

# 1. ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕСОЗАГОТОВОК И ТРАНСПОРТА ЛЕСА

УДК 630\* 378

О.С.БУРМЕЙСТЕР, канд. техн. наук, доцент,  
В.В.ФРОЛОВ, Е.С.САНКОВИЧ (БТИ)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕСОСПЛАВА В ПЛОСКИХ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦАХ

Лесосплав в плоских сплоточных единицах на реках СССР проводится в настоящее время в незначительных объемах и сравнительно плохо изучен. Однако при современной технической вооруженности сплавных предприятий и хорошей устроенности рек этот вид сплава может найти применение на реках с малыми глубинами взамен молевого. Для оценки возможности такого вида сплава кафедрой транспорта леса совместно с объединением "Вятлесосплав" было проведено в навигацию 1984 г. опытное испытание в производственных условиях.

Опытный лесосплав в плоских сплоточных единицах проводился на участке р. Чепца со 132 по 121 км от устья, на котором было намечено три лимитирующих створа, наиболее затруднительных по условиям лесосплава. В выбранных створах осуществлялись все необходимые гидрометрические измерения, в результате чего получены необходимые гидравлические характеристики (табл. 1).

Для проведения натурных исследований было осуществлено обоснование размеров плоских сплоточных единиц, в основу которого были положены следующие условия: технологические возможности сплоточных машин и механизмов, топографические и гидрологические характеристики опытного уча-

Таблица 1.

Гидравлические характеристики створов опытного участка

| Номер створа | Место положения, км от устья | Характеристики створов |                      |                                                  |                                             |                         |                             |                            |                             |
|--------------|------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|              |                              | ширина В, м            | средняя глубина h, м | площадь живого сечения $\omega$ , м <sup>2</sup> | поверхностная скорость v <sub>п</sub> , м/с | средняя скорость v, м/с | расход Q, м <sup>3</sup> /с | гидравлический радиус R, м | коэффициент шероховатости n |
| 1            | 129                          | 132                    | 1,91                 | 253                                              | 1,06                                        | 0,85                    | 215                         | 1,86                       | 0,038                       |
| 2            | 125                          | 166                    | 2,34                 | 389                                              | 0,73                                        | 0,58                    | 226                         | 2,28                       | 0,069                       |
| 3            | 122                          | 141                    | 2,18                 | 307                                              | 0,97                                        | 0,77                    | 238                         | 2,12                       | 0,047                       |

стка, а также данные лабораторных исследований. Как показали исследования на модельном русле реки, в технологическом отношении наиболее удачными являются сплотночные единицы с соотношением длины к ширине 1:1 и 2:1, которые и были приняты за основу при изготовлении единиц в натурных условиях. Сплотночные единицы изготавливались из древесины лиственных пород (пиловочник березовый) с хвойным подсплавом в количестве 10...20 % от объема единицы. Всего было изготовлено 30 сплотночных единиц общим объемом  $133 \text{ м}^3$ , из них 10 размером  $4 \times 4 \text{ м}$  и 20 —  $8 \times 4 \text{ м}$ . Объем единиц размером  $4 \times 4 \text{ м}$  находился в пределах  $2,31\text{—}3,68 \text{ м}^3$ , осадка —  $0,17\text{—}0,57 \text{ м}$ , а для единиц размером  $8 \times 4 \text{ м}$  — соответственно  $4,09\text{—}5,83 \text{ м}^3$  и  $0,19\text{—}0,49 \text{ м}$ . Изготовленные единицы причаливались к одному из берегов недалеко от пускового створа и крепились за опоры; на каждой из них был установлен номер, наличие которого позволяло следить за продвижением ее в период лесосплава.

Опытный лесосплав в сплотночных единицах проводился следующим образом: в выбранные створы заранее были доставлены наблюдатели; осуществлялся пуск единиц через определенные интервалы времени; фиксировался номер единицы и время ее прохождения через пусковой створ, расположенный на расстоянии 2 км от первого; наблюдатели, находящиеся в расчетных створах, фиксировали номер единицы и время ее прохождения, а также погодные условия. После пуска всех единиц в сплав они сопровождалась на моторной лодке, в процессе чего фиксировались и характеризовались места, где происходила задержка, причины задержки. Затем производились освобождение их и пуск в дальнейший сплав. В течение всего периода проплава измерялась скорость ветра, которая составила в период пуска  $3 \text{ м/с}$ , а в конце —  $9 \text{ м/с}$ .

В результате наблюдений было зафиксировано, что конечного створа достигло только 3 единицы, одна из которых имела размеры  $4 \times 4 \text{ м}$ , а две —  $8 \times 4 \text{ м}$ . Средняя продолжительность их проплава составила  $4 \text{ ч } 24 \text{ м}$ , средняя скорость движения —  $2,73 \text{ км/ч}$ . Все остальные единицы под действием встречного ветра были прижаты в районе  $126 \text{ км}$  к кустам ивы у правого берега или отогнаны в затон. Основными причинами задержки единиц в пути явились раздвоение русла, кочки, топляки. Необходимо отметить, что в период проплава на всем протяжении опытного участка отсутствовала обновка лесосплавного хода.

Как показал опыт проплава в плоских сплотночных единицах, на отдельных участках реки даже такие относительно большие скорости течения не всегда обеспечивали продвижение единиц и они под влиянием ветра отклонялись от необходимого направления. Для выявления причин, которые не позволили приплавить единицы в расчетный створ, нами рассматривалось движение сплотночной единицы на прямолинейном участке реки. В этом случае эта единица находится под действием следующих сил: влечения течением; действия ветра; трения, возникающих при соприкосновении ее с берегом или другим препятствием (рис. 1).

Введем следующие обозначения:  $R$  — сила влечения течением;  $M$  — момент от силы влечения;  $R_v$  — сила действия ветра;  $\alpha$  — угол между направлением движения единицы и направлением ветра;  $R_v \cos \alpha$  — составляющая силы ветра, действие которой совпадает с направлением движения;  $R_v \sin \alpha$  — составляющая силы ветра, нормальная к направлению движения;  $T$  — сила трения единицы о берег;  $M$  — момент от силы трения.

Рассмотрим действие всех сил на движение плоточной единицы. Как известно, скорости течения в реке изменяются как по вертикали, так и по ширине реки, увеличиваясь к оси потока и уменьшаясь к берегам. Неравномерное распределение скоростей, под влиянием которых находится плоточная единица, создает и неравномерное действие сил, равнодействующая которых  $R$  смещена от центра. Такое приложение равнодействующей вызывает момент  $M$ , вращающий единицу, и силу, приложенную к центру и перемещающую ее в направлении движения. Этим можно объяснить и разворот единиц в потоке при тихой погоде.

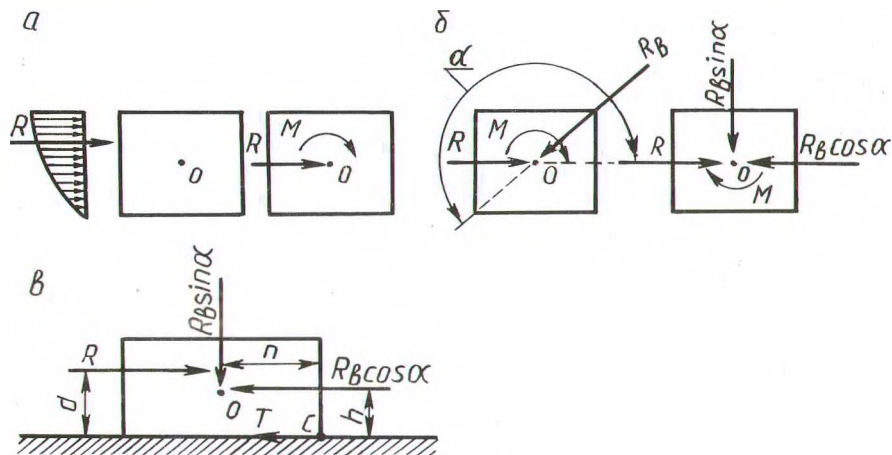


Рис. 1. Схема сил, действующих на плоточную единицу:

а-в — соответственно действие сил течения, течения и ветра и течения, ветра и трения о берег.

Действие ветра указывает на направление силы ветра  $R_B$  под углом  $\alpha$  к направлению движения — и ее можно считать приложенной к центру единицы. Так как ветер имеет различное направление, то и сила будет иметь такое же направление. В общем случае ее можно разложить на две составляющие: одну  $R_B \cos \alpha$ , совпадающую с направлением движения, и другую  $R_B \sin \alpha$ , нормальную к направлению движения. Если принять направление потока за положительное направление, то в зависимости от угла  $\alpha$  составляющие силы действия ветра будут изменяться по закону  $\sin \alpha$  и  $\cos \alpha$ , принимая или положительное или отрицательное значение.

Под влиянием нормальной составляющей силы ветра плоточная единица с течением времени может приблизиться к берегу и соприкоснуться с ним, вследствие чего возникает сила трения (на рис. 1 показано возможное действие сил для такого случая). Для того чтобы плоточная единица могла без постороннего воздействия отплыть от берега, необходимо, чтобы сумма моментов всех сил относительно точки С имела положительное направление, т.е. необходимо соблюдение неравенства

$$Rd > R_B (n \sin \alpha + h \cos \alpha). \quad (1)$$

Учитывая изложенное, можно сделать вывод о лесосплаве в сплочных единицах на прямолинейном участке реки. Движение возможно лишь при тихой погоде и в том случае, когда направление скорости симметрично относительно центра тяжести единицы. Изменение направления движения может произойти под влиянием ветра, который в зависимости от угла и силы действия может отклонить единицу в ту или другую сторону от лесосплавного пути, ускорять или замедлять ее движение, а в случае, когда  $R_B \cos \alpha > R$ , то и придать ей движение в обратном направлении, что возможно лишь при относительно больших скоростях ветра. Освобождение сплочной единицы от берега в случае ее соприкосновения с ним возможно лишь при соблюдении неравенства (1). Что же касается случаев прохождения сплочной единицей криволинейных участков реки, то здесь к действующим силам добавляется еще центробежная сила, которая стремится вывести ее из состояния прямолинейного движения и прижать к вогнутому берегу, а это в свою очередь усложняет явление движения.

Найдем значение всех сил, действующих на плоскую сплочную единицу в случае ее движения по прямому участку. Сплочная единица на стоячей воде без постороннего воздействия перемещаться не может, так как испытывает лишь действие вертикальных сил тяжести и противоположных им сил давления воды. Если же к ней приложить какую-то внешнюю силу (силу тяги, влечения воды, ветра) по направлению, совпадающему с продольной осью, то этим и будет вызвано ее движение. В нашем случае движение осуществляется под действием сил влечения течением и ветром.

Сила влечения течением находится в функциональной зависимости от скорости движения воды, размеров сплочной единицы и состоит из лобовой, или водоворотной силы влечения (сопротивления формы) и силы влечения от трения воды о смоченную часть ее поверхности (сопротивления трения). Значение этой силы может быть найдено по зависимости для определения сопротивления воды движению плотов [1]:

$$R = (\xi \Sigma + fF) \rho v^2 / 2, \quad (2)$$

где  $\xi$  — расчетный коэффициент сопротивления давления, зависящий от отношения  $B/T$  ( $B$  — ширина,  $T$  — осадка) сплочной единицы;  $\Sigma$  — погруженная в воду площадь поперечного сечения единицы,  $\Sigma = BT$ ;  $f$  — коэффициент сопротивления трения, равный 0,009;  $F$  — смоченная поверхность единицы,  $F = L(B + 2T)$ ;  $\rho$  — плотность воды;  $v$  — скорость движения (в расчетах принимаем равной средней поверхностной скорости движения воды на рассматриваемом участке, в отдельных случаях — на интересующих нас расстояниях от берега).

Величина силы влечения ветром определяется также по аналогии с определением ее для плотов (1):

$$R_B = (\xi_B \Sigma_H + f_B F_B) \rho_B v_B^2 / 2, \quad (3)$$

где  $\xi_B$  — коэффициент сопротивления давления ветра, равный 0,13;  $\Sigma_H$  — площадь поперечного сечения надводной части,  $\Sigma_H = B(H - T)$  (здесь  $H$  — средняя высота, равная  $d_{cp}$ );  $f_B$  — коэффициент сопротивления трения воздуха, рав-



ный 0,02;  $F_B$  — площадь трения,  $F_B = BL$ ;  $\rho_B$  — плотность воздуха, равная  $1,225 \text{ кг/м}^3$ ;  $v$  — скорость ветра относительно сплотовой единицы.

При направлении ветра, совпадающем с направлением движения сплотовой единицы, она способствует увеличению скорости, при противоположном — замедляет ее продвижение, а при направлении под углом происходит смещение сплотовой единицы в ту или другую сторону в зависимости от угла и направления действия.

Для удобства анализа определим значения сил, действующих на единицу, для случая, когда она находится под действием силы влечения течения, силы воздействия ветра и силы трения. Воздействие от ветра примем препятствующим движению, так как на участках, где происходила остановка сплотовых единиц, направление его было под углом к движущейся единице. В основу расчетов приняты параметры потока для второго расчетного створа как наиболее неблагоприятного при проведении опытного лесосплава плоских сплотовых единиц. Расчет произведен для одной единицы размером  $8 \times 4 \text{ м}$  и одной единицы размером  $4 \times 4 \text{ м}$ .

При расчетах сплотовой единицы размером  $8 \times 4 \text{ м}$  средний диаметр бревен принят равным  $d_{cp} = 0,25 \text{ м}$ , осадка  $T = 0,8$ ,  $d_{cp} = 0,8 \cdot 0,25 = 0,2 \text{ м}$ ;  $\Sigma = BT = 4 \cdot 0,2 = 0,8 \text{ м}^2$ ;  $F = L(B + 2T) = 8(4 + 2 \cdot 0,2) = 35,2 \text{ м}^2$ ; коэффициент  $\zeta$  при  $B/T = 4/0,2$  равен 1,55.

При определении силы воздействия ветра и ее составляющих на эту же единицу приняты следующие значения, входящие в расчетную зависимость (3):  $\zeta_B = 0,13$ ;  $\Sigma_H = B(H - T) = B(d_{cp} - T) = 4(0,25 - 0,20) = 0,2 \text{ м}^2$ ;  $f_B = 0,02$ ;  $F_B = BL = 4 \cdot 8 = 32 \text{ м}^2$ ;  $\rho_B = 1,225 \text{ кг/м}^3$ ;  $v = 9 \text{ м/с}$ .

Величина силы трения в случае соприкосновения единицы с берегом определялась по зависимости  $T = R_B \sin \alpha \mu$  (здесь  $\mu$  — коэффициент трения, величина которого принята по [2] и равна 0,45). Для оценки возможности отплытия сплотовых единиц от берега без постороннего воздействия нами определялись также и моменты воздействия от составляющих силы ветра ( $R_B \sin \alpha h$  и  $R_B \cos \alpha h$ ), а также общий момент от воздействия ветра. Величины плеч  $n$  и  $h$  приняты для случая, когда сила ветра приложена в центре тяжести сплотовой единицы. Значения расчетных величин для сплотовых единиц  $8 \times 4 \text{ м}$  и  $4 \times 4 \text{ м}$  приведены в табл. 2, 3, 4, 5.

Проведенные расчеты показывают, что в случае смещения сплотовой единицы в зону пониженных скоростей и соприкосновения ее с берегом не всегда может быть выполнено неравенство (1), обеспечивающее отплытие единицы от берега самостоятельно, без принудительного воздействия на нее. Так, для сплотовой единицы размером  $8 \times 4 \text{ м}$  уже с направления ветра  $\alpha = 40^\circ$  дальнейшее продвижение становится невозможным, так как момент от действия силы влечения течением становится уже меньше, чем момент от силы действия ветра. Что же касается сплотовой единицы  $4 \times 4 \text{ м}$ , то скорость  $v_B = 9 \text{ м/с}$  не в силах оказать препятствие развороту и отплытию ее от берега. Таким образом, с точки зрения проплава при соблюдении одинаковых условий более пригодными являются сплотовые единицы с соотношением  $LB = 1 \times 1$ .

Опыт проведения лесосплава в плоских сплотовых единицах показал, что даже при таких высоких скоростях течения и глубинах без соответствующей подготовки реки не всегда удается осуществить беспрепятственный их

Таблица 2.

Значения силы влечения течением для  $L_B = 8 \times 4 \text{ м}$ 

| Расстояние от берега, м                               | 1    | 2    | 3    | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 17    |
|-------------------------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Скорость, м/с                                         | 0,07 | 0,14 | 0,19 | 0,25  | 0,34  | 0,43  | 0,51  | 0,58  | 0,64  | 0,70  | 0,73  |
| Сила $R, \text{Н}$                                    | 3,8  | 14,2 | 28,1 | 46,7  | 89,9  | 143,9 | 202,5 | 261,8 | 313,8 | 381,4 | 409,1 |
| Момент от воздействия силы $M, \text{Н}\cdot\text{м}$ | 10,2 | 37,9 | 75,0 | 124,7 | 240,2 | 384,3 | 540,6 | 699,1 | 851,3 | 1018  | 1092  |

88

Таблица 3.

Значения силы трения и составляющих силы ветра для  $L_B = 8 \times 4 \text{ м}$ 

| $\alpha$ , град                          | 0     | 10    | 20     | 30     | 40     | 50     | 60     | 70     | 80     | 90     |
|------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $R \sin \alpha, \text{Н}$                | 0     | 5,74  | 11,30  | 16,53  | 21,24  | 25,31  | 28,62  | 31,05  | 32,55  | 33,05  |
| $R \cos \alpha, \text{Н}$                | 33,05 | 32,55 | 31,05  | 26,82  | 25,31  | 21,24  | 16,53  | 11,30  | 5,74   | 0      |
| $R \sin \alpha n, \text{Н}\cdot\text{м}$ | 0     | 22,96 | 45,20  | 66,12  | 84,96  | 101,24 | 114,48 | 124,20 | 130,20 | 132,20 |
| $R \cos \alpha h, \text{Н}\cdot\text{м}$ | 66,10 | 65,10 | 62,10  | 53,64  | 50,62  | 42,48  | 33,06  | 22,60  | 11,48  | 0      |
| $M, \text{Н}\cdot\text{м}$               | 66,10 | 88,06 | 107,30 | 119,76 | 135,58 | 143,72 | 147,54 | 146,80 | 141,68 | 132,20 |
| $T, \text{Н}$                            | 0     | 2,58  | 5,08   | 7,44   | 9,56   | 11,39  | 12,88  | 13,97  | 14,65  | 14,87  |

Таблица 4.

Значения силы влечения течением для  $L_B = 4 \times 4 \text{ м}$ 

| Расстояние от берега, м                                | 1    | 2    | 3    | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 17    |
|--------------------------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Скорость, м/с                                          | 0,07 | 0,14 | 0,19 | 0,25  | 0,34  | 0,43  | 0,51  | 0,58  | 0,64  | 0,70  | 0,73  |
| Сила $F, \text{ Н}$                                    | 3,4  | 12,7 | 25,1 | 41,8  | 80,4  | 128,6 | 180,9 | 234,0 | 284,9 | 340,8 | 365,6 |
| Момент от воздействия силы $M, \text{ Н}\cdot\text{м}$ | 9,1  | 33,8 | 67,0 | 111,5 | 214,7 | 343,4 | 483,0 | 624,8 | 760,7 | 910,0 | 976,2 |

9

Таблица 5.

Значения силы трения и составляющих силы ветра для  $L_B = 4 \times 4 \text{ м}$ 

| $\alpha, \text{ град}$                       | 0     | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $R \sin \alpha, \text{ Н}$                   | 0     | 2,98  | 5,87  | 8,58  | 11,04 | 13,15 | 14,87 | 16,13 | 16,91 | 17,17 |
| $R \cos \alpha, \text{ Н}$                   | 17,17 | 16,91 | 16,13 | 14,87 | 13,15 | 11,04 | 8,58  | 5,87  | 2,98  | 0     |
| $R \sin \alpha \eta, \text{ Н}\cdot\text{м}$ | 0     | 5,96  | 11,74 | 17,16 | 22,08 | 26,30 | 29,74 | 32,26 | 33,82 | 34,34 |
| $R \cos \alpha \eta, \text{ Н}\cdot\text{м}$ | 34,34 | 33,82 | 32,26 | 29,74 | 26,30 | 22,08 | 17,16 | 11,74 | 5,96  | 0     |
| $M_B, \text{ Н}\cdot\text{м}$                | 34,34 | 39,88 | 44,00 | 46,90 | 48,38 | 48,38 | 46,90 | 44,00 | 39,88 | 34,34 |
| $T, \text{ Н}$                               | 0     | 1,34  | 2,64  | 3,86  | 4,97  | 5,96  | 6,69  | 7,26  | 7,61  | 7,72  |

проплав. Вопрос о целесообразности его внедрения может быть решен лишь после проведения соответствующих технико-экономических расчетов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по проектированию лесосплавных предприятий. ВСН 4-78. — Л.: Ротапринт Гипролестранса, 1979. — 293 с.
2. Водный транспорт леса: Справочник. — М.: Гослесбумиздат, 1963. — 561 с.

УДК 625.7 + 539.376

С.С.МАКАРЕВИЧ, канд. техн. наук (БТИ)

### К РАСЧЕТУ СЛОИСТЫХ ВЯЗКОУПРУГИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

В работах [1–3] приводятся основы расчета дорожных одежд из вязкоупругих материалов. Но конкретные аналитические выражения, характеризующие напряжения и перемещения, получены только для однородного вязкоупругого полупространства [3, 4] и для двухслойной конструкции [5]. Дорожные конструкции, состоящие из трех и более слоев имеют очень усложненное решение систем дифференциальных и интегральных уравнений. Применение численных методов на основе ЭВМ оказывается в данном случае тоже недостаточно рациональным. Как показано в работе [6], даже в упругой постановке решение этой задачи с помощью ЭВМ не всегда дает удовлетворительные результаты, так как вычислительный процесс длителен и подчас неустойчив. Поэтому в данной работе рассматривается приведение многослойной дорожной конструкции к двухслойной расчетной модели. Так как толщина верхних слоев дорожной одежды невелика по сравнению с подстилающим полупространством, то их можно заменить одним эквивалентным однородным слоем с переменным по высоте модулем упругости  $E_r$  (рис. 1). Найдем зависимость модуля упругости  $E_r$  от модулей упругости слоев. Выделим из дорожной конструкции элемент высотой  $h$ , соответствующий толщине всех

слоев, лежащих над подстилающим полупространством, и с поперечными размерами, равными единице.

При дальнейших выводах будем полагать, что слои в пачке деформируются согласно наследственной теории Больцмана–Вольтерра. Между ними существует полное сцепление, и они работают совместно без проскальзывания; соблюдается гипотеза плоских сечений (гипотеза Бернулли). Следует отметить, что коэффициенты Пуассона для материалов, применяемых при строительстве дорог, отличаются незначительно, а поэтому стеснением поперечных деформаций можно пренебречь.

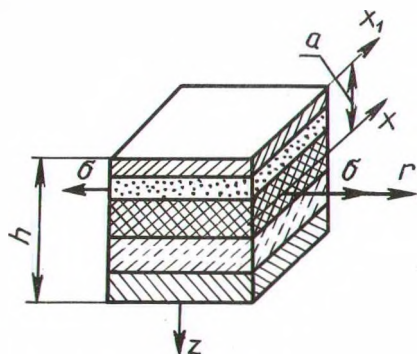


Рис. 1. Расчетная схема слоистой системы.