

630<sup>x</sup>  
Я 62

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

630<sup>x</sup> 37

На правах рукописи

ЯНКОВСКИЙ ЮРИЙ ВИКТОРОВИЧ

УДК 634.0.37 .

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ  
ПАКЕТИРОВАНИЯ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Специальность 05. 21. 01 – Технология и машины  
лесного хозяйства и лесозаготовок

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 1988

Работа выполнена в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте имени С.М.Кирова ( БТИ )

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| Научный руководитель  | - кандидат технических наук,<br>доцент ЛЕБЕДЬ С. С.                               |
| Официальные оппоненты | - доктор технических наук,<br>профессор ХАРИТОНОВ В.Я.                            |
|                       | - кандидат технических наук,<br>доцент ФЕДОРЕНЧИК А.С.                            |
| Ведущая организация   | - Волжско-Камский научно-<br>исследовательский институт<br>водного лесотранспорта |

Защита состоится I ноября 1988 г. в "14" часов на заседании специализированного совета К.056.01.01 в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте им.С.М.Кирова по адресу: 220630, г.Минск, ул. Свердлова, 13<sup>а</sup>.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им.С.М.Кирова.

Автореферат разослан "26" сентября 1988 г.

Ваши отзывы на автореферат в ДВУХ экземплярах, подписанные и заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 220630, г.Минск, ул. Свердлова, 13<sup>а</sup>, Ученому секретарю.

Ученый секретарь  
специализированного совета

С.П. Трофимов

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ. Решениями XXVII съезда КПСС определено ускорение научно-технического прогресса в качестве коренного вопроса экономической стратегии развития страны. Одним из основных направлений увеличения производительности труда в лесной отрасли на погрузочно-разгрузочных и штабелевочных работах является пакетирование лесоматериалов, которое способствует повышению эффективности использования погрузочных и транспортных средств, комплексной механизации сортировочно-формировочных работ с одновременным улучшением условий безопасности труда, упрощением учета, повышением производительности и культуры производства.

Для обеспечения преимуществ пакетного способа необходимо дальнейшее увеличение темпов развития средств механизации, более широкое исследование процессов формирования пакетов, их механических и геометрических характеристик, а также разработка высокоэффективных методов расчета основных узлов технологических устройств.

Таким образом, практическая потребность отрасли в широком применении пакетирования обуславливает необходимость разработки теоретических основ этого процесса создания эффективных высокопроизводительных технологических потоков, обеспечивающих при помощи пакетоформирующих устройств (ПФУ) механизацию всех операций формирования пакетов, что свидетельствует об актуальности исследуемых вопросов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ - разработка способов и средств механизации процессов пакетирования круглых лесоматериалов, обеспечивающих надежность работы, совмещение ряда операций, уменьшение металло- и энергоемкости и повышение производительности труда и культуры производства.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. Поставленная цель достигалась путем поиска, классификации и последующего анализа не только известных конструкций пакетоформирующих устройств, но и возможных их технических решений, теоретических и экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях. При их выполнении использовались методы математического и физического моделирования. Определение механических и геометрических параметров пачек и пакетов лесоматери-

БИБЛИОТЕКА БТИ  
им. С. М. Кирова

алов в различных технологических условиях, а также расчет основных элементов ПФУ производились на ЭВМ с использованием разработанного и зарегистрированного в ГосФАПе СССР комплекса программных средств.

Экспериментальные исследования проводились на модельной установке в БТИ им. С.М.Кирова и на натурном образце ПФУ в производственных условиях ПЛО "Полоцклес". Основные технико-эксплуатационные и экономические показатели процесса пакетирования и окончательные выводы получены и сформулированы после апробации результатов исследований на ряде лесных складов производственного лесозаготовительного объединения "Полоцклес" Минлеспрома БССР.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Тема диссертации раскрывается научным обоснованием наиболее совершенных способов и средств механизации процессов пакетирования круглых лесоматериалов. Предложены конструктивные решения ПФУ, новизна которых защищена а. с. №1342843, 1370035, и методика определения их технологических и эксплуатационных параметров с учетом размерно-качественных характеристик круглых лесоматериалов. Разработаны математические модели процесса формирования с применением методов имитационного моделирования и осуществлена их проверка на физических моделях.

Получены оптимальные параметры технологических устройств, обеспечивающие надежную их работу при условии снижения затрат энергии на их формирование.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ. На основании результатов исследований разработаны технологические основы механизации процесса формирования пакетов и сортировочно-формировочных работ, осуществлена их реализация в производственных условиях. Рекомендована методика расчета основных параметров пачек или пакетов и рабочих органов устройств. Определены технико-экономические показатели рациональных технологических схем лесных складов и состав оборудования для механизации пакетирования круглых лесоматериалов.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований воплощены в комплексе организационно-технических мероприятий по механизации пакетирования круглых лесоматериалов.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ. Основные результаты исследований ре-

ализованы при разработке новых, высокоэффективных способов и средств формирования пакетов лесоматериалов

Создан и зарегистрирован в Государственном фонде алгоритмов и программ СССР комплекс программных средств "Математическая модель процессов формирования и переформирования пакетов цилиндрических изделий", который используется при разработке конструкций ПФУ и нашел применение в учебном процессе БТИ им. С.М.Кирова.

Разработаны и прошли производственные испытания ПФУ, которые длительно эксплуатируются в сортировочно-формировочных потоках лесных складов.

Экономический эффект, полученный ПЛО "Полоцклес" в результате внедрения ПФУ на одном из лесных складов, составил 6,4 тыс. руб.

АПРОВАЦИЯ РАБОТЫ. Исследования проведены в соответствии с планом научно-исследовательских работ БТИ им. С.М.Кирова и подтверждены результатами экспериментальной проверки в лабораторных и производственных условиях.

Основные результаты исследований были доложены и получили одобрение на Всесоюзной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов АЛТИ в 1984 г., 1 Всесоюзной научно-технической конференции МЛТИ в 1984 г., Всесоюзной научной конференции БТИ в 1985 г., Республиканской научно-технической конференции в г. Минске 1986 г., Краевой конференции в г. Лесосибирске 1987 г., научно-технической конференции БелНИИЛХа в 1984 г., Всесоюзном совещании НТО Минлесбумпрома СССР в г. Архангельске 1985 г., Всесоюзном научно-техническом совещании в г. Петрозаводске 1986 г. и ежегодных научно-технических конференциях БТИ им. С.М.Кирова 1982 - 1987 г.г.

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ, три авторских свидетельства СССР и получено положительное решение ВНИИГПЭ на выдачу а. с.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и рекомендаций, библиографии из 118 наименований и шести приложений. Работа изложена на 117 страницах, в т.ч. основной текст - на 165 страницах машинописного текста, приложения - на 32 стр. и включает 58 рисунков.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе выполнен анализ способов и средств механизации процессов пакетирования круглых лесоматериалов, рассмотрены задачи повышения производительности труда на погрузочно-разгрузочных и штабелечных работах, приведено обоснование вопроса исследований и показана его актуальность.

Анализ работ Алябьева В.И., Борисова М.В., Быхова Е.Н., Вахрушева М.М., Воеводы Д.К., Воробьева В.А., Володенкова Ф.И., Гончаренко Н.Т., Донского И.П., Игнатова В.И., Котельникова Ю.А., Меркина Д.Р., Меттуса К.Я., Реутова Ю.М., Таубера Б.А., Харитоновна В.Я., Щербакова В.А. и других ученых показал, что в основе процесса формирования пачек или пакетов круглых лесоматериалов лежат сложные явления, которые требуют дальнейших целенаправленных исследований.

Для достижения поставленных целей необходимо выполнить комплекс научных исследований и решить следующие задачи:

1. На базе математического моделирования разработать методику расчета геометрических и механических параметров пачек или пакетов лесоматериалов, а также основных элементов ПЭУ.

2. Установить влияние различных факторов на плотность укладки лесоматериалов в накопителях.

3. Исследовать процесс продольного и поперечного формирования пачек и пакетов лесоматериалов и основные параметры рабочих органов ПЭУ.

4. Определить наиболее рациональное выполнение, с точки зрения затрат энергии, рабочих органов ПЭУ.

5. Проверить результаты теоретических исследований на физических моделях.

6. Провести анализ результатов испытаний экспериментальных образцов ПЭУ.

7. Доказать преимущества по основным техническим и технологическим параметрам предложенного устройства над существующими конструкциями.

8. Разработать рациональные технологические схемы размещения устройств в сортировочно-формируемых потоках лесных складов и лесобирж.

9. Дать технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения ПЭУ в производство.

Второй раздел посвящен теоретическим исследованиям процессов пакстирования круглых лесоматериалов. Исходя из анализа существующих методик расчета предложены математические модели на базе имитационного моделирования. Рассматривается взаимодействие дискретно рассредоточенных в механической системе заготовок с заранее заданными геометрическими координатами и определяются механические и геометрические параметры пачек или пакетов, а также усилия, действующие на рабочие органы пакетоограничивающих или формирующих устройств.

Общий алгоритм исследований построен по следующей схеме:

- вводятся исходные данные: геометрические и механические характеристики пакетоформирующих элементов и лесоматериалов, а также количество последних;

- определяются случайные геометрические параметры очередного поштучно укладываемого бревна, при которых оно имеет возможность касания двух ранее уложенных, или одного бревна и одной из границ накопителя, а также одновременном касании двух границ накопителя;

- из возможных геометрических положений поперечного сечения укладываемого бревна определяется его реальное расположение в пачке по принципу так называемых "потенциальных ям", т.е. выбирается наименьшее значение ординаты центра поперечного сечения бревна;

- положение очередного бревна считается определенным при выполнении условия его устойчивости;

- проверяется возможность завершения укладки по результатам сравнения высоты накопителя с максимальной ординатой;

- определяются окончательные геометрические параметры пачки лесоматериалов в статическом равновесном состоянии, т.е. с учетом сил взаимодействия, возникающих между контактирующими бревнами и пакетоограничивающими элементами;

- после наложения на пачку обвязочных средств в зависимости от их натяжения исследуется процесс реформирования пакета и определяется коэффициент его формы, подбирается сечение обвязочных средств;

- исследуется зависимость коэффициента полндревесности от геометрических параметров накопителя и лесоматериалов;

- производится определение механических характеристик пачки или пакета лесоматериалов и усилий, необходимых для их

поперечного и продольного формирования рабочими органами раз-  
нообразной конфигурации.

Силы внутреннего взаимодействия бревен и механические  
характеристики пачки или пакета в значительной мере зависят  
от их структуры. Поэтому важным при моделировании является  
установление геометрических параметров механической системы,  
наиболее полно соответствующих натурным.

При поштучном заполнении накопителя бревнами с диаметра-  
ми, распределенными по нормальному закону, определяются коор-  
динаты X и Y их возможного местонахождения при контакте с эле-  
ментами лесонакопителя:

$$X_i = R_i E(K_{1i,m}) + (L - R_i) E(K_{2i,m}) - [X_m + \sqrt{B^2 - (Y_m - R_i)^2}] E(K_{3i,m}); \quad (1)$$

$$Y_i = (Y_m + \sqrt{B^2 - a^2}) E(K_{1i,m}) + [Y_m - \sqrt{B^2 - (L - X_m - R_i)^2}] E(K_{2i,m}) + R_i E(K_{3i,m}); \quad (2)$$

где  $E(K_{\alpha i,m})$  - функция Хевисайда, принимающая значения 1, если  $K_{\alpha i,m} \neq 0$ ; или 0, если  $K_{\alpha i,m} = 0$ . При этом аргументы для левой  $K_{1i,m}$ ,  
правой  $K_{2i,m}$  стенок и дна  $K_{3i,m}$  соответственно будут  $K_{1i,m} = X_m - 2R_i - R_m$ ;  
 $K_{2i,m} = X_m - R_m - 2R_i + L$ ;  $K_{3i,m} = Y_m - R_m - 2R_i$ , здесь  $R_i$ ;  $R_m$  - радиусы соответ-  
ствующих бревен;  $L$  - ширина накопительного устройства.

Возможные координаты бревна при его контакте с соседни-  
ми (рис.1) определяются по следующим формулам:

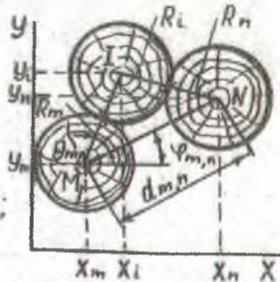
$$X_i = X_m(n) + (R_i + R_m(n)) \cos(\theta_{m(n),n(m)} + \varphi_{m(n),n(m)});$$

$$Y_i = Y_m(n) + (R_i + R_m(n)) \sin(\theta_{m(n),n(m)} + \varphi_{m(n),n(m)}),$$

$$\text{ГДЕ } \theta_{m,n} = \arccos \left[ \frac{d_{m,n}^2 - (R_i + R_n)^2 + (R_i + R_m)^2}{2 d_{m,n} (R_i + R_m)} \right];$$

$$\varphi_{m,n} = \arctg \left( \frac{Y_n - Y_m}{X_n - X_m} \right);$$

$$d_{m,n} = \sqrt{(X_n - X_m)^2 - (Y_n - Y_m)^2}. \quad \text{Рис.1. Схема возможного рас-}$$



В результате вычислений, после перебора всех индексов, из  
возможных координат выбираются реальные значения при условии  
нахождения центра тяжести поперечного сечения бревна между  
нижними точками касания по принципу "потенциальных ям". Усло-  
вием окончания укладки является заполнение накопителя до зад-  
данного объема. Моделируя укладку основных типоразмеров сор-

тиментов и вычисляя коэффициент полндревесности пачки, делается вывод о плотности заполнения габарита, которая зависит от отношения  $D_{max} D_{cp}$ . Так для моделей хвойного баланса с  $D_{cp}=0,014$ м и  $\sigma=0,0028$ м -  $K_{п}=0,8$ ; для пиловочки хвойного с  $D_{cp}=0,02$ м и  $\sigma=0,0046$ м -  $K_{п}=0,78$ ; для спичечного кряжа с  $D_{cp}=0,025$ м и  $\sigma=0,005$ м -  $K_{п}=0,76$ .

Статическое равновесное состояние пакета определяется с учетом геометрических параметров и сил взаимодействия бревен между собой и с пакетограничивающими элементами. При этом силами трения в первом приближении можно пренебречь, так как у натуральных бревен диапазон изменения величины коэффициента статического сопротивления весьма велик, а для окоренных образцов, смоченных водой, он имеет минимальную величину. Условие равновесия каждого бревна с учетом перемещения центров тяжести на величину  $\bar{z}_i \rightarrow \bar{z}_i + \delta \bar{z}_i$  записывается:

$$RS_i(z_j) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial RS_i}{\partial z_j} \delta \bar{z}_j = RS(z_i + \delta z_i) = 0, \quad (3)$$

где  $n$  - количество бревен в пакете.

Проекции сил  $RS_{ix}$  и  $RS_{iy}$  на оси  $X$  и  $Y$  определяются:

$$RS_{ix} = -E(X_i + R_i - L)C_i(X_i + R_i - L) - C_i E(R_i - X_i) - C \sum_{j=1}^n \Delta_{i,j} E(\Delta_{i,j}) \frac{X_i - X_j}{a_{i,j}}; \quad (4)$$

$$RS_{iy} = -C_i E(R_i - Y_i)(Y_i - R_i) - G_i - C \sum_{j=1}^n E(\Delta_{i,j}) \Delta_{i,j} \frac{Y_i - Y_j}{a_{i,j}}; \quad (5)$$

где  $\Delta_{i,j} = d_{i,j} + R_i + R_j$  - величина перекрытия или сближения бревен,  $G_i$  - вес бревна,  $C$  и  $C_i$  - соответственно коэффициенты жесткости древесины и материала пакетограничивающих элементов.

Решение выполняется методом итераций Гаусса с номером приближения  $K$ , которому соответствует  $\bar{z}_i^{(K)}$  при новом значении  $\bar{z}_i^{(K+1)} = \bar{z}_i^{(K)} + \delta \bar{z}_i^{(K)}$ . При этом  $\delta \bar{z}_i^{(K)}$  определяется из условия:

$$\sum_{j=1}^n \frac{\partial RS_i(z_1^{(K)}, \dots, z_n^{(K)})}{\partial z_j} \delta \bar{z}_j^{(K)} = -RS_i(z_1^{(K)}, \dots, z_n^{(K)}). \quad (6)$$

Члены найденного при помощи стандартной подпрограммы "BELG" одномерного массива равны значениям приращения  $\delta x$  и  $\delta y$  координат по осям  $X$  и  $Y$ . Смещение бревен производится в направлении действия сил до момента установления статического равновесного состояния в пачке или пакете.

При нахождении пакета в лесонакопителе или ПФУ и отвода формирующего щита происходит переформирование, сопровождающееся значительным нагружением обвязок. В этом случае силами трения можно пренебречь, что при расчетах приводит к увеличению действующих на обвязки нагрузок, и к повышению надежности обвязочного средства. Основой расчета является тео-

рия упругих деформаций тел в местах контакта, которая позволяет установить величину и характер распределения сил давления в системе и величину сближения бревен, обусловленного деформацией. Суммы проекций этих сил при выполнении условия контакта между элементами системы (рис.2) определяется:

$$SX_i = -\sum_{i=1}^n C \Delta_{i,m} E (\Delta_{i,m}) \cos \alpha_{i,m}; \quad (7)$$

$$SY_i = \sum_{i=1}^n G_i - C \Delta_{i,m} E (\Delta_{i,m}) \sin \alpha_{i,m}; \quad (8)$$

$$SX_i = \sum_{i=1}^n S (\cos \varphi_{2i} - \cos \varphi_{1i}); \quad (9)$$

$$SY_i = \sum_{i=1}^n G_i + S (\sin \varphi_{2i} - \sin \varphi_{1i}), \quad (10)$$

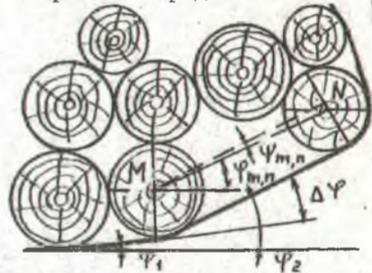


Рис.2. Схема наложения обвязки.

где  $S = \frac{E \cdot F}{DL} (DL - DL_0)$  - сила натяжения обвязки,  $E$  - модуль упругости материала обвязки,  $F$  - площадь поперечного сечения обвязки,  $DL$  и  $DL_0$  - соответственно первоначальная и установившаяся длина обвязки. Если значение потенциальной энергии

$$PU = \sum_{i=1}^n G_i y_i + \sum_{i=1}^n [C(d_{i,m} - R_i - R_m)^2]/4 + [C_1(DL - DL_0)]/2 \quad (11)$$

больше значения первоначальной, то выполняется перерасчет координат с соответствующим уменьшением радиуса  $RSM$  допустимого смещения.

$$XN_i = X_i + \frac{RSM \cdot SX_i}{\sqrt{SX_i^2 + SY_i^2}}; \quad (12) \quad YN_i = Y_i + \frac{RSM \cdot SY_i}{\sqrt{SX_i^2 + SY_i^2}} \quad (13)$$

Условием окончания расчетов будет отсутствие изменений в значениях  $PU$  на определенном интервале. Сравнение полученных зависимостей коэффициента пропорциональности между натяжением в обвязках и весом пакета от коэффициента формы с экспериментальными данными показывает хорошее совпадение значений.

Состояние механической системы - пачки или пакета - зависит от их структуры и характера приложения внутренних и внешних сил, в зависимости от величины и направления которых могут не реализовываться полностью силы трения между бревнами. Это зависит от состояния механической системы и ее структуры. Силы, действующие на рассматриваемое бревно (рис.3) и на ограничивающие не обвязанную пачку элементы, перед началом распродоточения определяются из следующей системы уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} SX_i + N_{1i} \cos \varphi_{1i} + N_{2i} \cos \varphi_{2i} + F_{1i} \sin \varphi_{1i} + F_{2i} \sin \varphi_{2i} &= 0; \\ SY_i + N_{1i} \sin \varphi_{1i} + N_{2i} \sin \varphi_{2i} - F_{1i} \cos \varphi_{1i} - F_{2i} \cos \varphi_{2i} &= 0; \\ M_i + F_{1i} R_i + F_{2i} R_i &= 0. \end{aligned} \right.$$

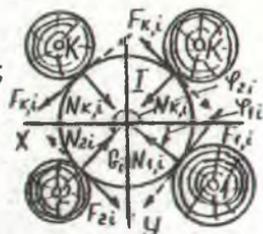


Рис.3. Система сил, действующих на бревно в пачке.

где 1 и 2 - индексы, обозначающие номер контакта на бревне;  $SX_i$ ,  $SY_i$  и  $M_i$  - соответственно суммы проекций действующих на бревно с индексом  $i$  сил и моментов на оси  $X$  и  $Y$ , которые переносятся при определенных ранее значениях сил  $N_{k,i}$  и  $F_{k,i} = \mu N_{k,i}$ ;  $\mu$  - коэффициент сопротивления перемещению в тангенциальном направлении;  $k$  - индекс, обозначающий количество ранее перенесенных на данное бревно сил.  $SX_i = \sum_{k=1}^k N_{k,i} \cos \alpha_{m,n} + F_{k,i} \sin \alpha_{m,n}$ ;  
 $SY_i = \sum_{k=1}^k G_i + N_{k,i} \sin \alpha_{m,n} - F_{k,i} \cos \alpha_{m,n}$ ;  $M_i = \sum_{k=1}^k F_{k,i} R_i$ .

При этом устанавливается, на каком из двух контактов и как полно реализуются силы трения и последовательно определяются неизвестные, которые в дальнейшем переносятся с верхних рядов на нижние. Аналогично производятся вычисления при условии, если сортимент имеет пять или шесть контактов, у двух из которых еще не известны силы.

При формировании пачки путем поперечного сжатия силы трения меняют направление на противоположное рассмотренному выше и внешние силы при этом определяются путем суммирования сил со стороны каждого бревна, контактирующего с рабочими органами.

При продольном формировании пачки или пакета для определения возникающих в рабочих элементах усилий производится поочередное суммирование сил, действующих на выступающие бревна, в порядке их взаимодействия с подвижным щитом.

В процессе поперечного формирования вследствие последовательно протекающего процесса образования и разрушения сводов происходят колебания сил, частота которых зависит от частоты образования сводов и структуры механической системы. Как показали исследования, в результате изменения структу-

ры пачки при уменьшении угла  $\alpha$  расположения бревен, особенно при их одинаковых диаметрах, вероятность образования сводов повышается. Для их разрушения требуется приложение значительных усилий, значения которых зависят от формы рабочих органов. Так при формировании гибкими элементами усилия в 2 + 3 раза меньше, чем при формировании жесткими стойками в прямоугольном накопителе и в 1,5 + 2 раза меньше, чем при формировании в накопителе с наклонной стенкой (рис.4). Ана-

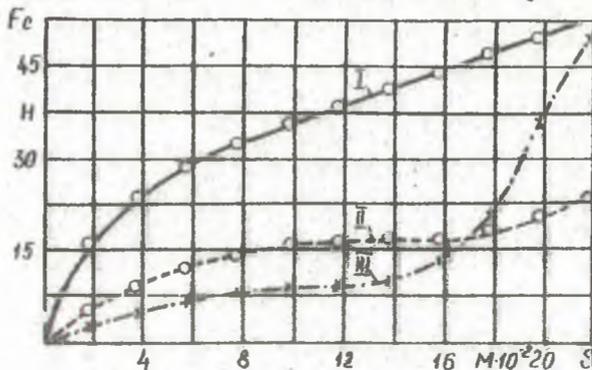


Рис. 4. График зависимости  $Fe = f(S)$  при формировании: I- вертикальными стойками в прямоугольном накопителе; II- гибкими элементами; III- стойками в накопителе с наклонной стенкой.

лиз сглаженных кривых, построенных для модельных бревен, показывает, что наиболее эффективно пакетотформирование рабочими органами в виде гибких элементов. По результатам имитационного моделирования составлен комплекс программных средств, который прошел опытную эксплуатацию, опубликован и зарегистрирован в ГосФАПе СССР.

Третий раздел посвящен исследовательским испытаниям процессов пакетирования в лабораторных условиях.

Решались следующие задачи: проверка результатов теоретических исследований, выявление закономерностей процесса пакетирования круглых лесоматериалов и выработка рекомендаций для практического использования математических моделей при расчетах и проектировании элементов ПФУ.

Исследования проводились в БТИ им. С.М.Кирова на лабораторной установке, выполненной в масштабе 1:10 с применением специальной измерительной аппаратуры. Измерение силы, дей-

ствущей на рабочие органы, производилось путем преобразования электрического сигнала с тензометрического кольца, вмонтированного в трособлочную систему привода формирующих органов, с одновременной регистрацией перемещений при помощи отдельного датчика.

Получены следующие основные результаты:

- проведена оценка влияния на процесс формирования отдельных факторов, характеризующих прочностные, функциональные и качественные характеристики;
- доказана возможность применения в практических расчетах результатов теоретических исследований, выполненных при известных допущениях и ограничениях (интегральная ошибка - 8,5%);
- установлены границы применения полученных математических моделей;
- исследована зависимость сил сжатия пачек от их внутренних структур.

В четвертом разделе изложена методика и результаты исследовательских испытаний в производственных условиях, которые имели своей целью проверку основных результатов теоретических и лабораторных исследований, а также проверку работоспособности всех узлов конструкции и устранение возникающих в процессе работы неисправностей.

Исследования проводились на экспериментальном образце ПФУ, установленном на лесном складе ПЛЮ "Полоцклес", согласно утвержденной программе и методике после соответствующих приемочных испытаний. При этом проводилось определение веса пачки лесоматериалов, качественного и количественного состава сортиментов и максимальных усилий, возникающих в рабочих органах при поперечном и продольном формировании. Полученные данные обрабатывались согласно требованиям ГОСТа при помощи методов математической статистики, в результате чего установлено:

- силы сопротивления, возникающие при продольном формировании пачки в 1,3 + 1,5 раза больше сил ее поперечного формирования и составляют  $0,75 G + 1,0 G$  ( $G$  - вес пачки);
- за счет формирования коэффициент полноравновесности пакетов (пачек) повышается на  $6 + 8\%$ ;
- отмечено хорошее совпадение максимальных значений

- сил сопротивлений формированию модельных и натуральных пачек;
- получена зависимость для определения в условиях производства усилий формирования;
  - наиболее рациональным является выполнение рабочих органов в виде гибких элементов.

Кроме того, показано, что целесообразно выполнять одним устройством такие операции, как продольное и поперечное формирование, а также наложение и замыкание обвязочных средств с одновременным учетом лесоматериалов.

В пятом разделе на основании обзора существующих технологических схем лесных складов с пакетированием лесоматериалов предложена схема с полной механизацией сортировочно-формировочных работ и двухстадийной сортировкой лесоматериалов с обеспечением взаимозаменяемости потоков при окончательном формировании транспортных пакетов посредством ПФУ (а. с. № 1370035) из микропачек основных сортогрупп лесоматериалов. При этом ПФУ обеспечивает выполнение всех операций пакетоформирования: поперечное и продольное сжатие, наложение обвязки и автоматизированный учет при увеличении полндревесности и улучшении качества пакетов.

Технологическая схема, имеющая расчетную сменную производительность  $350 + 400 \text{ м}^3$  при  $V_{\text{хд}} = 0,4 + 0,6 \text{ м}^3$ , рекомендуется для внедрения на реконструируемых или вновь строящихся лесных складах преимущественно при дробности сортировки до 10 сортогрупп. Это позволяет сочетать высокую производительность раскряжевочных установок с высокопроизводительным способом сортировки лесоматериалов и механизированным формированием и учетом транспортных пакетов.

Расчет экономической эффективности ПФУ выполнен с учетом фактических показателей их использования и составил 6,4 тыс. руб. от одного устройства.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

о. В результате изучения существующих способов и средств механизации процессов пакетирования круглых лесоматериалов, опыта их эксплуатации, а также на основании теоретических и экспериментальных исследований процесса и устройств для формирования пакетов можно сделать следующие выводы:

1. Для механизации процесса пакетирования круглых лесоматериалов

материалов целесообразно рекомендовать разделение операций лесонакопления и пакетоформирования и применение конструкции ПФУ с электромеханическим приводом.

2. Для разработки методики расчета геометрических и механических параметров пачек и пакетов, которая используется при расчетах элементов ПФУ на прочность на стадии их проектирования, рекомендуется применение методов имитационного моделирования, позволяющих варьировать большим количеством факторов и исходных данных с незначительными материальными и физическими затратами.

3. Плотность укладки лесоматериалов в накопителях зависит от отношения максимального диаметра к среднему, причем с увеличением последнего коэффициент полндревесности пачки уменьшается.

4. Для осуществления поперечного сжатия оптимальной с точки зрения затрат энергии является конструкция рабочего органа в виде гибких элементов, позволяющих исключить применение специальных механизмов для разрушения образующихся сводов.

5. Силы сопротивления, действующие при продольном формировании пачки, имеют значения в 1,3 + 1,5 раза большие, чем при поперечном и составляют 0,75 + 1,00 часть веса пачки.

6. Установлено, что коэффициент полндревесности сформированных и обвязанных пакетов на 6 + 8% больше неуплотненных.

7. Установлена целесообразность выполнения одним устройством операций продольного и поперечного формирования, наложения и замыкания обвязочных средств, а также учет лесоматериалов.

8. Применение критериев подобия процессов формирования позволило оценить и сопоставить значения механических параметров, полученных в результате исследовательских испытаний в лабораторных и производственных условиях.

9. Расчет элементов ПФУ различного исполнения с использованием имитационных моделей гарантирует достаточную прочность конструкции и ее высокую эксплуатационную надежность, что подтверждено производственными испытаниями.

10. Исследовано влияние структуры пачки или пакета, количественных и качественных характеристик лесоматериалов, а также геометрических параметров накопителей на характер про-

текания процесса формирования и распределение нагрузок на рабочие органы ПФУ.

11. На основании результатов проведенных исследований разработана техническая документация, изготовлены, внедрены в производство и успешно эксплуатируются на лесных складах ПЛО "Полоцклес" образцы ПФУ предложенных конструкций.

12. Разработана технологическая схема лесного склада с использованием ПФУ, позволяющая обеспечить полную и рациональную загрузку всего оборудования с высокой степенью механизации всех операций при условии увеличения производительности труда и улучшении качества пакетов.

13. Применение ПФУ позволяет механизировать тяжелый ручной труд на формировании пакетов, повысить эффективность и производительность сортировочно-формировочных потоков.

14. Экономический эффект от внедрения в производство одной установки составил 6,4 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Моделирование процесса формирования пакетов бревен // Механизация лесоразработок и транспорт леса. Вып.14. -Мн.; Высшая школа, 1984. -С.43-49. В соавторстве с С.С.Лебедем.

2. Исследование формы пакета круглых лесоматериалов на ЭВМ // Механизация лесоразработок и транспорт леса. Вып.14.- Мн.; Высшая школа, 1984. -С.49-56. В соавторстве с С.С.Лебедем.

3. Комплекс программных средств, математическая модель процессов формирования и переформирования пакетов цилиндрических изделий // Алгоритмы и программы. №4. -М., 1985. С.70-71.

4. Моделирование на ЭВМ процессов формирования пакетов лесоматериалов // Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции МЛТИ "Комплексная механизация и автоматизация переместительных операций в лесной и деревообрабатывающей промышленности". М., 1984. -С.161-163. В соавторстве с С.С.Лебедем.

5. Математическое моделирование формы пакета круглых лесоматериалов // Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов "Рациональное использование природных ресурсов Европейского Севера". Архангельск, 1984. -С.63. В соавторстве с И.Е.Зайцевым и М.В.Дроздовским.

6. Аналитические основы процесса пакетирования круглых лесоматериалов // Тезисы докладов научно-технической конференции "Научно-технический прогресс в лесной промышленности и лесном хозяйстве и роль молодых ученых и специалистов в его ускорении". Гомель, 1984. -С.45-47. В соавторстве с С.С.Лебедем и Г.Чултейшеном.

7. Исследование процессов формирования пакетов // Тезисы докладов Всесоюзного совещания НТО Минлесбумпрома СССР по совершенствованию техники и технологии предприятий лесной промышленности и лесного хозяйства. Архангельск, 1985. В соавторстве с С.С.Лебедем.

8. Исследование механических явлений процесса формирования пакетов круглых лесоматериалов // Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции "Комплексное и рациональное использование лесных ресурсов". Мн., 1985. -С.99-100. В соавторстве с С.С.Лебедем и Н.И.Жарковым.

9. Математическое моделирование процесса формирования пакетов цилиндрических изделий // Лесной журнал, №1, 1986. -С.36-40. В соавторстве с С.С.Лебедем.

10. Способы и средства механизации процессов пакетирования круглых лесоматериалов // Депонированные научные работы. ВУ, №10. -М., 1986. -22с.

11. Применение математических моделей для моделирования процессов пакетоформирования круглых лесоматериалов // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания "Повышение эффективности производства в лесной промышленности и лесном хозяйстве на основе АСУ". Петрозаводск, 1986. -С.206-208. В соавторстве с С.С.Лебедем.

12. Комплексная механизация сортировочно-формировочных работ на лесных складах // Тезисы докладов Краевой научно-технической конференции "Вклад ученых и специалистов Лесосибирска в выполнении программы Интенсификация - 90 лесопромышленного комплекса", Лесосибирск, 1987. -С.49-50. В соавторстве с С.С.Лебедем и Е.А.Красяковым.

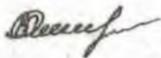
13. Участие молодежи в разработке рациональных способов и средств механизации // Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции "Пути увеличения вклада молодежи в ускорение научно-технического прогресса". Мн., 1986.

14. А.с. №1193340 /СССР/. Устройств шагвого перемеще-

ния. Оpubл. в Б.И., 1985, №43. В соавторстве с С.С.Лебедем, Н.Н.Валиевым и В.В.Игнатчиком.

15. А.с. №1342843 /СССР/. Устройство для торцевания пакета бревен. Оpubл. в Б.И., 1987, №37. В соавторстве с С.С. Лебедем, Н.И.Жарковым, М.В.Дроздовским.

16. А.с. №1370035 /СССР/. Устройство для формирования пакетов круглых лесоматериалов. Оpubл. в Б.И., 1988, №4. В соавторстве с С.С.Лебедем.



Янковский Юрий Викторович

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ

ПАКЕТИРОВАНИЯ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Подписано в печать 19.07.88. АТ13746. Формат 60x84 I/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л. I, I7. Усл. кр.-отт. I, I7. Уч.-изд. л. I.

Тираж 100 экз. Заказ ~~474~~ Бесплатно.

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени  
технологический институт имени С.М.Кирова  
220630. Минск, Свердлова, 13<sup>а</sup>.

Отпечатано на ротапринте Белорусского ордена Трудового  
Красного Знамени технологического института им. С.М.Кирова  
220630. Минск, Свердлова, 13.