

630x3

Б91

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМ. С.М.КИРОВА

630x348,7

На правах рукописи

БУРЛАКОВ ВИТАЛИЙ ПЕТРОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДНОГО ПОТОКА  
И ЛЕСОСПЛАВНЫХ ОБЪЕКТОВ С РЕБВЫМ БОНОМ ИЗ  
СЕКЦИЙ ПЕРЕМЕННОГО СРЕЧЕНИЯ ПО ДЛИНЕ

05.21.01 - "Технология и механизация лесного  
хозяйства и лесозаготовок"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск - 1980

+

Диссертационная работа выполнена в Сибирском технологическом институте на кафедре водного транспорта леса.

Научный руководитель - Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор В.Н.ХУДОГОВ

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Ю.Я.ДМИТРИЕВ
- кандидат технических наук, доцент С.Ф.РАПИНЧУК

Ведущее предприятие - Сибирский научно-исследовательский институт лесной промышленности СИБИЛЮ

Защита состоится " 7 " *января* 1981г. в " " час. на заседании специализированного Совета К.056.01.01 по присуждению ученой степени кандидата наук в Белорусском технологическом институте им.С.М.Кирова 220630, Минск, ул.Свердлова, 13 а, БТИ имени С.М.Кирова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " 3 " *ноября* 1980 года.

Ученый секретарь специализированного  
С о в е т а

И.Э.РИХТЕР

630\*3  
591

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

1.1. Актуальность темы. Решения XXV съезда КПСС по основным направлениям развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 г.г., а также рекомендации Всесоюзного совещания по развитию производительных сил Сибири, предусматривают качественное развитие в этом регионе лесозаготовительного процесса, в том числе и завершающей фазы лесозаготовок - водного транспорта леса. В десятой пятилетке и в последующем периоде произойдут структурные изменения этого вида лесотранспорта, направленные на уменьшение потерь древесины в результате сокращения молевого и увеличения других видов первоначального лесосплава, резкого возрастания плотового лесосплава и перевозок леса в судах. Рациональная организация первоначального пучкового или микропучкового лесосплава взамен молевого приведет к сокращению утота и разноса древесины. На первоначальном лесосплаве главное значение приобретают мероприятия по устройству рек и в частности - по обновке сплавного хода.

В последние годы на реке Енисее и его притоках: Мане, Ангаре, Тасеевой, Бирюсе и др. применяются новые конструкции лесонаправляющих сооружений - реевые боны из секций переменного сечения по длине. В качестве секций используется хлыст, однако в принципе секция может быть изготовлена и из иного материала (металл, синтетика и др.).

Несмотря на успешное внедрение бонов из секций-хлыстов, требуется установление и уточнение ряда теоретических, технических и эксплуатационных параметров, имеющих конечной целью оптимизировать их массовое применение на сплаве в различных условиях.

Результаты исследований, проведенных ЦНИИЛесосплава, Вузами и отдельными учеными в области взаимодействия реевых бонов с лесосплавными объектами недостаточно применимы к условиям эксплуатации бонов из различных конструктивных разновидностей и в особенности - бонов из секций переменного сечения по длине.

В работе сделана попытка восполнить этот пробел.

### 1.2. Цель работы:

- провести теоретические оценки равновесия реевого бона в потоке, с учетом всех действующих сил, в том числе и сил, действующих вдоль рей;



- обосновать предельные углы установки бонов из секций переменного сечения по длине в производственных условиях, с учетом всех действующих на них сил при взаимодействии с лесосплавными объектами и льдом;

- установить коэффициенты сопротивления, используемые для гидродинамического и статического расчета бонов этого типа;

- Дать рекомендации в нормативные документы, используемые при проектировании и эксплуатации бонов из секций переменного сечения по длине.

1.3. Научная новизна. В работе даны следующие новые общие научные решения, правомерные для всех конструктивных разновидностей бонов:

- равновесия реевого бона в потоке;
- влияния ограниченного потока (с учетом шероховатости русла и лесосплавного объекта) на скоростные, силовые и эксплуатационные параметры;
- силы удара лесосплавных объектов о бон;
- эксплуатационные и методические рекомендации, связанные со взаимодействием обледенелых объектов с бонами.

1.4. Практическая ценность. Проведенные исследования позволили обоснованно выбирать углы установки бонов из секций-хлыстов, взаимодействующих с лесосплавными объектами (в том числе с обледенелыми объектами и льдом), обоснованно производить расчеты этих сооружений с учетом сил удара объектов о бон, оперативно решать эксплуатационные задачи на основе общего уравнения равновесия реевого бона в потоке.

1.5. Реализация работы в промышленности.

1. Боны из секций-хлыстов внедрены на предприятиях производственного объединения "Енисейлесосплав".

2. Установлены основные технические, технологические и эксплуатационные параметры бонов из секций-хлыстов.

3. Предлагаемая проведенными исследованиями методика оперативной оценки угла установки бона из секций-хлыстов, в условиях интенсивного взаимодействия с полосой плывущего леса и льдом, использована при эксплуатации системы лесонаправляющих сооружений из секций-хлыстов на реках Мана, Бирюса, Чуна, Ангара.

1.6. Экономическая эффективность. Применение бонов из секций-хлыстов, вместо наиболее распространенных ранее трех-четырёхбрусенных бонов, даёт экономический эффект на 1 тыс. пог.м. - 1347 рублей в год.

Исходя из достигнутой протяженности обонки сплавных путей на молевом сплаве на предприятиях производственного объединения "Енисейлесосплав", общая экономическая эффективность за период 1971-80 г.г. составила свыше 800 тыс. рублей.

1.7. Апробация работы. Основные положения работы были доложены на IV научно-технической конференции в ЦНИИЛесосплава по новой технике и технологии лесосплава в 1976 г., на научно-технических конференциях Сибирского технологического института в 1972-1975, 1979 г.г., на заседаниях кафедры ВТЛ Сиб.Т.И. в 1977-79 г.г. и на двух расширенных заседаниях кафедры ВТЛ и гидравлики Белорусского технологического института им.С.М.Кирова в 1980 году.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 7 статей, отражающих основное содержание диссертации.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы из 102 наименований, приложений и изложена на 198 страницах машинописного текста, иллюстрирована 27 рисунками.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЕВОГО БОНА С ПОТОКОМ И ЛЕСОСПЛАВНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

### 2.1. Условия предельного равновесия лесосплавного объекта у бона

Для исключения подныривания лесосплавных объектов под бон последний должен быть установлен к потоку под углом не более предельного - углом  $\alpha$  :

$$\alpha = \arcsin \frac{V_1}{V} , \quad (I)$$

где  $V$  и  $V_1$  соответственно скорость потока и её нормальная составляющая, определяющие при угле  $\alpha$  положение лесосплавного объекта перед бонем в состоянии его предельного равновесия.

Для общего случая взаимодействия лесосплавного объекта с бонем скорость  $V$  теоретически можно определить, используя уравнение моментов сил при взаимодействии с бонем объекта, нахо-

длежащего в состоянии предельного равновесия, по формуле:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 S z_q}{\rho \lambda T z_p} (\gamma - \gamma_g)}, \quad (2)$$

где  $S$  - площадь поперечного сечения лесосплавного объекта;  
 $z_q$  - плечо силы, восстанавливающей равновесие лесосплавного объекта;  
 $z_p$  - плечо силы гидродинамического давления потока на лесосплавной объект;  
 $\rho$  - плотность воды;  
 $\lambda$  - коэффициент остаточного сопротивления системы "бон-объект";  
 $T$  - осадка лесосплавного объекта;  
 $\gamma$  - плотность воды;  
 $\gamma_g$  - плотность древесины.

## 2.2. Влияние глубины потока на взаимодействие лесосплавных объектов с боном

В ограниченных по глубине потоках изменение скорости обтекания бона характеризуется коэффициентом перераспределения скоростей обтекания, который без учета шероховатости может быть выражен зависимостью:

$$\psi = \frac{H}{H - T}, \quad (3)$$

где  $H$  - глубина потока.

Коэффициент перераспределения скоростей обтекания, с учетом шероховатости, представляющий собой отношение скоростей обтекания выступов общей и местной шероховатости в ограниченном и неограниченном потоках, по исследованиям проф. В.Н. Худогова, равен:

$$\psi = \left[ 1 + \frac{\kappa}{\alpha_1 (\Omega - \kappa)} \right] \alpha_3 \quad (4)$$

где  $\kappa$  и  $\Omega$  - соответственно площади мидельшпангоута лесосплавного объекта и живого сечения потока;

$\alpha_1$  - коэффициент перехода от максимальной скорости к средней по живому сечению потока

$$\alpha_1 = \frac{c_g \frac{6.15 n T}{\Delta n + \Delta g}}{c_g \frac{18.7 n T}{\Delta n + \Delta g}}, \quad (5)$$

$$n = \frac{H}{T} - 1,$$

$\Delta n$  и  $\Delta g$  - соответственно равнозернистые шероховатости объекта и дна потока;

$\alpha_3$  - коэффициент деформации сечений между смоченной поверхностью лесосплавного объекта и руслом

$$\alpha_3 = \frac{\lg \frac{16.7 T}{\Delta n + \Delta g}}{\lg \frac{16.7 n T}{\Delta n + \Delta g}}, \quad (6)$$

Равнозернистая шероховатость дна потока  $\Delta g$ , выраженная через диаметр шара  $d_w$ , эквивалентного по своему объему донным частицам, для естественных русел, по исследованиям А.П. Сидорова, равна:

$$\Delta g = 0.7 d_w, \quad (7)$$

В условиях мелководья, отношение  $\frac{\kappa}{R - \kappa}$  можно заменить через  $\frac{H}{T}$  (используя зависимость  $\frac{\kappa}{R} = 0,125 \frac{H}{T}$ ) и тогда:

$$\psi = \left[ 1 + \frac{1}{\alpha_1 \left( 8 \frac{H}{T} - 1 \right)} \right] \alpha_3, \quad (8)$$

Для условий незначительных глубин, в которых, в основном, эксплуатируются бонны из секций-хлыстов, второй член в скобках формулы (8) стремится к нулю и поэтому без большой погрешности можно принять:

$$\psi \cong \alpha_3, \quad (9)$$

В отличие от формулы (3) зависимость (8) учитывает шероховатость потока и бона.

При сопоставлении результатов теоретических расчетов с экспериментальными данными скорость потока определялась по формуле А. Сундборга:

$$V = 1.25 \sqrt{g d_w} \lg \frac{30.2 H}{d_w}, \quad (10)$$

где  $g$  - ускорение силы тяжести.

На рис.1 представлен график связи между  $d_w$  и  $V$  для различных значений  $H$ , полученных на основе расчетов.

На рис.2 представлен график  $\psi = f\left(\frac{H}{T}\right)$  без учета и с учетом шероховатости, из которого видно, что с уменьшением относительных глубин влияние шероховатости на величину коэффициента перераспределения скоростей резко возрастает.

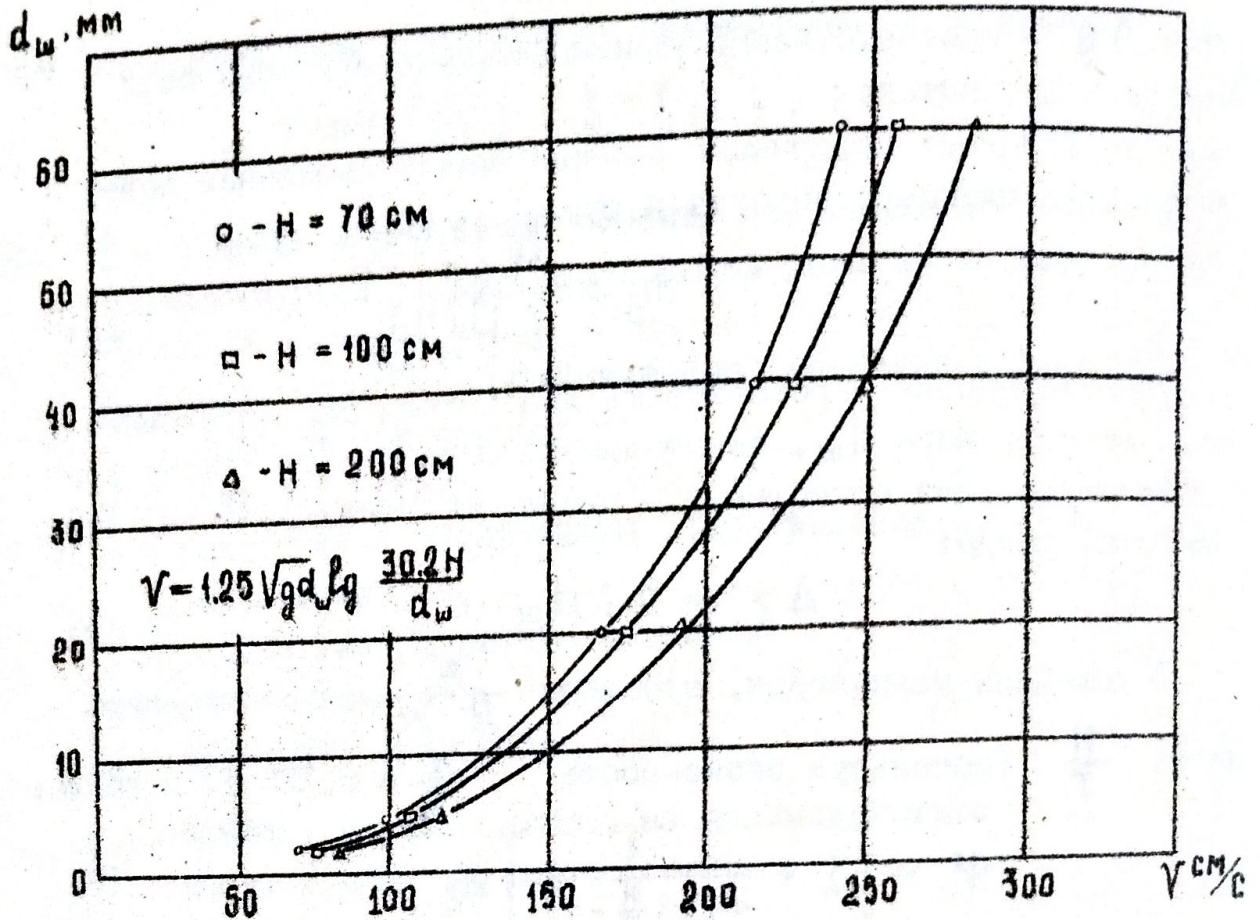


Рис. 1. График связи  $d_w$ ,  $V$  для различных значений  $H$

На этом же графике помещена кривая, построенная по точкам, полученных на основе экспериментов. Эта кривая оказалась в хорошем согласовании с теоретической кривой, построенной по расчетным данным с учетом шероховатости.

Учитывая, что скорость  $V_1$ , определяющая положение лесосплавного объекта перед боном в состоянии предельного равновесия, независимо от ограниченности потока по глубине, должна оставаться постоянной, а также, что при малых углах установки бона до  $30^\circ$ , отношение синусов углов можно принять равным отношению самих углов, зависимость  $(\theta)$  можно записать в следующем виде:

$$\psi = \frac{\alpha}{\alpha_c}, \quad (II)$$

Таким образом, чтобы определить величину предельного угла установки бона в потоке в стесненных по глубине условиях-



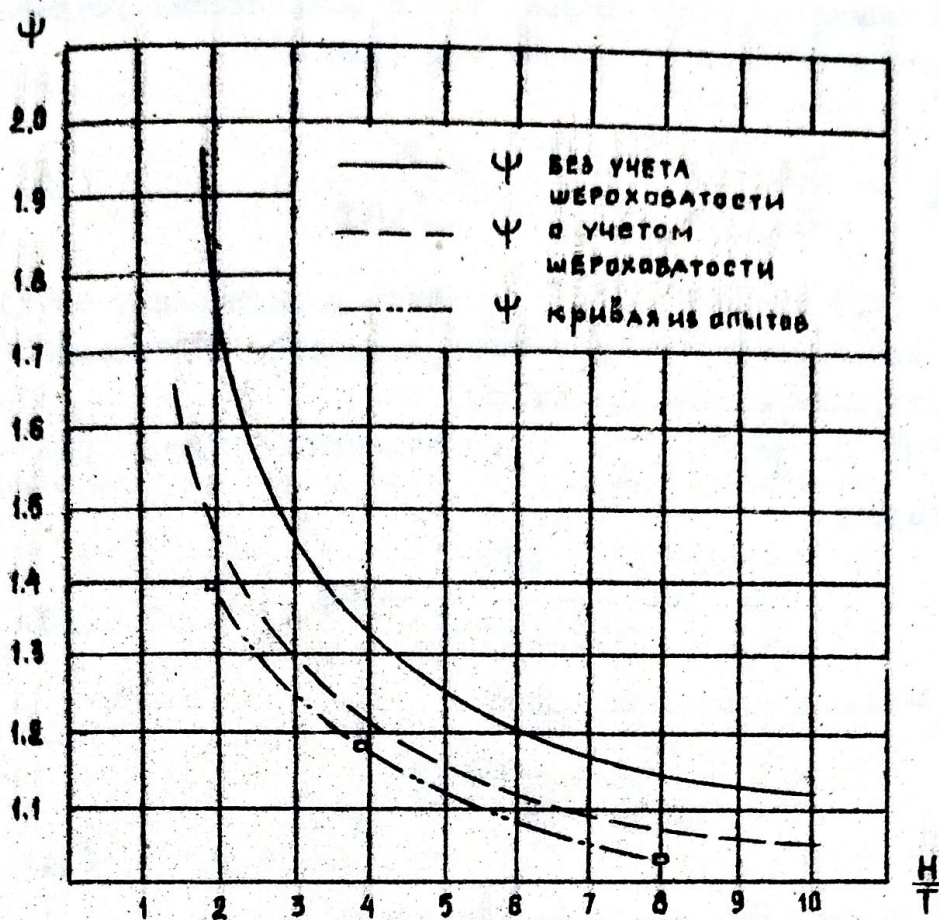


Рис. 2. График  $\Psi = f\left(\frac{H}{T}\right)$

-  $\alpha_c$ , нужно величину угла  $\alpha$  для условий работы бона на неограниченной глубине ( $\frac{H}{T} \geq 8 \div 10$ ), разделить на значение коэффициента перераспределения.

## 2.2. Исследование равновесия реевого бона в потоке

Все известные решения равновесия реевого бона в потоке являются недостаточными, так как они не учитывают моментов от сил, действующих вдоль рей при ее взаимодействии с потоком (предполагается что эти силы незначительны, однако, моменты от них могут быть весьма ощутимы).

Предлагаемое решение, на наш взгляд, устраняет недостатки существующих методов и в определенной мере совершенствует их.

Уравнение моментов относительно точки закрепления реевого бона, после преобразований принимает вид (рис.3):

$$i = \frac{P_{1\delta} - P_{1p} \cos \beta + P_{np} \sin \beta}{P_{1p} \left( \cos \beta + \frac{l_p}{l} \right) - P_{np} \sin \beta} \quad (12)$$

Уравнение (12) является общим решением равновесия реевого бона в потоке любой конструктивной разновидности, учитывающим все силы, участвующие в этом процессе.

При  $P_{np} \approx 0$  и  $\frac{l_p}{l} \approx 0$ , получим известное частное решение по А.Н.Лебедеву:

$$i = \frac{P_{1\delta}}{P_{1p} \cos \beta} - 1 \quad (13)$$

При  $P_{np} \approx 0$  и допущении, что

$$\frac{\cos \beta}{\cos \beta + \frac{l_p}{l}} \approx 1 \quad (14)$$

$$i \approx \frac{P_{1\delta}}{P_{1p} \left( \cos \beta + \frac{l_p}{l} \right)}$$

Получаем известное частное выражение, представленное, например, в учебнике проф.И.П.Донского.

После группирования отдельных членов, характеризующих геометрические параметры бона и силовые параметры, уравнение (12) можно представить в следующем виде:

$$i \left( \cos \beta + \frac{l_p}{l} \right) = \frac{P_{1\delta} - P_{1p} \cos \beta + P_{np} \sin \beta}{P_{1p} + P_{np} \operatorname{tg} \beta} \quad (15)$$

Левая часть этого уравнения характеризует геометрические параметры бона и является постоянной величиной для бона данной конструкции (длины бона и рей, числа рей, угла установки рей):

$$\eta = i \left( \cos \beta + \frac{l_p}{l} \right) = \operatorname{const} \quad (16)$$

Правая же часть уравнения (15) представляет собой отношение силовых параметров и является величиной переменной, в

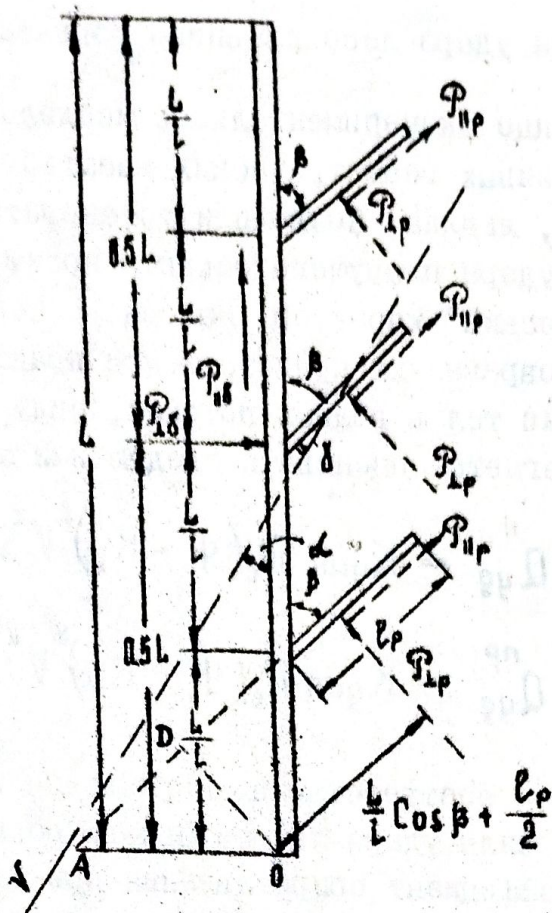


Рис. 3. Схема сил, действующих на реевый бон в условиях его равновесия в потоке

зависимости от эксплуатационных условий работы бона: скоростей течения потока и ветра, наличия полосы плывущего леса, ударных нагрузок и других факторов.

Уравнение (15) позволяет оперативно делать оценку в ряде эксплуатационных ситуаций, например, таких, как оценка положения бона в потоке в условиях интенсивного взаимодействия с полосой плывущего леса, при ударе лесосплавных объектов о бон и др.

Применение зависимости (12), носящей общий характер и учитывающей все силы участвующие в процессе взаимодействия бона, потока и лесосплавных объектов, позволяет значительно уточнить количественную оценку основных параметров при решении ряда эксплуатационных задач.

### 2.3. Сила удара лесосплавного объекта о бон.

Проведенные экспериментальные исследования на моделях объектов различных геометрических масштабов (пучки, цилиндрическое бревно, льдина) позволили установить, что физическая природа силы удара плывущего объекта носит явно выраженный "гидромеханический" характер. На основе теоремы "количества движения" и современных представлений практической гидромеханики о сопротивлении тел в водных потоках, силу удара лесосплавного объекта предлагается оценивать следующими зависимостями:

$$Q_{уд}^n = K_{дин} \rho_0 (\Psi - K_V)^2 V^2 \sin \alpha, \quad (17)$$

$$Q_{уд}^{пр} = K_{дин} \rho_0 (\Psi - K_V)^2 V^2 \cos \alpha, \quad (18)$$

где  $Q_{уд}^n, Q_{уд}^{пр}$  - соответственно нормальная к бону и действующая вдоль бона силы удара лесосплавного объекта;

$K_{дин}$  - коэффициент сопротивления при ударе лесосплавного объекта, хорошо описываемый эмпирической зависимостью вида:

$$K_{дин} = 139.55 V, \quad (19)$$

$\rho_0$  - характерная, погруженная в воду, площадь объекта;

$K_V$  - корректив скорости движения лесосплавного объекта в процессе удара о бон, учитывающий при ударе явление отклонения бона от первоначального положения и его деформацию. Исследования показали, что корректив скорости зависит от ряда параметров:

$$K_V = f(\rho_0, K_d, t_\delta, \alpha, K_{дин}, K_{п90^\circ}), \quad (20)$$

где  $K_{п90^\circ}$  - коэффициент сопротивления давления при угле атаки бона  $90^\circ$ , принимаемый равным  $K_{п90^\circ} = 102,5$ ;

$t_\delta$  - осадка бона.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ

#### 3.1. Общие сведения о проведенных экспериментальных исследованиях

Оптимальный режим работы любого бона характеризуется предельным углом установки бона в потоке, из условия отсутствия подныривания лесосплавного объекта под бон.

На величину предельного угла установки бона в потоке оказывают влияние ряд параметров:

$$\alpha = f(V, \lambda_g, d, V, H, c), \quad (21)$$

где  $d$  — диаметр бревна;  
 $V$  — объем микропучка;  
 $c$  — коэффициент формы микропучка.

Если формула (1) позволяет установить качественную и количественную зависимость предельного угла установки бона в потоке от определяющих его факторов, то следует заметить, что для определения  $V_1$  требуется знать ряд коэффициентов сопротивления, которые теоретически определить невозможно. Поэтому определение величины предельного угла установки бона в потоке становится возможным лишь после выполнения большого объема экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования проводились с целью определения:

- влияния ширины бона на величину предельного угла установки бона в потоке;
- зависимости предельного угла установки бона в потоке от параметров, указанных в зависимости (21);
- коэффициентов сопротивления при взаимодействии бона с потоком и лесосплавными объектами;
- силы удара плывущего лесосплавного объекта о бон.

В качестве лесонаправляющего сооружения в опытах использовалась одна из конструктивных разновидностей бона из секций переменного сечения по длине — бона из секций-хлыстов.

Экспериментальные исследования выполнялись в малом гидравлическом и русловом лотках лесосплавной лаборатории СибТИ. Их результаты были проверены в полевой лаборатории на крупномасштабной модели в натуральных условиях.

В связи с тем, что при взаимодействии лесосплавных объектов с боном преобладающими силами являются силы гравитационного характера, критерием подобия был принят критерий Фруда. Опыты проводились на моделях в масштабах - 5, 10, 20, 25, 40, 50. Плотность древесины колебалась в пределах 0,75, 0,85 и 0,93 т/м<sup>3</sup>.

Первая серия опытов по оценке влияния ширины бона на условия подныривания объектов проводилась на плоской модели в малом гидравлическом лотке при масштабе моделирования 10 (длина лотка 9 м, ширина - 0,32 м и высота борта - 0,6 м).

Вторая серия опытов по исследованию предельного угла установки хлыстового бона в потоке выполнялась на пространственной модели в масштабе 20 в русловом лотке прямоугольной формы (длина лотка 14 м, ширина - 1,4 м и высота борта - 0,6 м).

Третья серия опытов по оценке силы удара лесосплавных объектов проводилась также в русловом лотке на объектах в масштабах 10, 25, 40, 50.

### 3.2. Влияние ширины бона на условия предельного равновесия объекта перед боном

Увеличение ширины бона влияет на рост предельных скоростей, определяющих положение объекта перед боном в состоянии равновесия, но влияет незначительно. Если условно принять предельные скорости для однобревенного бона за единицу, то рост скоростей для трех и шестибревенного бона будет характеризоваться данными таблицы I.

Таблица I

Соотношение скоростей в зависимости от ширины бона

Объект исследования	Рост предельных скоростей потока при числе бревен в боне		
	I	3	6
Бревно	I	1,039	1,106
Микропучок	I	1,052	1,17

Таким образом, применение бонов из секций переменного сечения по длине, являющихся по сути однобревенными, оправдано с гидродинамической точки зрения.

### 3.3. Исследования предельных углов установки бона из секций-хлыстов в потоке

В результате анализа проведенных исследований выявлена зависимость предельных углов атаки бона из секций-хлыстов при взаимодействии их с лесосплавными объектами от скоростей потока, диаметров бревен или объемов микропучков, плотности, относительной глубины потока (с учетом шероховатости дна потока и лесосплавного объекта), а для микропучков еще и от коэффициентов формы.

Предлагается определение предельных углов атаки бона из секций-хлыстов при молевом сплаве производить по формуле:

$$\alpha_{\delta} = \alpha_{0\delta} K_1 K_2 K_3, \quad (22)$$

где  $\alpha_{0\delta}$  - предельный угол атаки бона, взаимодействующего с бревнами при базовом варианте -

$$\delta_g = 0,83 \text{ т/м}^3, \quad d = 30 \text{ см}, \quad \frac{H}{d} \geq 8,$$

$K_1, K_2, K_3$  - поправочные коэффициенты:

$K_1 = f(\delta_g)$  - коэффициент, учитывающий изменение  $\alpha_{0\delta}$  при  $\delta_g \neq 0,85 \text{ т/м}^3$ ;

$K_2 = f(d)$  - коэффициент, учитывающий изменение  $\alpha_{0\delta}$  при  $d \neq 30 \text{ см}$ ;

$K_3 = f\left(\frac{H}{d}\right)$  - коэффициент, учитывающий изменение  $\alpha_{0\delta}$  при  $\frac{H}{d} < 8$ .

Предельные углы атаки бона из секций-хлыстов при сплаве микропучков определяются по формуле:

$$\alpha_{\Pi} = \alpha_{0\Pi} K'_1 K'_2 K'_3 K'_4, \quad (23)$$

где  $\alpha_{0\Pi}$  - предельный угол атаки бона, взаимодействующего с микропучками при базовом варианте -

$$\delta_g = 0,85 \text{ т/м}^3, \quad V = 3,5 \text{ м}^3, \quad \frac{H}{\Gamma} \geq 8, \quad C = 1;$$

$K'_1, K'_2, K'_3, K'_4$  - поправочные коэффициенты:

$K'_1 = f(\delta_g)$  - коэффициент, учитывающий изменение  $\alpha_{0\Pi}$  при  $\delta_g \neq 0,85 \text{ т/м}^3$ ;

$K'_2 = f(V)$  - коэффициент, учитывающий изменение  $\alpha_{0\Pi}$  при  $V \neq 3,5 \text{ м}^3$ ;

$K'_3 = f\left(\frac{H}{T}\right)$  - коэффициент, учитывающий изменение  $\alpha_{оп}$  при  $\frac{H}{T} < 8$ ;  
 $K'_4 = f(c)$  - коэффициент, учитывающий изменение  $\alpha_{оп}$  при  $c > 1,0$ .

На рисунках 4 и 5 представлены графики зависимости угла атаки бона из секций-хлыстов для базовых вариантов -  $\alpha = f(\nu)$  и значения поправочных коэффициентов.

Проведенные исследования позволяют обоснованно выбрать углы установки бонов из секций-хлыстов в производственных условиях.

### 3.4. Количественная оценка коэффициентов сопротивления

Коэффициенты сопротивления сил, возникающих при взаимодействии бонов из секций-хлыстов с потоком и лесосплавными объектами определялись опытным путем в лесосплавной и полевой лабораториях СТИ на моделях в масштабе 20,10,5. Полученные результаты подвергались проверке в натуре.

Коэффициент сопротивления от нормальной силы воздействия потока на бон ( $K_n$ ) определялся двумя независимыми путями:  
 - по традиционной зависимости

$$P_{1n} = K_n I t_s \sin \alpha V^2, \quad (24)$$

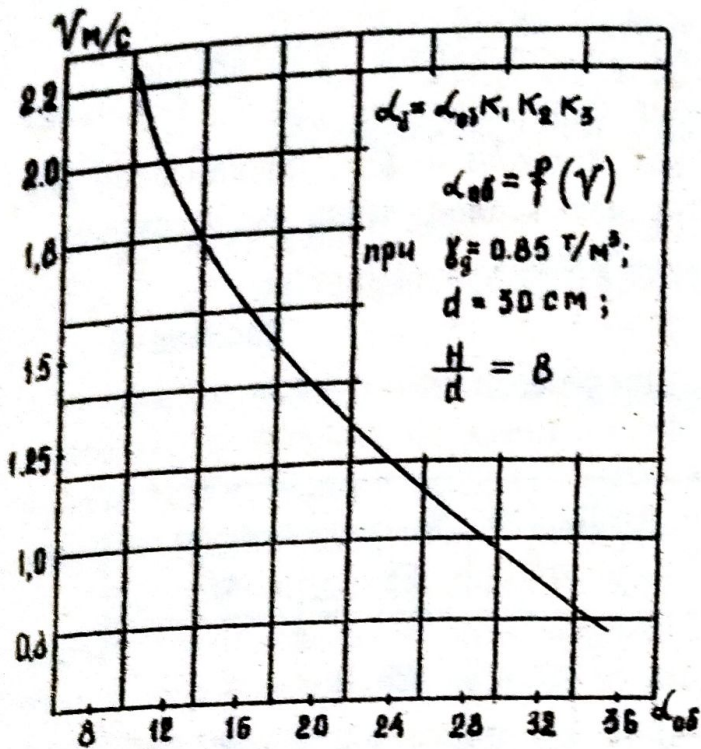
- с помощью уравнения равновесия бона в потоке.

В таблице 2 приведены значения коэффициентов сопротивления от нормальной силы воздействия потока на бон  $K_n$ . В обоих вариантах при определении коэффициентов  $K_n$  были учтены силы, действующие вдоль рей.

Таблица 2  
Сравнительные данные значений коэффициентов

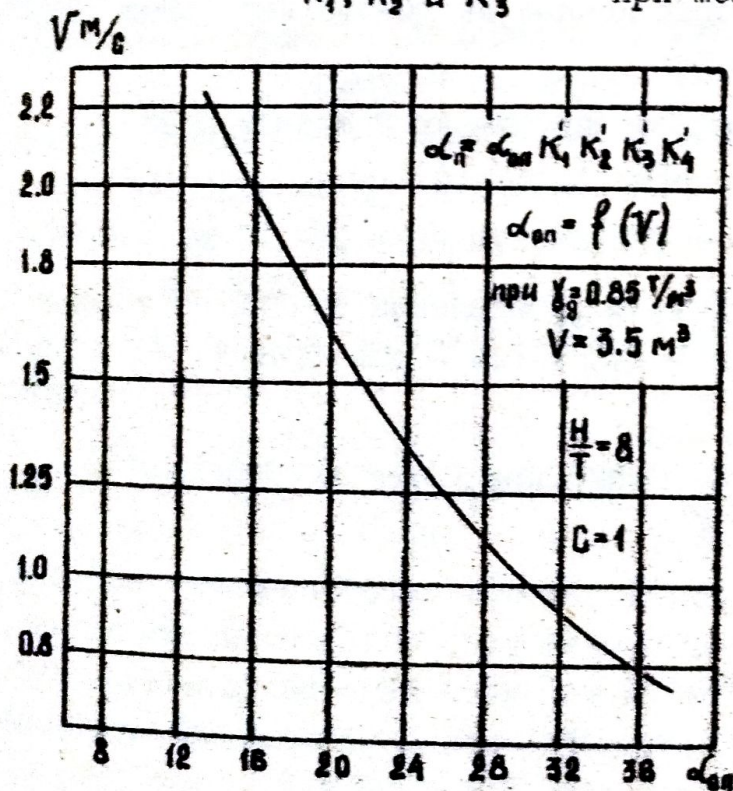
Коэффициенты $K_n$		$\alpha$		
		15°	20°	25°
$K_n$	из опытных данных по зависимости (21)	17,0	20,0	22,0
$K'_n$	из опытных данных с использованием уравнения равновесия бона в потоке	18,3	22,2	25,3
% отклонения	$\frac{K_n - K'_n}{K_n} \cdot 100$	6,5	10,1	13,5





1.30	0.80	1.50	1.30	0.90	0.80	0.85	0.67
1.29	0.85	1.40	1.95	0.91	0.85	0.83	0.67
1.29	0.86	1.38	1.21	0.93	0.86	0.83	0.68
1.28	0.89	1.33	1.22	0.94	0.89	0.84	0.69
1.22	0.91	1.39	1.17	0.96	0.87	0.84	0.70
1.18	0.90	1.34	1.15	0.95	0.87	0.86	0.71
1.14	0.89	-	1.11	0.94	0.86	0.85	0.71
0.75	0.93	1.2	2.0	5.0	6.0	4	2
$\gamma_g, \text{T/M}^3$	$d, \text{см}$		$H/d$				
$K_1$	$K_2$		$K_3$				

Рис. 4. График  $\alpha_{06} = f(V)$  с поправочными коэффициентами  $K_1, K_2$  и  $K_3$  при молевом сплаве



1.21	0.70	1.18	0.91	0.85	0.67	1.15	1.23
1.23	0.69	0.15	0.96	0.83	0.87	1.15	1.20
1.23	0.71	1.12	0.88	0.86	0.68	1.12	1.20
1.14	0.72	1.14	0.91	0.84	0.69	1.10	1.19
1.12	0.73	1.10	0.87	0.84	0.70	1.10	1.14
1.19	0.81	1.11	0.89	0.85	0.71	1.10	1.14
-	0.81	1.10	0.88	0.85	0.71	1.07	1.14
0.73	0.93	2.0	5.0	4	2	2	2.5
$\gamma_g, \text{T/M}^3$	$V, \text{м}^3$	$H/T$		$C$			
$K'_1$	$K'_2$	$K'_3$		$K'_4$			

Рис. 5. График  $\alpha_{0n} = f(V)$  с поправочными коэффициентами  $K'_1, K'_2, K'_3$  и  $K'_4$  при сплаве микропучков

Коэффициент сопротивления от нормальной силы воздействия потока на рею (коэффициента сопротивления реи) -  $K_p$ , являясь функцией угла атаки реи потоком -  $\delta^\circ$ , оценивается для бревенной реи бона из секций-хлыстов следующими количественными данными, приведенными в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициента  $K_p$ 

Масштабы моделирования	Углы атаки реи $\delta^\circ$				
	20°	25°	30°	35°	40°
10	19,5	21,8	23,0	26,0	27,4
20	18,6	-	23,3	-	27,5

Значения коэффициентов сопротивления трения и удара лесосплавных объектов, определенные на основе экспериментальных исследований, следующие:

- расчетный коэффициент сопротивления трения боча -  $f_\delta = 0,88$ ;
- расчетный коэффициент сопротивления реи -  $f_p = 0,88$ ;
- расчетный коэффициент сопротивления трения от полосы плывущего вдоль бона леса -  $f_l = 1,5$  - для бревен,  $f_l = 1,9$  - для микропучков;
- коэффициент сопротивления при ударе лесосплавного объекта -  $K_{дин} = 139,55 V$ .

Как показали опыты, коэффициенты сопротивления, входящие в расчетные формулы при взаимодействии обледенелых объектов с бонами из секций-хлыстов (в том числе и с обледенелыми бонами), оказались примерно на 14% ниже, чем с необледенелыми объектами.

### 3.5. Исследования силы удара плывущего лесосплавного объекта

Опыты проводились в диапазоне скоростей в натуре от 0,62 до 1,77 м/сек, в геометрических масштабах 10-50.

В результате обработки опытных данных методом наименьших квадратов получена эмпирическая зависимость (19) по оценке коэффициента сопротивления при ударе лесосплавного объекта.

#### 4. ВНЕДРЕНИЕ БОНОВ ИЗ СЕКЦИЙ-ХЛЫСТОВ В ПРОИЗВОДСТВО, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Предложенная нами конструкция реевого бона из секций переменного сечения по длине, когда в качестве секции используется хлыст, нашла широкое применение в лесосплавном производстве Ангаро-Енисейского бассейна.

При изготовлении бона, секции-хлысты подбираются ровные, хорошо обработанные с равномерной сбежистостью. Хлысты окантовываются в комлевой части по длине контакта с лесосплавными объектами. Диаметры хлыстов в комле — 40+60 см, в вершинной части — 20+30 см. Длина секций-хлыстов 15+20 м.

Секции-хлысты устанавливаются комлями вниз по течению и соединяются между собой внахлестку хомутами из проволоки-катанки диаметром 5+8 мм в 3+5 витков. Для большей прочности, проволочные хомуты укладываются в канавки глубиной 1+2 см.

Количество хомутов на стыках хлыстов — не менее трех, причем, нижний по течению хомут должен накладываться таким образом, чтобы диаметр вершинной части хлыста в этом месте был не менее 24 см. В качестве боковых опор служат рей из одиночных бревен. Рей — бревна крепятся к бону на стыке хлыстов при помощи хомутов из стальных канатов диаметром 9-12 мм или проволочных хомутов.

Другая конструкция реевого бона из секций-хлыстов, нашедшая меньшее применение, является гибкой. Устанавливается бон в потоке, как и жесткий, комлями вниз по течению. Хлысты соединяются друг с другом (комель предыдущего хлыста с вершиной последующего) встык оплотными цепями диаметром 12-14 мм, через отверстия, просверленные вблизи торцов.

Опыт эксплуатации бонров из секций-хлыстов показывает, что их установка в потоке может быть произведена без промежуточных опор-плиток. Уборка бонров из секций-хлыстов не представляет трудностей — они или вытаскиваются на берег или разделяются на сортименты и пускаются в конце навигации в сплав.

Особенностью работы такого лесонаправляющего сооружения является тот факт, что лесосплавной объект, срываясь с утолщенной части секции (комля хлыста), проплывает значительную часть следующей секции не касаясь её и только, примерно, на 1/3 по длине от конца секции начинает с нею взаимодействовать. При этом, в работе оказывается комлевая часть хлыста, которая имеет наибольшую осадку. Поэтому эффект работы бонов оказывается, примерно, эквивалентным работе бонов с козырьком в одно бревно.

Боны из секций-хлыстов начали внедряться на молевом сплаве в Ангаро-Енисейском бассейне с 1971 года и применение их в производстве ежегодно наращивалось, достигнув в 1980 году 72 тыс. пог. метров.

Проведенные исследования взаимодействия бонов из секций переменного сечения по длине с лесосплавными объектами и опыт их эксплуатации в Ангаро-Енисейском бассейне позволили разработать проект "Технических указаний к применению хлыстовых реевых бонов в качестве лесонаправляющих сооружений", утвержденный техсоветом ц/о "Енисейлесосплав" в 1976 году.

Расчет экономической эффективности от внедрения хлыстовых бонов производился на основе методики Госплана СССР.

Экономическая эффективность внедрения бонов из секций-хлыстов по опыту работы производственного лесосплавного объединения "Енисейлесосплав" за период с 1971 по 1980 г.г. составляет более 800 тыс. рублей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Исследования выполнены с учетом имеющейся информации в области гидродинамического взаимодействия лесонаправляющих сооружений с лесосплавными объектами и освещают особенности взаимодействия необледенелых и обледенелых объектов с бонами из секций переменного сечения по длине.

2. Исследования в диссертации были проведены методом, основанным на традиционных воззрениях о физической природе взаимодействия твердых тел с водной средой, создании схематизированных моделей лесосплавных объектов, бонов и воздействия

внешней среды на них. Достоверность теоретических предпосылок и выводов была подтверждена экспериментами в лесосплавной и полевой лабораториях и натурными наблюдениями. Экспериментально было найдено ряд опытных коэффициентов и констант. Экспериментальные исследования выполнены в большом интервале, охватывающем все практически встречающиеся размерные параметры бонов, объектов и диапазоны скоростей.

3. Проведенные исследования позволяют обоснованно выбирать предельные углы установки бонов из окций-хлытов в производственных условиях при их взаимодействии с лесосплавными объектами и льдом в зависимости от:

- скоростей течения;
- плотности, размерных параметров и геометрических форм объектов;
- относительной глубины потока, с учетом шероховатости дна потока и лесосплавного объекта;
- степени обледенелости лесосплавного объекта и бона.

Разработана методика оперативного определения углов атаки бона при взаимодействии с лесосплавными объектами (в том числе с обледенелыми), как для базовых вариантов, так и при отклонениях от них.

4. Установлено, что с уменьшением относительных глубин влияние шероховатости на величину коэффициента перераспределения скоростей  $\Psi$ , а следовательно на величину угла атаки бона  $\alpha$  резко возрастает. Таким образом, при определении предельного угла установки в условиях ограниченных по глубине потоках, что характерно для эксплуатации бонов, нужно обязательно учитывать наравне с глубинами потока и шероховатости бона и русла потока.

5. Доказана правомерность применения уравнения равновесия, носящего общий характер и учитывающего все силы, участвующие в процессе взаимодействия бона, потока и лесосплавных объектов и позволяющего оперативно решать ряд эксплуатационных задач, например, таких, как оценка положения бона в условиях интенсивного взаимодействия с полосой плывущего леса. Найденное решение оправдано для всех конструктивных разновидностей бонов.

Установлено влияние некоторых размерных параметров лесосплавного объекта на условия его предельного равновесия у бона.

6. Найденные экспериментально коэффициенты сопротивления позволяют по общепринятым зависимостям производить гидро-динамический и статический расчеты бонов из секций-хлыстов при их взаимодействии с потоком и лесосплавными объектами, в том числе и с обледенелыми объектами и льдом. Коэффициенты сопротивления получены с учетом моментов от сил, действующих вдоль рей.

7. Исследованиями доказано, что сила удара лесосплавного объекта о бон обусловлена силами сопротивления объекта в потоке, возникающими при его контакте с лесонаправляющим сооружением. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлены расчетные зависимости для оценки силы удара объекта о бон и найдены основные параметры, входящие в эти зависимости: коэффициент сопротивления ( $K_{дин}$ ) и корректив окрестности движения объекта в процессе удара о бон ( $K_{\gamma}$ ).

8. Рекомендации данной работы использованы при внедрении бонов из секций-хлыстов на реках Мана и Тасеева с притоками, а также на других реках Ангара-Енисейского бассейна, где базируются предприятия производственного лесосплавного объединения "Енисейлесосплав".

Протяженность ежегодно устанавливаемых бонов из секций-хлыстов превысила 70 тыс. пог. м., при этом, получен экономический эффект с начала внедрения свыше 800 тыс. рублей.

Это убедительно доказывает, что применение бонов из секций переменного сечения по длине технически возможно и экономически целесообразно.

Основное содержание диссертации и её разделов опубликовано в следующих работах:

1. Сарафанов В.Н., Бурлаков В.П., Сизов Б.Г., Худоногов В.И., Яринский Г.В. Эксплуатация бонов из хлыстов. - Реферативная информация 23. Лесоэксплуатация и лесосплав, М., 1971, с. 16.

2. Бурлаков В.П. Опыт по сокращению потерь древесины в сплаве. - Реферативная информация 25. Лесоэксплуатация и лесосплав. М., 1973, с. 7-9.

3. Бурлаков В.П., Худоногов В.И. Экспериментальное исследование предельных углов атаки хлыстовых бонов при взаимо-

действии с молевой древесиной и микропучками. - "Водный транспорт леса", раздел П. Межвуз. сб. научн. тр., вып. 3. РИО СибТИ, Красноярск, 1975, с. 93-99.

4. Бурлаков В.П., Худоногов В.Н. Исследование параметров взаимодействия хлыстовых бонов с потоком и сплавными объектами. - "Совершенствование технологии лесосплавных работ". Межвуз. сб. научн.тр. по технологии и комплексной механизации лесозаготовительных работ. Вып. 4. РИО СибТИ, Красноярск, 1976, с. 23-27.

5. Бурлаков В.П. Исследование влияния глубины потока на взаимодействие бонов с лесосплавными объектами. - "Водный транспорт леса". Межвуз. сб. научн.тр. вып.6. РИО СибТИ, Красноярск, 1978, с. 137-143.

6. Бурлаков В.П. Исследование равновесия реевого бона в потоке. - "Водный транспорт леса". Межвуз. сб. научн.тр. вып.6. РИО СТИ, Красноярск, с. 143-148.

**Бурлаков Виталий Петрович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДНОГО ПОТОКА И  
ЛЕСОСПЛАВНЫХ ОБЪЕКТОВ С РЕЕВЫМ БОНОМ ИЗ СЕКЦИИ  
ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ ПО ДЛИНЕ**

Подписано в печать 23.10.80. АЛО3571. Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Усл. печ.л. 1.0. Уч.-изд. л.1.1. Тираж 100 экз.

Заказ 412. Бесплатно.

Отпечатано на ротапринтере Красноярского дома техники Н.Т.О.