

6. *Полубояринов О.И.* Плотность древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 159 с.

7. *Стрекаловский Н.И.* Физико-механические свойства древесины северной ели // Тр. Ин-та леса АН СССР. – М.; Л., 1949. – Т. 4. – С. 102–107.

СевНИИЛХ

Поступила 01.02.2000 г.

G.A. Chibisov, S.A. Moskaleva

Wood Quality of Spruce Stands Formed after Selective Felling

The anatomic and physical-and-mechanical characteristics of spruce wood have been studied for spruce stands formed after selective felling carried out twice (after 50 and 20 years).

УДК 630*378.33/.8:556.013/.014

В. Я. Харитонов, Н. С. Главатских

Харитонов Виктор Яковлевич родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет более 170 печатных трудов в области водного транспорта леса, экологии водных объектов, гидродинамики.



Главатских Наталья Сергеевна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры водного транспорта леса и гидравлики АГТУ. Имеет 5 печатных работ по вопросам гидрологии, математического моделирования в гидрологии, водного транспорта леса.



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РАВНИННЫХ РЕК

Изучены натурные поперечные профили малых и средних рек Северодвинского бассейна на плесах и перекатах. Подобраны аналитические зависимости, по которым можно построить теоретический поперечный профиль реки. Получены формулы, отображающие зависимость ширины реки от глубины.

После многолетнего безразличного отношения к транспортному использованию малых и средних рек производственная общественность приходит к пониманию того, что выход из экономического кризиса, увеличение объемов производства, в частности в лесном комплексе, а также социальное развитие отдаленных регионов со слабо развитой сетью сухопутных дорог невозможны без вовлечения в эксплуатацию водных путей, на которых ранее проводился молевой лесосплав. Так, в материалах научно-практической конференции «Научно-техническая политика и развитие новых отраслей экономики Архангельской области» [1] одним из перспективных направлений признано восстановление лесосплава с применением новых технологий.

Возможны разные виды транспорта леса по малым и средним рекам: лесосплав в сплоточных единицах без судовой тяги («вольницей») на реках, по которым нет судоходства; буксировка в плотках и кошелях; перевозка леса на судах.

В целях обеспечения безаварийности водного транспорта и минимального негативного воздействия его на природную среду все перечисленные виды нуждаются в тщательном гидрологическом обосновании как на стадии выбора реки, пригодной для транспортной эксплуатации, так и при разработке проекта организации по ней водного транспорта вообще и лесоматериалов в частности.

На кафедре водного транспорта леса и гидравлики АГТУ в плане выполнения ФЦНТП прорабатывается проект «Разработать технологию судоперевозок древесного сырья по малым и средним рекам». Одной из задач проекта является анализ формы поперечного сечения русел рек в целях их математического моделирования и последующего использования моделей для прогнозирования принципиальной возможности судоходства, а также того или иного вида водного транспорта леса по конкретной реке при ограниченном объеме гидрологических сведений по ней. Форма поперечного сечения русла и продолжительность стояния уровней заданной обеспеченности позволяют ориентировочно определить лесопропускную способность или возможный грузооборот реки.

В нашей работе [2] приведены результаты математического анализа поперечных профилей средних и малых рек бассейна Северной Двины на перекатах. Ниже дается углубленный анализ профилей тех же перекатов в сопоставлении с профилями на плесовых участках.

* Поперечные профили на перекатах получены при полевых исследованиях кафедры, профили на плесах получены в Архангельском гидрометцентре, за предоставление которых авторы благодарят его руководство.

Таблица 1

| Река | Створ | a_0 | a_1 | a_2 |
|----------|---------------|--------|--------|---------|
| Перекат | | | | |
| Пинега | Великая | 49,98 | -0,700 | 0,00297 |
| | 540,3 км | 26,57 | -0,204 | 0,00559 |
| Уфтюга | Н. Выйский | 15,44 | -0,545 | 0,00111 |
| | Иховоложа | 22,66 | -0,200 | 0,00074 |
| | Куликово | 33,79 | -0,366 | 0,00133 |
| Устья | Бернятино | 20,34 | -0,130 | 0,00039 |
| | Бестужево | 21,71 | -0,172 | 0,00055 |
| | Пушкино | 15,97 | -0,899 | 0,00265 |
| Плес | | | | |
| Пинега | Северный | 86,06 | -0,179 | 0,00120 |
| Уфтюга | Ярухино | 57,46 | -0,151 | 0,00096 |
| Устья | Бестужево | 93,47 | -0,257 | 0,00199 |
| | Шангалы | 67,09 | -0,165 | 0,00100 |
| Вага | Глуборецкая | 118,46 | -0,197 | 0,00290 |
| | Филяевская | 67,11 | -0,173 | 0,00096 |
| Н. Тойма | Метил | 50,99 | -0,202 | 0,00313 |
| Ваеньга | Филимоновская | 23,89 | -0,247 | 0,00225 |

Поперечный профиль реки в своем очертании имеет кривую, близкую к параболе. На этом основании для нахождения математической модели поперечного профиля предложен полином второй степени

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2. \quad (1)$$

Коэффициенты этого полинома приведены в табл. 1.

Профили, построенные по уравнению (1) (рис. 1), не описывают натуральный профиль с достаточным приближением, но его удобно использовать для отыскания оси симметрии профиля и переноса начала координат в точку, где $y = y_{\min}$ [2], т. е. координаты x_0 и y_0 :

$$x_0 = -\frac{1}{2} \frac{a_1}{a_2}; \quad (2)$$

$$y_0 = a_0 + a_1 \left(-\frac{1}{2} \frac{a_1}{a_2} \right) + a_2 \left(-\frac{1}{2} \frac{a_1}{a_2} \right)^2. \quad (3)$$

Увеличением степени полинома можно добиться практически полного совпадения теоретического профиля с натурным, но при этом усложняется практическое использование формул. Для дальнейшего анализа принят полином четвертой степени

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4, \quad (4)$$

который обеспечивает достаточную точность построения поперечных профилей (рис. 1).

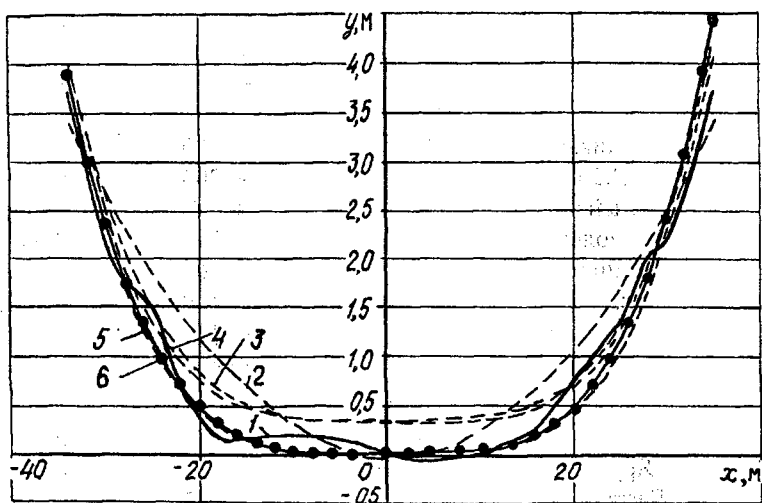


Рис. 1. Совмещенные профили на плесе в створе д. Глуборецкая (р. Вага): 1 – натура; 2 – построенные по формуле (1); 3 – по формуле (4); 4 – по формуле (6); 5 – по формуле (9); 6 – смоделированный

Анализ полинома (4) показывает несущественность влияния коэффициентов a_1 , a_2 , a_3 на точность аппроксимации, и их можно исключить. Окончательно приняты уравнения:

для перекатов

$$y = a_4 x^4; \quad (5)$$

для плесов

$$y = a_0 + a_4 x^4 \quad (6)$$

с началом координат в найденной точке минимума функции (1) – условной низшей точке дна русла.

На рис. 1 представлен смоделированный по формуле (6) профиль плеса в створе д. Глуборецкая.

В табл. 2 приведены коэффициенты уравнений (5), (6) для перекатов и плесовых участков, а также корреляционные отношения R и значения среднегогодового максимального расхода Q_{\max} .

Как и при анализе перекатов [2], за формообразующий принят среднесуточный максимальный расход в изучаемом створе.

Поиск корреляционной зависимости коэффициентов уравнения (6) показал, что наиболее тесная связь для плесов, как и для перекатов, наблюдается при использовании функции вида

$$a = b Q_{\max}^c, \quad (7)$$

Таблица 2

| Река | Створ | Q_{\max} , м ³ /с | $a_4 \cdot 10^{-8}$ | a_0 | R |
|----------|---------------|--------------------------------|---------------------|-------|------|
| Перекат | | | | | |
| Пинега | Великая | 371 | 238 | - | 0,92 |
| | 540,3 км | 1070 | 7,74 | - | 0,80 |
| Уфтьюга | Н. Выйский | 1080 | 0,56 | - | 0,75 |
| | Иховоложа | 467 | 15,3 | - | 0,95 |
| | Куликово | 474 | 33,7 | - | 0,94 |
| Устья | Бернятино | 495 | 9,78 | - | 0,83 |
| | Бестужево | 690 | 6,45 | - | 0,91 |
| | Пушкино | 712 | 1,60 | - | 0,93 |
| Плес | | | | | |
| Пинега | Северный | 1065 | 24,34 | -0,11 | 0,94 |
| Уфтьюга | Ярухино | 510 | 22,22 | 0,50 | 0,92 |
| Устья | Бестужево | 696 | 55,08 | 0,87 | 0,97 |
| | Шангалы | 965 | 15,68 | 0,75 | 0,95 |
| Вага | Глуборецкая | 179 | 255,4 | 0,35 | 0,99 |
| | Филяевская | 1147 | 12,31 | 0,83 | 0,99 |
| Н. Тойма | Метил | 243 | 245,6 | 0,63 | 0,92 |
| Ваеньга | Филимоновская | 284 | 78,64 | 0,79 | 0,95 |

Таблица 3

| Коэффициент | b | c | R |
|-------------|-------|--------|------|
| Перекат | | | |
| a_4 | 2690 | -3,73 | 0,80 |
| Плес | | | |
| a_0 | 0,607 | -0,008 | 0,01 |
| a_4 | 0,009 | -1,570 | 0,93 |

Аппроксимацией коэффициентов a из табл. 2 с помощью функции (7) получены постоянные b и c для перекатов и плесов (табл. 3).

Как видно из табл. 3, связь $a_4 = f(Q_{\max})$ весьма тесная, поскольку корреляционное отношение R близко к единице, а связь $a_0 = f(Q_{\max})$ практически отсутствует ($R \ll 1$). Поэтому приняты расчетные уравнения (5), (6) следующего вида:

для перекатов при $350 \leq Q_{\max} \leq 1100$ м³/с

$$y = 2690 Q_{\max}^{-3,73} x^4; \quad (8)$$

для плесов при $150 \leq Q_{\max} \leq 1150$ м³/с

$$y = \bar{a}_0 + 0,009 Q_{\max}^{-1,57} x^4, \quad (9)$$

где \bar{a}_0 – среднее арифметическое из значений коэффициентов a_0 (табл. 2),

$\bar{a}_0 = 0,67$ м (не учитывается значение a_0 п. Северный).

Для практических расчетов удобнее заменить $x = B/2$ и $y = H$, где B , H – соответственно ширина и глубина реки.

После преобразований рабочие формулы примут вид:
для перекатов

$$B = 0,278 Q_{\max}^{0,93} H^{0,25}; \quad (10)$$

для плесов

$$B = 6,49 Q_{\max}^{0,393} (H - 0,67)^{0,25}. \quad (11)$$

На рис. 1 приведены совмещенные профили натурный и условный, построенный по формуле (9). Он весьма близок к профилю, построенному по аналитической зависимости (6). Так, при глубине $H = 4$ м расчетная ширина реки 67,3 м, а фактическая 69,5 м, т. е. абсолютная ошибка равна 2,2 м, а относительная 3,17 %.

Для упрощения расчетов на рис. 2 приведены графики, из которых следует, что при небольших расходах (для малых рек) и одинаковом уровне ширина на перекатах меньше, чем на плесах. Поэтому перекаты являются лимитирующими участками при определении габаритов судового (лесосплавного) хода. При больших расходах (для средних рек) лимитирующими являются плесы.

Введение постоянной величины a_0 для плесов позволило приблизить теоретический профиль к натурному, но в некоторых случаях теоретический проходит ниже натурного, что может привести к завышению расчетной осадки судна или плота. Чтобы избежать этого, рекомендуется увеличить донный запас против нормативного на возможную ошибку ϵ .

Статистической обработкой значений a_0 (см. табл. 2) получено среднее арифметическое $a_0 = 0,67$ м, среднеквадратичное отклонение $\sigma = \pm 0,191$ м. С вероятностью 95 % постоянная добавка к донному запасу составит $\epsilon = 0,86$ м.

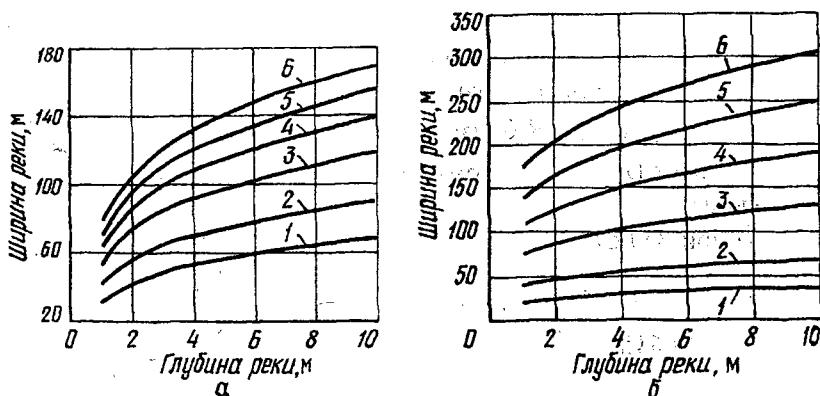


Рис. 2. График зависимости ширины реки от глубины: а – плесы; б – перекаты; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – при Q_{\max} соответственно 100, 200, 400, 600, 800, 1000 м³/с