $t_{i+1}^{\text{кв}}$  - конец восстановления;
- $t_i^{\text{р}}$  - моменты готовности механизма к обработке;
- $t_i^{\text{н}}$  - моменты начала обработки предметов труда;
- $t_i^{\text{кв}}$  - моменты окончания обработки;
- $\Delta t$  - временная задержка начала операции;
- $T$  - заданное время моделирования;
- $T_{\text{об}}$  - длительность обработки предметов труда (деревьев, хлыстов или их пачек);
- $T_{\text{пр}}$  - длительности простоев из-за отсутствия предметов труда;
- $T_{\text{вз}}$  - длительность восстановления работоспособности запаса;
- $M_0$  - емкость запаса;
- $M_1$  - число предметов труда, находящихся в запасе;
- $N$  - объем обрабатываемой единицы (пачки) предметов труда (деревья, хлысты);
- $S_0$  - число обработанных предметов труда за время  $T$ ;
- $S_1$  - число предметов труда не попавших в запас из-за его заполнения;
- $S_2$  - число предметов труда не попавших в запас из-за его отказов;
- $\Gamma[X]$  - заполнение гистограммы величины  $X$ .

Моделировалась работа системы с потоком деревьев (хлыстов и т.д.), поступающим от предыдущего механизма и выходом обработанных единиц сырья. Производился поиск процесса с максимальной производительностью. Принималось, что система подвержена отказам и задавались имеющиеся запасы (емкости) различного объема. Все процессы при моделировании принимались случайными. Величины, необходимые в ходе моделирования, генерировались по законам Эрланга (экспоненциальному) с соответствующими параметрами, установленными исследованием действующих систем. Использовался следующий вид функции Эрланга:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \left( 1 + \frac{\lambda}{k!} \sum_{i=0}^k \frac{k!}{(i)!} \cdot \frac{t^i}{\lambda^{k-i+1}} \right)$$

Точность моделирования оценивалась, исходя из потребного числа реализаций, вычислением используемого распределения до вероятности  $P = 0,999$  и соответствия результирующей функции распределения обработанных единиц, полученной экспериментально для реальных систем в лесспромхозах. Максимальная ошибка не превышала 1,0 %. Число исследованных вариантов составило 351 при 325,3 тысячах обработанных предметов труда.

Одной из задач явилось определение рациональных размеров запасов и управление ими в системах основного технологического потока.

Установлено, что для системы трелевки запас деревьев, подготавливаемых к трелевке (рис.2) с условием максимальной загрузки трактора, зависит от характера случайных процессов (параметры  $K_i$ ) и объема пачки ( $N_1$ ). Подготовка же только одной пачки порождает простои  $\sum t_{пр}$ :

$$\sum t_{пр} = 18,9 + 0,84 (N_1), \text{ мин.} \quad (II)$$

В системах обрезки сучьев на базе СМ-2, "Луч-2" при наличии эрланговских законов распределения случайных величин потреб-

ный размер запаса деревьев с учетом надежности машин и одновременной работы трелевочных тракторов определяется из зависимости:

$$M = 213,8 - 24,2 \lambda_2 \quad (12)$$

В результате анализа установлено, что потеря производительности СМ-2 при снижении ее надежности до 10 % существенно устраняется стабильностью подачи пачек деревьев и обработки.

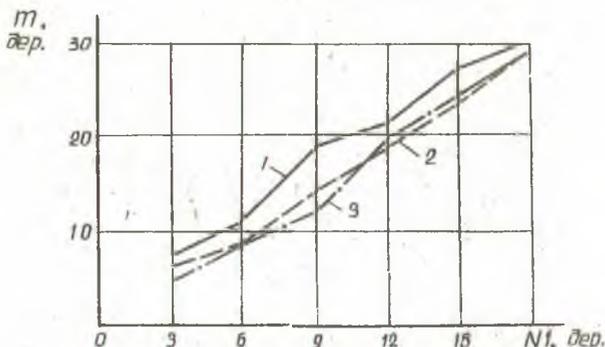


Рис.2. Зависимость числа деревьев  $M$ , подготовливаемых к трелевке, от объема пачки  $N_1$ , определенная с вероятностью  $P=1,0$ . 1 -  $k_1=0$ ; 2 -  $k_3=k_4=4$ ; 3 -  $k_1=k_3=k_4=4$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ).

При моделировании функционирования систем погрузки на основании полученных гистограмм работы запасов  $M$  для практического использования построены зависимости рис.3 или уравнения связи:

$$\begin{aligned} m &= -5,4 \lambda_2 + 45,6; \\ m &= 0,55 \lambda_2^2 - 9,3 \lambda_2 + 47,3; \\ m &= 0,42 \lambda_2^2 - 7,4 \lambda_2 + 39,3; \end{aligned} \quad (13)$$

Сокращение необходимого запаса хлыстов наблюдается при стабильности поступления пачек и упорядочения ремонтов лесопогрузчиков (рост значений параметров  $K_1$  и  $K_4$ ).

Для эффективной работы установок ПСЛ-2 и ПЛХ-ЗАС установленны размеры емкости при изменении параметров оборудования и харак-

теристик случайных процессов. Так, стабилизация подачи хлыстов от ПСЛ-2 (интервалы между поступлениями распределены по закону Эрланга с  $K_1 \geq 2$ ) уменьшает размер емкости до 10 хлыстов.

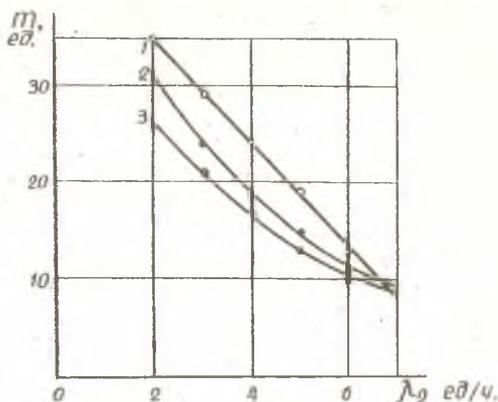


Рис.3. Зависимости размеров запасов деревьев на погрузочном пункте от интенсивности поступления пачек деревьев  $\lambda_2$ . 1 -  $k_1=0$ ; 2 -  $k_1=4$ ,  $k_3=10$ ; 3 -  $k_2=0$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ).

В то же время увеличение потребной емкости до 62 - 70 хлыстов наблюдается при стабилизации цикла раскряжевки и экспоненциальном распределении интервалов между поступлениями хлыстов.

По системе сортировки в процессе моделирования имитировалась работа лесотранспортера с ГСУ со скоростью тягового органа 0,71 м/с для различных длин перемещаемых бревен. На рис.4 приводятся графики зависимостей потребной емкости  $M_E$  между ПЛХ-ЗАС и лесотранспортером с условием максимального использования механизмов.

Величина  $M_E$  существенно уменьшается при стабилизации поступления сортиментов от ПЛХ-ЗАС. В случае снижения надежности лесотранспортера  $M_E$  растет слабее для экспоненциальных законов распределения случайных величин в системе.

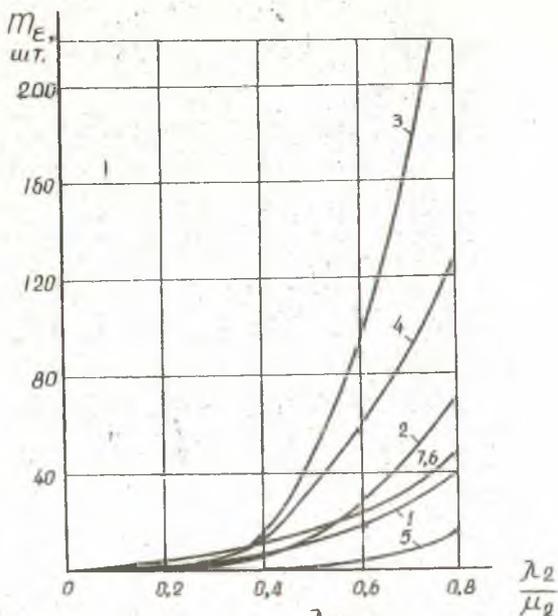


Рис. 4. Зависимости  $M_E$  от  $\frac{\lambda_2}{\mu_2}$  при различных  $k_i$ .  
 1 - все  $k_i=0$ ; 2 -  $k_3=8$ ; 3 -  $k_3=4, k_4=3$ ;  
 4 -  $k_3=8, k_4=3$ ; 5 -  $k_1=4$ ; 6 -  $k_1=k_3=4, k_4=3$ ;  
 7 -  $k_1=4, k_3=8, k_4=3$ .

В процессе моделирования установлено, что для системы ПСЛ-2 — ПЛХ-ЗАС снижение производительности, вызванное ненадежностью буфера составляет 2,4 %. Характер изменения  $\Delta \Pi_{\Pi}$  для системы ПЛХ-ЗАС — лесотранспортер приведен на рис.5. Для данной системы значение  $\Delta \Pi_{\Pi}$  в среднем не превышает 4,5 %, в тоже время рост производительности  $\Delta \Pi$  от внедрения буфера значительно выше, рис.6.

Следовательно, в ряде случаев при технологических расчетах и проектировании можно принимать буферные емкости надежными без опасения искажения результата свыше величин, определяемых точностью измерения исходных данных (например, размеров единиц сырья).

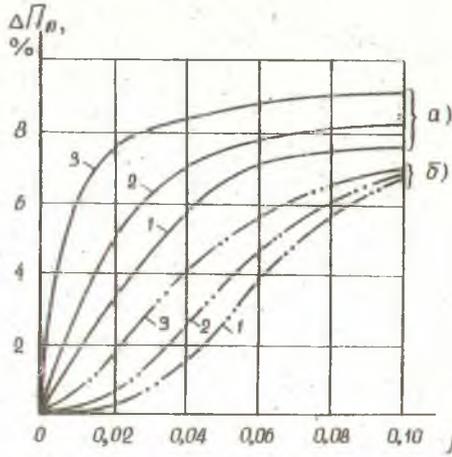


Рис.5. Зависимости потерь производительности  $\Delta \Pi_{\Pi}$  ШХ-ЗАС (а) и лесотранспортера (б) от надежности буфера  $\rho_{1\delta}$ . 1 -  $\rho_2 = 0,4$ ; 2 -  $\rho_2 = 0,6$ ; 3 -  $\rho_2 = 0,8$ .

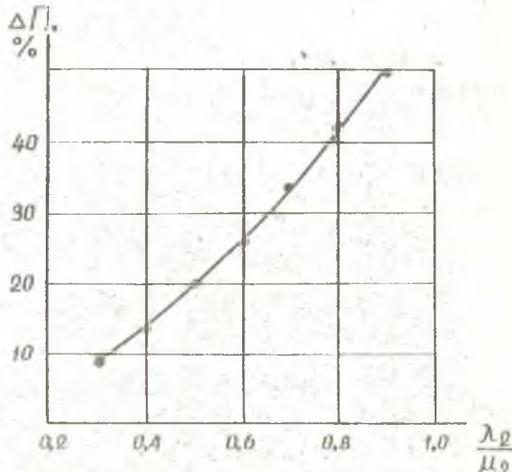


Рис.6. Рост производительности ШХ-ЗАС и лесотранспортера при устройстве буфера необходимой емкости.

Так как при моделировании использовались вероятностные зависимости входных данных, результаты моделирования стохастичны. Была проведена оценка оптимальности определения параметров. Установлено, что рациональными будут являться размеры запасов (емкостей) при определении их с вероятностью не ниже  $P = 0,9$  для  $\frac{\lambda_2}{\mu_2} \geq 0,5$  и не ниже  $P = 0,8$  для  $\frac{\lambda_2}{\mu_2} \geq 0,7$ , т.к. потери производительности составляют не более 5 %.

Лесозаготовительные потоки функционируют таким образом, что моменты начала обработки и наступления отказов распределены во времени случайно; кроме того, результаты моделирования свидетельствуют о значительном влиянии характера случайных величин на нормальную работу оборудования технологических потоков.

Исследование структур компоновки проводилось моделированием работы смежных установок с различными соотношениями производительностей и типами связей. Так, для установок ПСМ-2 и ПЛХ-ЗАС соотношение производительностей  $\frac{\Pi_2}{\Pi_1}$  изменялось в пределах 0,5 - 1,5. Установлено, что итоговая производительность  $\Pi_0$  (раскрыжаванные хлысты) системы ПСМ-2 - ПЛХ-ЗАС имеет минимум при  $\Pi_1 = \Pi_2$ . Изменение  $\Delta \Pi_0$  в зависимости от  $\frac{\Pi_2}{\Pi_1}$  приводится на рис.7 и дает возможность заключить, что рациональной явится компоновка оборудования, при которой  $\Pi_1 \neq \Pi_2$ . Более интенсивный рост производительности, на 4 - 9 %, имеет место в области  $\Pi_2 > \Pi_1$ , т.е. для систем, где последующий механизм имеет большую производительность, чем предыдущий. Это превышение составляет до 20 % от состояния, при котором  $\Pi_1 = \Pi_2$ . Системы с гибкой связью, при подобной компоновке, имеют итоговую производительность на 2,5 - 3,5 % выше, чем с жесткой связью при прочих равных условиях.

Подобные результаты объясняются определяющей ролью предыдущего механизма, как поставщика сырья, и необходимостью выборки запасов (емкостей) последующим механизмом. Эффект от рациональной

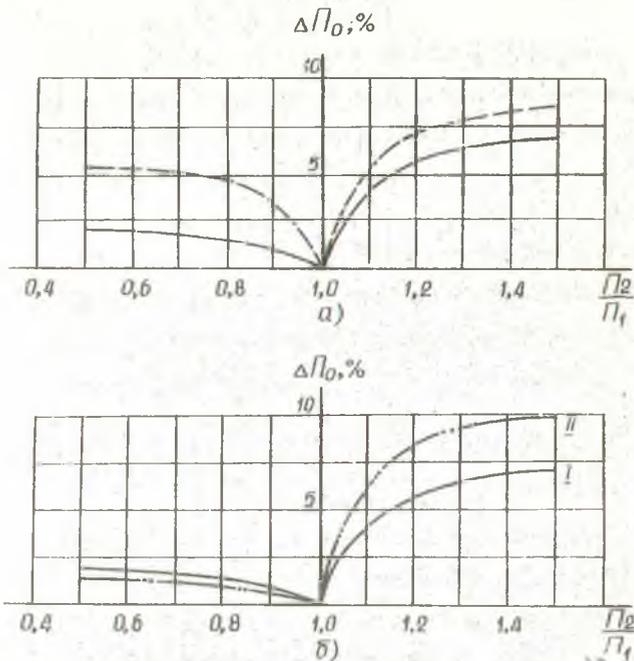


Рис. 7. Рост производительности системы  $\Pi_0$  в зависимости от  $\frac{\Pi_2}{\Pi_1}$  по отношению к  $\frac{\Pi_2}{\Pi_1} = 1.0$ .  
 I - для жесткой связи между механизмами ( а );  
 II - для гибкой связи ( б ); I - все  $k_i = 0$ ; 2 -  $k_3 = 8$ .

компоновки усиливается, если обеспечивается большая стабилизация обработки на последующем агрегате. Рост производительности от повышения стабилизации обработки, для приведенных компоновок составил 2 - 3,5 %.

#### ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. При анализе функционирования лесозаготовительных процессов и систем допустимо использование математического аппарата марковских процессов. Эффективно исследование работы лесозагото-

вительных систем методом статистического моделирования на ЭВМ с применением полученного нами комплексного обобщенного алгоритма.

2. Степень использования оборудования повышается при работе с рациональными запасами (емкостями); для определения их размеров получены расчетные формулы.

3. Разработана методика и программа статистического моделирования работы рассматриваемого класса лесозаготовительных систем. Появляется возможность исследовать функционирование их на стадии проектирования и реконструкции без создания опытных образцов.

4. Размеры запасов и емкостей определены методом статистического моделирования для лесозаготовительных процессов с учетом взаимозависимости переменных величин.

5. Снижение потребных размеров запасов и емкостей имеет место при стабилизации поступления деревьев (хлыстов и т.д.) на обработку и уменьшении дисперсии длительности восстановления работоспособности механизмов.

6. Емкости, представленные механизмами, ввиду отказов снижают производительность основного оборудования относительно применения абсолютно надежных на 2 - 4,5 %. В аналитических расчетах допустимо принимать емкость безотказной.

7. Для исследованных систем размеры запасов (емкостей) следует устанавливать с вероятностью не ниже 0,9 при степени загрузки оборудования 0,5 и выше. Аналитические формулы, полученные в диссертации, позволяют определять указанные параметры с вероятностью 0,80 - 0,99 при простейших потоках предметов труда и отказов и с вероятностью 0,95 - 0,99 для случаев, когда циклы обработки, восстановления и интервалы между поступлениями деревьев на обработку распределены по законам Эрланга.

8. При учете вероятностной природы лесозаготовительных процессов эффективной является структура технологического потока, у которой последующий механизм имеет большую производительность, чем предыдущий, т.е.

$$\Pi_1 < \Pi_2 < \Pi_3 < \dots < \Pi_n$$

Одновременно следует обеспечить более высокую стабилизацию обработки на каждом последующем механизме. При этом, превышение производительности последующего механизма над предыдущим, с учетом коэффициента технической готовности, должно быть не более 20 %, что выполнимо при относительно малом числе механизмов в потоке.

9. Разработана программа автоматизированной обработки данных с поиском согласия по теоретическим законам распределения Вейбулла, Эрланга, экспоненциальному и производных от них, позволяющая анализировать значительные объемы информации.

10. Внедрение рациональных структур, запасов, емкостей позволяет осуществить эффективное использование механизмов и технологических потоков и, как показывают материалы внедрения рекомендаций в Бобруйском опытном леспромхозе, получить рост производительности от 8,7 % на трелевке до 42 % на раскряжевке хлыстов. Экономический эффект внедрения рекомендаций по Минлеспрому СССР составит около 11 млн. руб. в год.

По основным вопросам диссертации опубликованы следующие печатные работы:

1. Системы с групповым обслуживанием в лесозаготовительном производстве. ИВУЗ "Лесной журнал", № 1, 1974, с.119 - 124.

2. Технологические потоки лесозаготовительного предприятия, как системы массового обслуживания. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", Минск, вып.4, 1974, с.132 - 140.

3. Анализ многофазовой системы лесозаготовительного предприятия. ИВУЗ "Лесной журнал", №6, 1974, с.126 - 130.

4. Определение оптимальных размеров буферных запасов.

ВНИПИЭИлеспром, "Лесозэксплуатация", 1974, с.1 - 24.

5. Автоматизированная система прогнозирования показателей.

Сб. "Автоматизированные системы плановых расчетов в республиканских плановых органах", вып. 5, изд. НИИЭМП при Госплане БССР, Минск, 1975, с.156 - 161 (в соавторстве).

6. Вопросы анализа систем массового обслуживания лесозаготовок с учетом надежности механизмов. ИВУЗ "Лесной журнал", № 2, 1975, с.130 - 134.

7. Имитационное моделирование работы лесозаготовительных систем на ЭВМ. Тезисы докладов 5 научно-технической конференции аспирантов, соискателей и молодых специалистов лесной промышленности, ЦНИИМЭ, Химки, 1975, с.14 -16.

8. Анализ лесозаготовительных агрегатов обрабатывающих предметы труда с большим разбросом параметров. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", вып. 5, Минск, 1975, с.92-97, (в соавторстве).

9. Резервы производительности основных потоков нижних складов леспромхозов. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", вып. 5, Минск, 1975, с.98 - 105, (в соавторстве).

10. Оптимизация разделки хлыстов на полуавтоматических линиях. "Лесная промышленность", №11, 1975, с.15-17, (в соавтор.)

11. Поиск возможностей повышения производительности лесозаготовительного оборудования с помощью ЭВМ. Межотраслевая информация "Лесозэксплуатация", 31 - 75.

12. Исследование структуры потоков нижнекладского оборудования. Труды ЦНИИМЭ, 145, 1975, с.124 - 129.

13. Исследование лесозаготовительных систем с простейшими процессами методом статистического моделирования на ЭВМ. ИВУЗ "Лесной журнал", № 6, 1975, с.128 - 133.

14. Ускоренный поиск неисправностей в системах управления полуавтоматических установок ШХ-ЗАС с помощью функциональных циклограмм. БелНИИЛТИ, 1976, с.1 - 13 (в соавторстве).

15. Статистическое моделирование работы лесозаготовительных систем на ЭВМ. ИВУЗ "Лесной журнал", № 1, 1976, с.122 - 126.

16. Основные методические положения по оптимизации лесозаготовительного производства. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", Минск, вып.6, 1976, с.3-8 (в соавторстве).

17. Об имитационном моделировании лесозаготовительных систем на ЭВМ. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт лес Минск, вып.6, 1976, с.8- 15.