

циальных уравнений (1) и (10) близки друг к другу. Таким образом, при большом числе точек закрепления плети предпочтительно использовать для определения поперечных сил дифференциальное уравнение (10), так как в этом случае решение менее трудоемко и имеет достаточно хорошую точность.

Поступила 10 ноября 1989 г.

УДК 539.38 : 629.114.3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ ПАКЕТА ХЛЫСТОВ ПРИ ИЗГИБЕ И КРУЧЕНИИ

Н. И. БИБЛЮК, А. А. БОЙКО

Львовский лесотехнический институт

Статические и динамические исследования связанной системы: пакет хлыстов — транспортное средство требуют предварительного определения момента инерции поперечного сечения пакета хлыстов. Момент инерции реального пакета существенно отличается от момента инерции, определенного как для составной балки сплошного сечения с жесткими связями ее частей, так и для балки при отсутствии связей и трения между ее элементами. Учитывая это, Б. Г. Гастев ввел понятие коэффициента жесткости, позволяющего выразить действительный момент инерции поперечного сечения пакета хлыстов через момент инерции габаритного сечения пакета с жесткими связями между хлыстами [2]. Исследования З. С. Цофина [6] подтвердили выводы Б. Г. Гастева о существовании связи между числом вертикальных рядов и коэффициентом жесткости и показали, что последний мало зависит от таксационных, климатических и технологических факторов. З. С. Цофин предложил зависимость, позволяющую определять действительный момент инерции пакета хлыстов через сумму моментов инерции сечений отдельных хлыстов и коэффициент пропорциональности, равный 1,29...1,36.

Б. Г. Гастев установил коэффициент жесткости как отношение максимального прогиба монолитного пакета хлыстов, вычисленного аналитически, и прогиба пакета таких же габаритных размеров, полученного экспериментально. Прогиб измеряли посередине пролета для пакета постоянного сечения из хлыстов, уложенных комлями в разные стороны. В дальнейшем З. С. Цофин [6], Г. Ф. Храмцов [5] определили коэффициент жесткости пакета хлыстов, уложенных комлями в одну сторону.

Во всех известных нам исследованиях коэффициент жесткости при изгибе рассматривался неизменным по длине пакета, что правильно только для пакетов древесины постоянного сечения и имеющих незначительную длину консолей. Исследования коэффициента жесткости пакета хлыстов при кручении не проводились.

В основу предлагаемого метода определения коэффициентов жесткости пакета положено представление о пакете хлыстов как о брусе переменного поперечного сечения, для которого уравнения упругих перемещений по длине можно представить в виде:

при изгибе

$$d^2z/dx^2 = M(x)/[E(x)I_{II}(x)\psi(x)]; \quad (1)$$

при кручении

$$d\beta/dx = M_k/[G(x)I_{PII}(x)\psi_k(x)], \quad (2)$$

где  $z, \beta$  — линейные и угловые перемещения сечений пакета при изгибе и кручении;  
 $M(x), M_k$  — изгибающий и крутящий момент в сечении с абсциссой  $x$ ;  
 $E(x), G(x)$  — модули упругости при изгибе и кручении для сечения с абсциссой  $x$ ;

$$I_{II}(x) = \sum_{i=1}^m I_i(x); \quad I_{PII}(x) = \sum_{i=1}^m I_{Pi}(x);$$

$I_i(x), I_{Pi}(x)$  — осевой и полярный моменты инерции  $i$ -го хлыста на расстоянии  $x$  от комлевого сечения;

$m$  — число хлыстов в пакете;

$\psi(x), \psi_k(x)$  — коэффициенты жесткости при изгибе и кручении, переменные по длине пакета.

Здесь под коэффициентом жесткости подразумевается отношение действительного момента инерции поперечного сечения к сумме моментов инерции отдельных хлыстов, составляющих пакет.

Заменяя по методу [1, 3] уравнения (1) и (2) их конечно-разностными аналогами, приняв, что  $M, M_k, E, G, I_{II}, \psi, \psi_k$  постоянны на участке пакета длиной  $2\Delta x$ , и выполнив некоторые преобразования, получим выражения для определения коэффициентов жесткости  $j$ -го элемента пакета хлыстов:

при изгибе

$$\psi_j = \frac{M_j \Delta x^2}{(\delta_{j-1} + \delta_{j+1}) E_j I_{PIIj}}; \quad (3)$$

при кручении

$$\psi_{kj} = \frac{M_k \Delta x}{3(\beta_{j-1} + \beta_{j+1})} \left( \frac{1}{I_{PII(j-1)}} + \frac{4}{I_{PIIj}} + \frac{1}{I_{PII(j+1)}} \right), \quad (4)$$

где  $j-1, j, j+1$  — переменные индексы, показывающие, что параметр установлен для сечений, расположенных, соответственно, в начале, середине и конце  $j$ -го элемента пакета;

$\delta_{j-1}, \delta_{j+1}$  — линейные смещения крайних сечений элемента пакета относительно его среднего сечения;

$\beta_{j-1}, \beta_{j+1}$  — угловые перемещения крайних сечений элемента.

Определение коэффициентов жесткости  $\psi_j$  и  $\psi_{kj}$  пакета хлыстов с использованием зависимостей (3) и (4) сводится, при известных по длине пакета  $E, G, I_{II}, I_{PII}$ , к нахождению линейных и угловых смещений крайних сечений элемента пакета длиной  $2\Delta x$  при заданной величине, соответственно, изгибающего и крутящего моментов.

Кривизну упругой линии оси пакета, определяемую суммой относительных смещений  $\delta_{j-1}$  и  $\delta_{j+1}$ , рассчитывают как среднее арифметическое измеренных значений кривизны упругой линии двух хлыстов, расположенных посередине высоты пакета в крайних левом и правом рядах. Угловые смещения сечений пакета устанавливаются по угловым перемещениям сечений хлыста, расположенного посередине нижнего ряда.

Для проведения исследований нами изготовлена специальная эстакада с массивными подвижной и неподвижной опорами. Конструкция узлов крепления коников на опорах обеспечивает свободный их поворот в горизонтальной плоскости. В поперечной вертикальной плоскости коники установлены неподвижно, но коник промежуточной опоры

можно расстопорить, что допускает его свободные угловые перемещения относительно оси крена. Такое закрепление коников обеспечивает соответствие экспериментальной установки принятым расчетным схемам загрузки пакета хлыстов.

Изгиб или закручивание пакета хлыстов осуществляли нагрузочным приспособлением, состоящим из лебедки, системы полиспадов, блоков и канатов. Прикладываемое усилие регистрировали динамометром растяжения. Кривизну упругой линии изгиба оси пакета хлыстов и угловые смещения его поперечных сечений при кручении измеряли с помощью специальной рейки [3] и угломера [1].

Исследования выполнены для пакета хлыстов длиной 24...26 м и диаметром на высоте груди 0,24...0,32 м. Хлысты срублены в еловом насаждении Iа класса бонитета и III класса возраста.

При исследовании влияния числа вертикальных рядов в пакете и расстояния между кониками на коэффициент жесткости указанные факторы варьировали в соответствии с матрицей В-плана [4] двухфакторного эксперимента. В качестве отклика принято среднее арифметическое значений коэффициентов жесткости, рассчитанных по формулам (3) и (4) для  $k$  участков пакета хлыстов.

В результате обработки результатов измерений получены уравнения регрессии:  
при изгибе

$$\psi_{\text{ср}} = 1,907 - 0,2108R + 0,1932n + 0,00625R^2 - 0,0573n^2 + 0,003388Rn; \quad (5)$$

при кручении

$$\psi_{\text{кр}} = 0,878 + 0,277n - 0,0017R - 0,0033Rn, \quad (6)$$

где  $n$  — число вертикальных рядов в пакете;

$R$  — расстояние от комлевого сечения до промежуточной опоры, м.

Анализ уравнений (5) и (6) показывает, что в принятых диапазонах варьирования факторов  $n = 2 \dots 4$ ,  $R = 11 \dots 15$  м коэффициенты жесткости пакета существенно зависят от них: увеличиваются при возрастании числа вертикальных рядов  $n$  и уменьшаются с увеличением расстояния между кониками ( $R - 1,0$ ). Степень влияния факторов на коэффициенты жесткости при изгибе и кручении различна.

Изменение коэффициентов жесткости по длине пакета хлыстов показано на рисунке. Как видно из кривых, значения коэффициентов существенно изменяются по длине пакета, возрастая до максимума над промежуточной опорой и уменьшаясь до минимума в вершинной части.

Представленные на рисунке кривые, с учетом зависимостей (5) и (6), аппроксимированы выражениями:

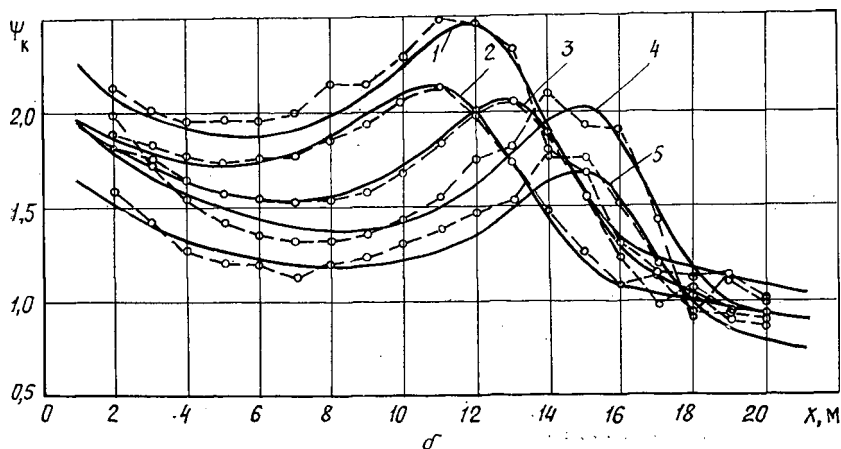
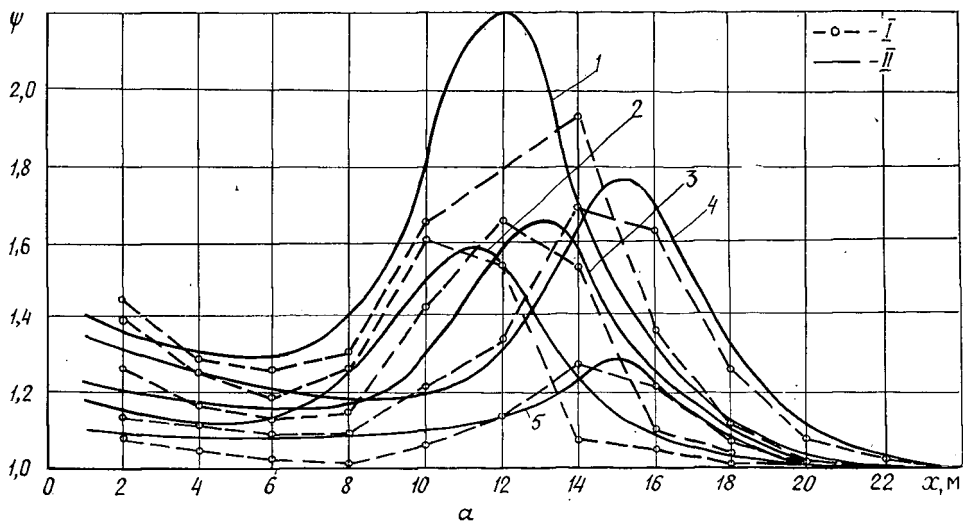
при изгибе

$$\psi(x) = 1 + (\psi_{\text{ср}} - 1) \{1 - x/L + (5,75 - 0,17R - 0,3n) \times \exp[-0,122(x - R)^2]\}; \quad (7)$$

при кручении

$$\psi_{\text{кр}}(x) = \psi_{\text{кр}} \{1 - 0,5x/L + (0,5 - 0,00273n + 0,104R/L + 0,076Rn/L) \exp[(0,0038R/L - 0,0034)(R - x)^2] \times \times (x^2(1 - C/R) + (x - 1)L/R)\}; \quad (8)$$

где  $x$  — расстояние от комлевого сечения до расчетного, м;  
 $L$  — длина пакета хлыстов, м;



Изменение коэффициента жесткости по длине пакета хлыстов:  $a$  — при изгибе;  $b$  — при кручении;  $I$  — усредненные экспериментальные кривые;  $II$  — аппроксимирующие кривые; 1 — число вертикальных рядов  $n = 4$ ; расстояние между опорами  $l_0 = 11$  м; 2 —  $n = 3$ ;  $l_0 = 10$  м; 3 —  $n = 3$ ;  $l_0 = 12$  м; 4 —  $n = 3$ ;  $l_0 = 14$  м; 5 —  $n = 2$ ;  $l_0 = 14$  м

$C$  — расстояние от комлевого сечения до центра тяжести пакета, м.

Средняя (максимальная) относительная ошибка аппроксимации экспериментальных кривых формулами (7) и (8) составляет, соответственно, 3 (13) и 5 (18) %.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бойко А. А., Библюк Н. И., Мирецкий И. Л. Определение модуля упругости древесины хлыстов при кручении // Лесн. журн.—1981.— № 5.— С. 59—63.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Гастев Б. Г., Мельников В. И. Основы динамики подвижного состава.—М.: Лесн. пром-сть, 1967.—220 с. [3]. Определение модуля упругости при изгибе хлыстов без нарушения их целостности / Н. И. Библюк, В. Н. Витвицкий, А. А. Бойко и др. // Лесн. журн.—1981.— № 6.— С. 45—50.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Исследование процессов деревообработки.—М.: Лесн. пром-сть, 1984.—232 с. [5]. Храмцов Г. Ф. Исследование силового взаимодействия системы «пакет хлыс-

тов—двухзвенный автопоезд — дорога»: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— Л., 1973.— 20 с. [6]. Цофин З. С. Исследование геометрических и статических характеристик пакетов хлыстов // Вопросы лесотранспорта: Тр. / ЦНИИМЭ.— 1963.— Вып. 42.— С. 67—84.

Поступила 15 мая 1989 г.

УДК 630\*377

## О НАПРАВЛЕНИЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Б. А. ИЛЬИН

Ленинградская лесотехническая академия

В ЦНИИМЭ в последние годы ведется работа по созданию перспективных лесовозных автопоездов и испытанию их опытных образцов. Результаты этой работы обобщены в «Типаже специализированных транспортных средств для лесозаготовительной промышленности до 2000 года», который, после утверждения Минлеспромом СССР, будет основным документом, определяющим развитие автомобильного лесотранспорта в перспективном периоде.

Хотя «Типаж» подготовлен без указаний конкретных марок автомобилей, однако достаточно подробные их технические характеристики и схемы (рис. 1), а также обоснования и данные, приведенные в работе [2], позволяют без труда установить, о каких автомобилях и прицепном составе идет речь.

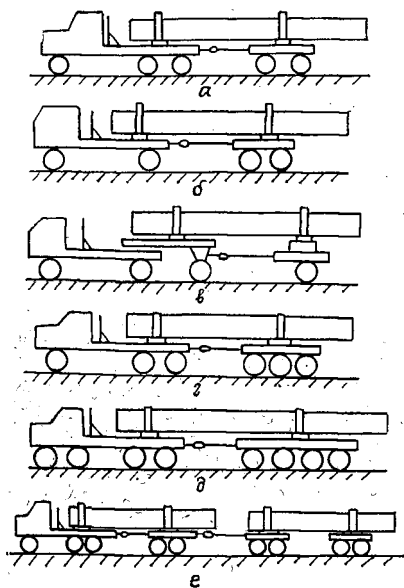


Рис. 1. Схемы основных видов лесовозных автопоездов, предложенных ЦНИИМЭ до 2000 г.

дут работать десять типов автопоездов для вывозки хлыстов (дереьев), четыре типа — для сортиментов и три — для технологической щепы.

Недавно ученые ЛТА имели возможность ознакомиться с «Типажом» и его обоснованием. Оценка представленных материалов оказалась неоднозначной. Ряд предложений ЦНИИМЭ представляется весьма спорным. В связи с этим необходимо, чтобы документ, во многом определяющий успех работы предприятий отрасли в ближайшие годы, был вынесен на широкое обсуждение в печати до его утверждения.

Гласность в данном случае весьма уместна и позволит избежать ошибок, допущенных Минлеспромом СССР в прошлом, например с широким внедрением на лесозаготовках лесовозных автопоездов типов МАЗ-501 (509) или КрАЗ-255Л, имеющих крупные и общепризнанные недостатки. Решение по этому вопросу тогда принималось в «кабинетном» порядке.

Согласно «Типажу», на лесовозных дорогах отрасли к 2000 г. бу-