

634.981

B-16

Министерство высшего и среднего специального
образования БССР
БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени С. М. КИРОВА

Аспирант Ю. И. ВАЛЬКОВ

630⁰⁴ 348.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВАЮЩЕГО
ПУЧКА БРЕВЕН**

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

БИБЛИОТЕКА БТИ
имени С. М. КИРОВА

Минск
1967 г.

634.981
В-16

Министерство высшего и среднего специального
образования БССР
БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени С. М. КИРОВА

Аспирант Ю. И. ВАЛЬКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВАЮЩЕГО
ПУЧКА БРЕВЕН

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

1880/2 49

Научный руководитель
профессор Г. А. МАНУХИН

Минск
1967

Работа выполнена на кафедре водного транспорта леса Архангельского лесотехнического института.

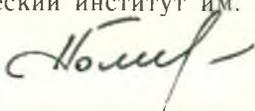
Экспериментальные исследования проведены на Керчевском и Шипицынском рейдах и в лаборатории института.

Автореферат разослан 20 апреля 1967 г.

Защита состоится 24 мая 1967 г.

Отзыв просим прислать по адресу: г. Минск, ул. Свердлова, 13, Белорусский технологический институт им. С. М. Кирова.

Ученый секретарь совета



ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране широко распространен сплав леса в плотях, составленных из пучков. Одним из основных транспортных качеств плота является достаточная прочность его, в значительной мере определяемая прочностью составляющих его пучков; прочность же пучков зависит прежде всего от их формы.

О форме пучка единого мнения в лесосплавной науке нет. Одни считают форму поперечного сечения пучка эллипсом, другие — овалом, третьи — что обвязка пучка принимает форму гибкой нити под гидростатической нагрузкой.

Еще больше мнений известно по вопросу определения усилий в обвязках пучка. Разные авторы, исходявшие из различных положений, получили большое количество уравнений. И если определить по ним усилия в обвязках одного и того же пучка, то получатся заметно различающиеся значения.

Изучением пучка занимались многие исследователи. Широко известны работы Н. Н. Калихевича, Г. М. Черкасова, А. Л. Можевитинова, А. Г. Воробьева и других, однако, до настоящего времени общепринятой теории расчета плавающего на воде пучка бревен не имеется.

Недостаточно освещен в лесосплавной литературе вопрос образования пучков заданной формы.

В диссертации изложены результаты исследований автора по экспериментальной проверке правильности распространенных положений по расчету пучков и выбору наиболее точно подтверждаемой опытными данными теории, а также по деформации пучков при выходе из сплоточной машины.

Первая глава диссертации посвящена обзору и анализу важнейших работ по исследуемому вопросу. В ней рассмотрены работы Н. Н. Калихевича, Г. М. Черкасова, А. Л. Можевитинова, А. Г. Воробьева и ряда других исследователей.

Во второй главе дается графический расчет пучка по эластической теории (причем для получения однозначного решения используются данные опытов).

Третья глава — методика проведения экспериментальных исследований. Здесь же приводится методика обработки материалов наблюдений.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований.

I. ГРАФИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПУЧКА ПО ЭЛАСТИКОВОЙ ТЕОРИИ

В эластической теории в качестве расчетной схемы плавающего на воде пучка принимается эластичный невесомый рукав, заполненный двумя несмешивающимися, несжимаемыми жидкостями. Граница раздела слоев жидкостей — горизонт воды. Удельный вес жидкости верхнего слоя принимается

$$\gamma_1 = \eta\gamma,$$

а жидкости нижнего слоя — $\gamma_2 = \eta(\gamma_b - \gamma)$,
где η — коэффициент полнодревесности пучка,
 γ — объемный вес древесины,
 γ_b — удельный вес воды.

Обвязка пучка представляется состоящей из двух кривых — надводной и подводной. Параметрические уравнения кривой имеют вид:

$$x = \frac{1}{4} Hm \quad (1)$$

$$y = Hq \quad (2)$$

$$m = 2 \left\{ (2 - \sin^2 \Theta) \left[K - F(\Theta, \varphi) \right] - 2 \left[E - E(\Theta, \varphi) \right] \right\} \quad (3)$$

$$q = \sqrt{1 - \sin^2 \Theta \sin^2 \varphi} \quad (4)$$

В этих уравнениях модулярная длина — H и модулярный угол Θ — величины для данной кривой постоянные, а φ — параметр кривой, изменяющийся вдоль дуги ее;

K и $F(\Theta, \varphi)$ — полный и неполный эллиптические интегралы I рода;

E и $E(\Theta, \varphi)$ — полный и неполный эллиптические интегралы II рода.

Из параметрических уравнений кривых и граничных усло-

вий, определяемых условиями сопряжения кривых и условиями плавания пучка, могут быть получены математические выражения для всех характеристик пучка. Так, например:

$$\text{а) длина обвязки } \Pi = H_1 i_1 + H_2 i_2 \quad (5)$$

где:

$$i = \sin^2 \Theta [K - F(\Theta, \varphi)] \quad (6)$$

В уравнении (5) и далее индекс 1 указывает отношение к надводной части кривой, индекс 2 — к подводной;

б) усиление в обвязках

$$T = \frac{1}{8} \eta \gamma L H_1^2 \sin^2 \Theta_1 \quad (7)$$

Здесь L — длина пучка;

в) площадь поперечного сечения

$$f = \frac{1}{2} (n_1 H_1^2 + n_2 H_2^2) \quad (8)$$

где:

$$n = m_c q_c - \sin^2 \Theta \sin 2 \varphi_c \quad (9)$$

Индекс «с» показывает, что значение соответствующей величины берется в точке сопряжения кривых.

Однако во все эти уравнения входят неизвестные величины, а именно:

модулярные длины (H_1 и H_2).

модулярные углы (Θ_1 и Θ_2),

параметры кривых в точке сопряжения их (φ_{1c} и φ_{2c}).

Связь упомянутых величин между собою выражается системой из двух уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{1c} + \varphi_{2c} = 90^\circ \end{array} \right. \quad (10)$$

$$J_1 = \alpha J_2 \quad (11)$$

где:

$$\alpha = \frac{\gamma_b - \gamma}{\gamma} \quad (12)$$

$$J = \frac{q^2 c}{n_c} \quad (13)$$

Приведенная выше система в общем виде не решается. Решение ее возможно только численно или графическим методом. Нами составлены номограммы для графического расчета пучка. При этом введен новый коэффициент формы пучка, тесно связанный с основной навигационной характеристикой его — осадкой:

$$C' = \frac{B}{t} \quad (14)$$

где B — ширина пучка, t — осадка.

Связь коэффициента формы с соотношением осей пучка выражается уравнением

$$C' = (\alpha + 1) C \quad (15)$$

Для получения однозначного решения графическим способом использовались результаты экспериментальных исследований, из которых получен график для определения характеристик подводной части пучка — φ_{2c} и θ_2 , см. рис. 1. Включение в графический расчет опытных данных позволяет учесть влияние внутреннего трения бревен пучка на усилие в обвязках.

Номограммы, необходимые для определения длины обвязки, усилия в обвязке и площади поперечного сечения пучка, приводятся на рис. 2—4.

II. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования проводились с целью:

— экспериментальной проверки различных положений об основных характеристиках пучка, свободно плавающего на спокойной поверхности воды, и выбора теории, наиболее точно подтверждаемой опытом;

— изучения особенностей процесса формирования пучка и характера изменений, происходящих в пучке, сформированном сплоченной машиной стоечного типа, при отводе стоек и выпуске пучка из машины.

Для решения первой части задачи были выбраны две характеристики пучка: длина обвязки и усилие в обвязке — эти характеристики в отличие, например, от площади поперечного сечения или коэффициента полнодревесности могут быть непосредственно измерены.

Измерения пучка сжатого в стоечной машине и выпущенного из машины, производились для решения второй части задачи. Измерялись геометрические размеры пучка — длина, ширина, высота, а также осадка, длина обвязок и усилия в обвязках пучка.

Поскольку само по себе изменение геометрических размеров пучка по выходе из машины еще не дает достаточного представления об изменении структуры пучка, для изучения этих изме-

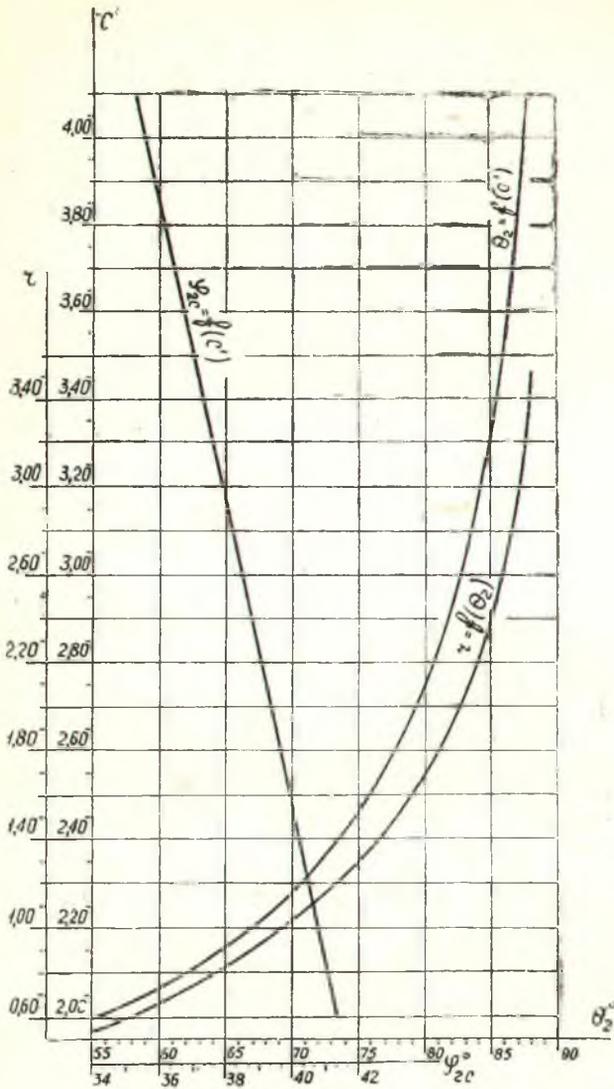


Рис. 1. График для определения характеристик подводной части пучка.

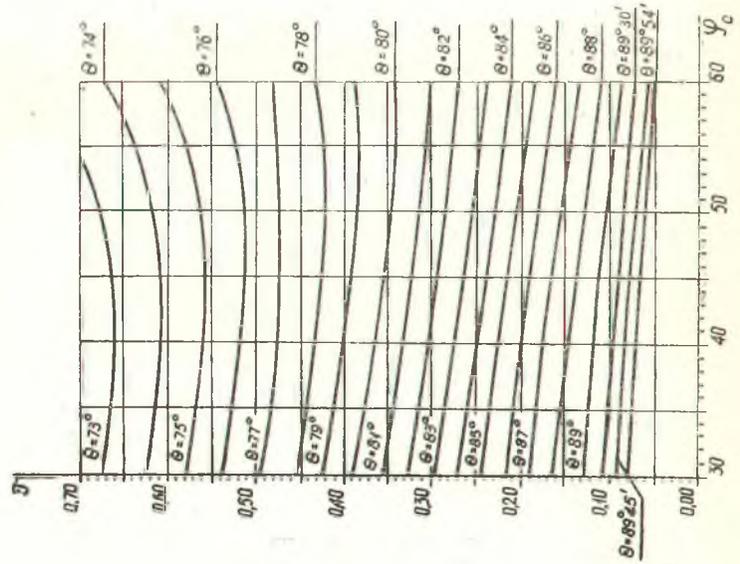
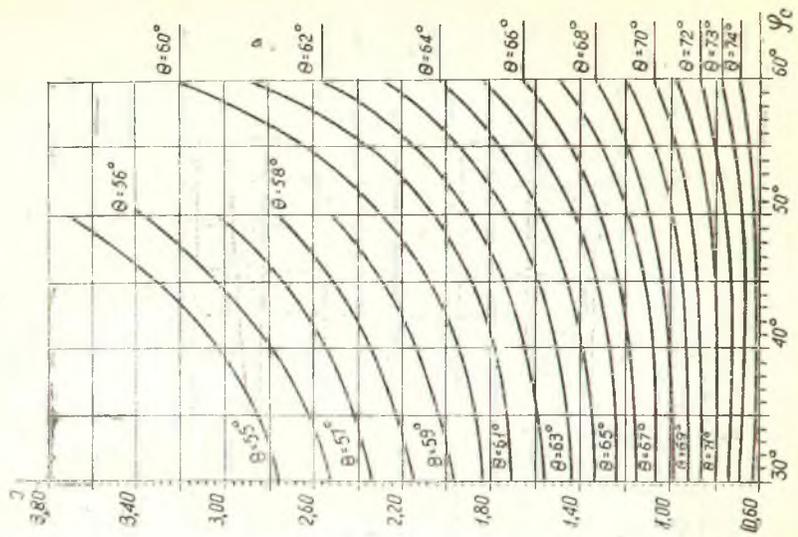


Рис. 2. Номограмма для определения модулярного угла.

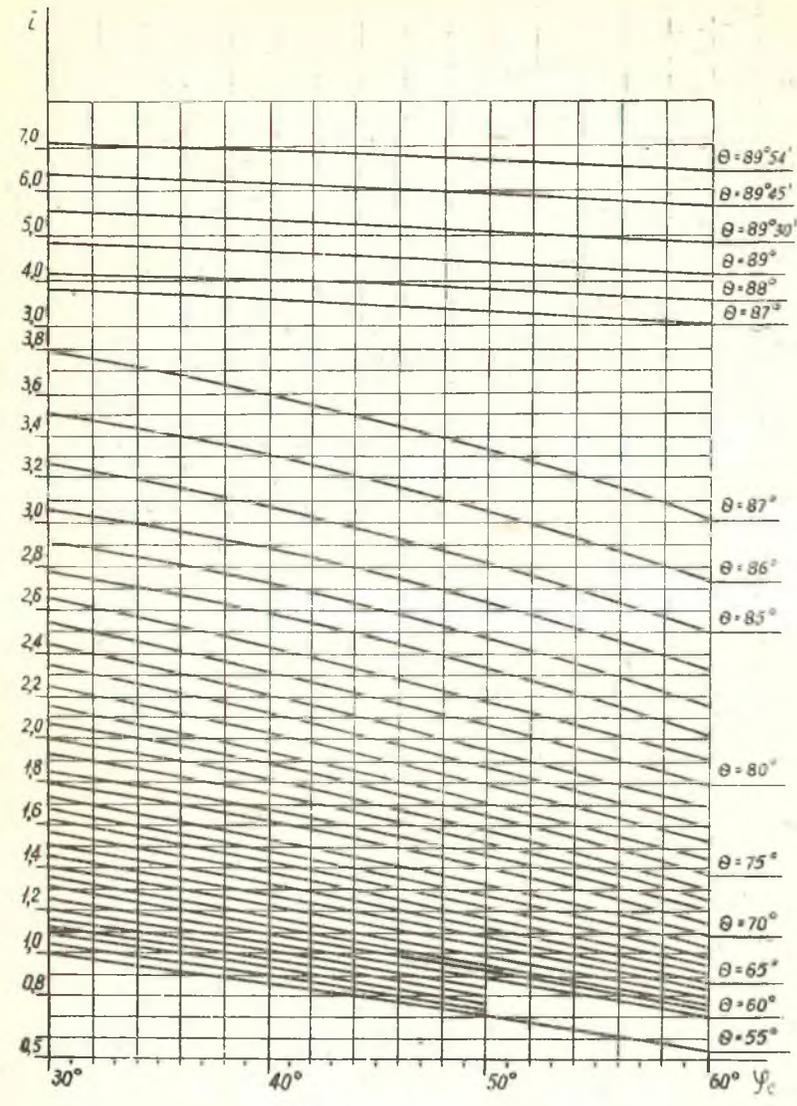


Рис. 3. Номограмма для определения коэффициентов к расчету длины обвязки пучка.

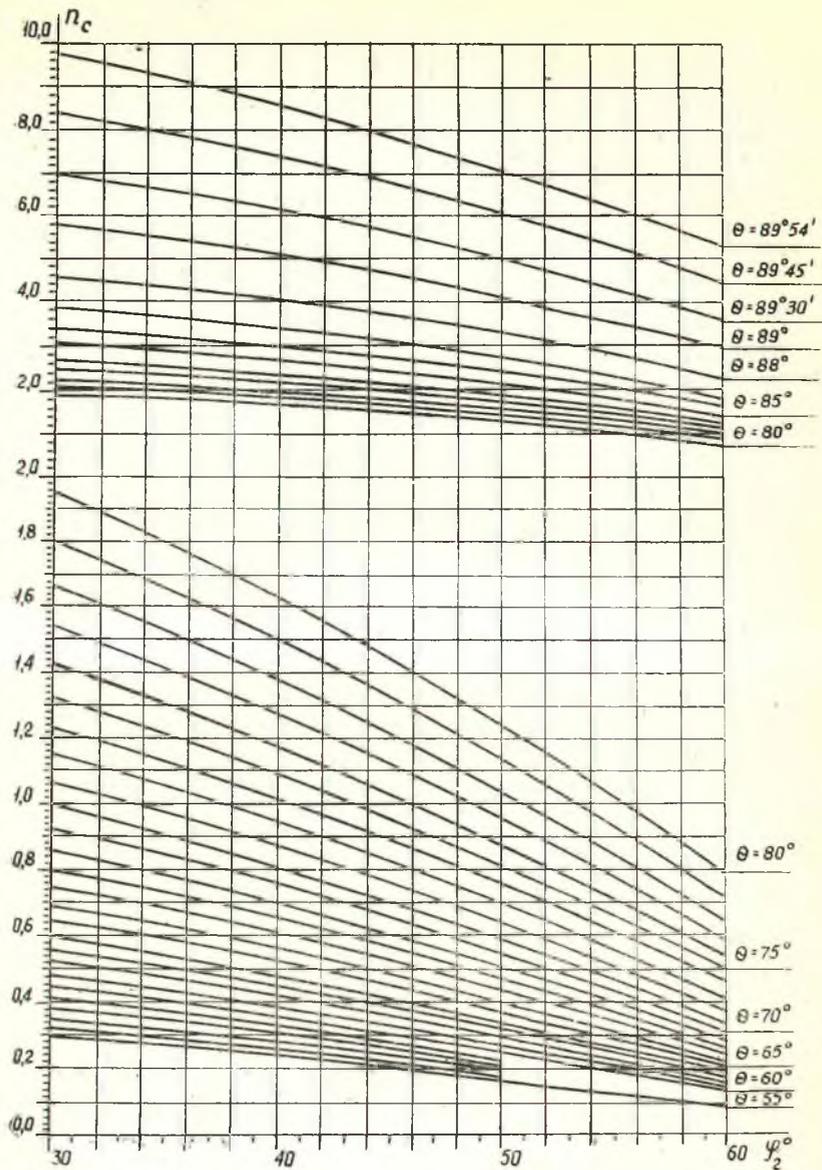


Рис. 4. Номограмма для определения коэффициентов к расчету площади поперечного сечения пучка.

нений использовались также соотношения осей и коэффициент полндревесности пучка.

Экспериментальные исследования проводились в натуре на Керчевском и Шипицынском рейдах и в лаборатории — на пучках из цилиндрических модельных бревен (одинакового диаметра) в $\frac{1}{10}$ натуральной величины.

На Керчевском рейде модернизированной машиной ЦЛ-2 сплавивались, с двойным дожатием и выборкой слабины обвязок после каждого дожатия обвязочными станками ОС-3-КЛС, озерные пучки с соотношением осей $C = 1,10—1,97$, объемом $W = 12,0—38,5 \text{ м}^3$ и осадкой $t = 1,20—2,10 \text{ м}$.

Сплотка производилась следующим образом: пучок сжимался стойками машины до соотношения осей близкого к 1, обвязки накладывались и утягивались; стойки машины несколько отводились от пучка и затем снова сжимали его, и снова утягивались обвязки; еще раз производился отвод стоек, сжатие пучка и утяжка обвязок. После этого концы обвязок скреплялись и пучок выводился из машины.

В этой серии исследований измерялись ширина, высота, и длина пучка, сжатого стойками сплотночной машины; ширина, высота, длина и осадка пучка, выпущенного из машины. Обмерено 539 пучков.

На рейде Шипицыно обмерено 176 речных пучков, сплоченных машиной ЦЛ-2М. Пучки сжимались машиной за один прием (одно сжатие) и обвязывались вручную проволокой. Кроме измерений размеров пучка здесь измерялись длина обвязок и усилия в обвязках. Пучки имели соотношение осей $C = 1,60—3,00$, объем $W = 8,9—21,6 \text{ м}^3$ и осадку $t = 0,70—1,90 \text{ м}$.

При испытании в лаборатории пучок сжимался устройством, стойки которого были геометрически подобны стойкам сплотночной машины ЦЛ-2М. Сжатие производилось за один прием. При наложении на сжатый пучок обвязок им задавалось начальное натяжение 100, 300, 500 г — это соответствует 100, 300, 500 кг в натуре. Проводился весь комплекс измерений пучков с соотношением осей $C = 1,40—3,00$ и объемом $26,8 \text{ дм}^3$ ($26,8 \text{ м}^3$). Обмерено 267 модельных пучков.

Для измерения размеров пучка в натуре использовались стационарные, в некоторых случаях — переносные, устройства по принципу штангенциркуля. В лаборатории для этой цели использовалась таксационная вилка.

Длина обвязок пучка измерялась мерной лентой.

Для измерения усилий в обвязках пучка в лаборатории ка-

федры были изготовлены кольцевые электротензометрические динамометры. Динамометры включались в обвязку пучка. В качестве регистрирующего прибора были выбраны магнитоэлектрические осциллографы МПО-2 и Н-700, а при испытаниях в лаборатории — осциллограф Н-700 с тензометрическим усилителем 8-АНЧ-7М.

При обработке материалов наблюдений использовался способ выравнивания по методу наименьших квадратов (способ Чебышева).

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Вывод эмпирических формул

Математическая обработка результатов измерений параметров пучков позволила получить эмпирические уравнения для определения:

— длины обвязки пучка

$$P = A(1,65 + 1,81C) \quad (16)$$

— усилия в обвязках пучка

$$T = \frac{0,222w(\gamma^s - \gamma)}{C^{2,21}} \quad (17)$$

2. Сравнение опытных данных с расчетными

Как уже отмечалось, для этой цели были выбраны длина обвязки и усилие в обвязках пучка. Поскольку сравнивать абсолютные значения указанных характеристик было невозможно из-за различного объема пучков, сравнивались безразмерные критерии.

$$\Delta = \frac{P}{AC} \quad \text{и} \quad \tau = \frac{TC}{w(\gamma^s - \gamma)}$$

Результаты расчетов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Сравнение длины обвязки пучка, определенной по различным формулам

Название формул	Среднее значение Δ	Средняя квадратичная ошибка среднего значения $+ m$	Вариационный коэффициент $\pm v\%$	
а) Измерения	2,57	0,0075	5,33	100,0
б) Эллипс	2,39	0,0061	4,65	93,0

Название формул	Среднее значение Δ	Средняя квадратичная ошибка среднего значения $\pm m$	Вариационный коэффициент $\pm v\%$	δ^*
в) „Овал“	2,53	0,0055	3,96	98,4
г) А. Л. Можевитинова	2,68	0,0073	4,67	104,3
д) Графический расчет (5)	2,58	0,0046	3,25	100,4
е) Эмпирическая (16) .	2,58	0,0045	3,15	100,4

$$\delta^* = \frac{\bar{\Delta}_{\text{вычисленное}}}{\bar{\Delta}_{\text{измеренное}}} \cdot 100\%$$

Таблица 2

Сравнение усилия в обвязках пучка,
вычисленного по различным формулам

Название формулы	Среднее значение τ	Средняя квадратичная ошибка среднего значения $\pm m$	Вариационный коэффициент $\pm v\%$	χ^*
а) Измерения	87,82	1,00	18,9	100,0
б) Графический расчет	88,30	0,97	18,2	100,5
в) Н. Н. Калихевича	224,95	2,55	18,8	256,2
г) В. А. Седельникова	460,54	8,66	31,1	524,4
д) И. П. Львова	34,48	0,71	33,9	39,2
е) М. А. Велле	89,55	0,77	14,3	102,0
ж) А. Л. Можевитинова	125,73	1,81	21,4	142,7
з) ЦНИИЛесосплава (а)	38,40	0,99	40,8	43,7
и) ЦНИИЛесосплава (б)	82,76	2,44	43,8	94,2
к) Справочника по лесосплаву	55,11	0,79	21,5	62,8
л) И. П. Донского	100,09	1,43	21,3	114,0
м) Д. Р. Меркина	115,78	1,56	20,0	131,8
н) Эмпирическая (17)	87,90	0,96	18,1	100,1

$$\chi^* = \frac{\bar{\tau}_{\text{вычисленное}}}{\bar{\tau}_{\text{измеренное}}} \cdot 100\%$$

3. Неравномерность распределения усилий между обвязками

Усилия неравномерно распределяются между обвязками пучка. Главная причина этого — неодинаковая длина обвязок.

Так в наших опытах установлена средняя разница длины обвязок пучка 2,42%, а максимальная отмеченная разница — 9,55%.

В результате математической обработки материалов испытаний получено уравнение коэффициента неравномерности распределения нагрузки между обвязками пучка — K_n с начальным натяжением обвязок — T_n (натяжением в момент утяжки и обвязки):

$$K_n = 68 \cdot 10^{-8} T_n^2 - 88 \cdot 10^{-5} T_n + 1,509 \quad (18)$$

Коэффициент неравномерности распределения нагрузки между обвязками уменьшается при увеличении начального натяжения обвязок. Оптимальная величина начального натяжения обвязок — 400—500 кг.

4. Усилия в обвязках пучка при выпуске его из сплottedной машины

Известно, что при нахождении пучка на волне, усилия в обвязках его изменяются и в периоды максимумов превышают усилия в обвязках пучка, плавающего на спокойной воде.

Наблюдения показали наличие резких колебаний усилий в обвязках и при переформировании пучка в момент выпуска его из сплottedной машины. По данным опытов значение коэффициента пиковой нагрузки с вероятностью 99,7% находится в пределах от 2,19 до 2,39 при среднем значении 2,29.

5. Деформация пучков при выходе из сплottedной машины

Все пучки, сплоченные в машине стоечного типа, при выпуске из машины деформируются с увеличением соотношения осей и повышением коэффициента полндревесности (поскольку изменения длины обвязки, при правильном подборе сечения ее и скреплении концов в соответствии с техническими условиями, не происходит).

При этом деформация зависит от начального натяжения обвязок пучка. Связь, однако, криволинейная и, если при увеличении начального натяжения от 0 до 100 кг деформация уменьшается резко, то при увеличении его от 300 до 500 кг уменьшение деформации очень незначительно.

Важное значение для выбора способа сплottedки и обвязки пуч-

ков имеет наличие, при определенных условиях сплотки и обвязки:

а) прямой корреляционной зависимости соотношения осей выпущенного из сплотовочной машины пучка — C от степени сжатия пучка в машине — C_1 (соотношения осей сжатого в машине пучка);

б) обратной корреляционной зависимости относительной деформации пучков при выходе из сплотовочной машины

$$\delta c = \frac{C - C_1}{C_1} \cdot 100\% \quad (19)$$

от степени сжатия пучка в машине;

в) прямой корреляционной зависимости относительного уплотнения пучков

$$\delta \eta = \frac{\eta - \eta_1}{\eta_1} \cdot 100\% \quad (20)$$

(где η_1 — коэффициент полндревесности сжатого в машине пучка) от относительной деформации.

Из перечисленных выше зависимостей следует вывод о том, что для получения качественных пучков необходимо добиваться наибольшего уплотнения пучка при сжатии его в стойках, так как более плотный в сжатом состоянии пучок меньше деформируется при выходе из сплотовочной машины. А это значительно облегчит получение пучков заданной формы. Одним из способов повышения полндревесности сжатого в стойках пучка является сплотка с повторными дожатиями и выборкой слабины обвязок после каждого дожатия. Перспективным, по-видимому, будет применение вибрации при сплотке. В Ленинградской лесотехнической академии получили значительное повышение полндревесности сжатых в стойках модельных пучков (до 4,2—4,8%), применяя при сжатии вибрацию.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили:

— установить, что ни одна из известных в настоящее время теорий пучка не дает, без опытных поправок, удовлетворительного соответствия действительности;

— получить на основе эластиковой теории, с введением в нее опытных данных, учитывающих внутреннее трение, графи-

ческий метод расчета пучка, свободно плавающего на спокойной воде;

— получить эмпирические формулы для определения длины обвязок пучка (16) и усилий в обвязках пучка (17);

— изучить условия формирования пучка в сплочной машине стоечного типа.

Предложенные в настоящей работе графический метод расчета пучка и эмпирические формулы (16 и 17) дали результаты, близкие к опытным (для пучков с соотношением осей от 1,1 до 3,0). Представляется целесообразным рекомендовать их для практического применения.

Усилие между обвязками пучка распределяется неравномерно из-за неодинаковой длины обвязок. Неравномерность уменьшается с увеличением начального натяжения обвязок, однако, зависимость эта такова, что увеличение начального натяжения свыше 500 кг неэффективно. Эмпирическая формула (18) позволяет определить коэффициент неравномерности распределения нагрузок между обвязками пучка по начальному натяжению обвязок.

В момент выхода пучка из сплочной машины обвязки его подвергаются воздействию динамических нагрузок, значительно превышающих нагрузки в обвязках спокойно плавающего пучка. Полученное на опыте значение коэффициента пиковой нагрузки с вероятностью 99,7% находится в пределах от 2,19 до 2,39 при среднем значении 2,29.

Выбор сечения обвязок рекомендуется производить по разрывному усилию

$$R = T \cdot K_n \cdot K_{\text{пик}} \cdot K_z, \text{ где}$$

T — усилие в обвязках, определяемое графическим способом, по эмпирической формуле (17) или по формуле М. А. Велле (см. А. Н. Пименов, Г. А. Манухин «Механизация лесосплавных работ и флот»).

K_n — коэффициент неравномерности распределения нагрузок между обвязками.

$K_{\text{пик}}$ — коэффициент пиковой нагрузки.

K_z — коэффициент запаса прочности—принимается в соответствии с рекомендациями «Справочника по лесосплаву» Гослесбумиздат, 1952 г.

При выходе пучка из сплочной машины происходит деформация его с увеличением соотношения осей и коэффициента полноравновесности. Длина обвязок при этом не изменяется. В

работе выявлена тесная связь деформации пучков с условиями сплотки и обвязки и получены графики, позволяющие выбрать способ сплотки и обвязки для получения пучков нужной формы.

В соответствии с этими графиками для сплотки на машине типа ЦЛ-2М речных пучков с соотношением осей более 2, пучок можно сжимать за один прием и обвязывать вручную. Для получения же качественных озерных пучков с соотношением осей менее 1,5 необходимы механизация обвязки и применение специальных способов сплотки, позволяющих добиваться наибольшего уплотнения сжатого в машине пучка, таких, например, как сплотка с повторными дожатиями и выборкой слабины обвязок и сплотка с вибрацией стоек при сжатии пучка.

Механизация обвязки и, следовательно, начальное натяжение обвязок улучшает форму пучков, выпущенных из сплотночной машины. Оптимальное значение начального натяжения по данным опытов лежит в пределах 400—500 кг. В этих пределах следует выбирать усилие утяжки обвязочных механизмов.

Основное содержание диссертации изложено автором в статьях:

1. «О деформации пучков при выходе из сплотночной машины». ИВУЗ, «Лесной журнал», № 2 1963 г.
2. «О деформации пучков при выходе из сплотночной машины». Журнал «Лесная промышленность», № 4, 1966 г.
3. «Определение длины обвязки пучка». ИВУЗ, «Лесной журнал», № 2, 1966 г.