

λ_M^* , λ_Q^* — матрицы линий влияния M и Q первого этапа расчета.

Расчеты второго этапа вошли в состав программы «COMBY LV» на языке Фортран, которая позволяет получить комплект выходных матриц линий влияния прогибов, углов поворота, изгибающих моментов и поперечных сил в балке комбинированного сечения и крутящих моментов в связях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Глотов Б. А. Основы расчета деревобетонных мостов // Мосты: Науч. тр. / Саратов. ПИ, 1968.— Вып. 34.— С. 89—111. [2]. Игнатъев В. А., Глотов И. Б. К расчету составных стержней с дискретными регулярными связями // Строительство и архитектура.— 1974.— № 10.— С. 39—42.— (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Ржаницына А. Р. Теория составных стержней строительных конструкций.— М.: Стройиздат, 1948.— 192 с. [4]. Стуков В. П. Метод расчета мостовых клееных деревянных балок, работающих совместно с железобетонной плитой // Лесн. журн.— 1991.— № 2.— С. 38—45.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Уманский А. А. Специальный курс строительной механики. Ч. 2.— М.; Л.: Стройиздат, 1940.— 196 с. [6]. Bier H. Structural form in timber // Trans. Inst. Prof. Eng. Sec.— 1984.— 11, N 2.— P. 33—44. [7]. Gower F. Safe timber bridges depend on approach design // Logg. and Sawmill. I.— 1983. 14, N 3.— P. 11—13. [8]. Timber bridge decks // Civ. Eng. (USA).— 1985, 55, N 5.— P. 47—49.

Поступила 21 октября 1992 г.

УДК 551.482.215

О ГИДРАВЛИКЕ ЛЕСОСПЛАВНЫХ И СУДОХОДНЫХ РЕК СИБИРИ

В. Е. СЕРГУТИН

Красноярский инженерно-строительный институт

Мелиоративные выправительные работы для лесосплава и судоходства на реках Западной и Восточной Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока базируются на гидравлических расчетах, часть из которых выполняется с применением натуральных данных. Состоявшийся в Ленинграде V Всесоюзный гидрологический съезд (1986 г.) вынес решение об усилении поиска эмпирических связей между элементами гидравлики речных русел, т. е. обобщении результатов экспериментов, поставленных самой природой, и расширении стандартных наблюдений. Эти же вопросы поднимались на Всесоюзном совещании по гидрологии Сибири (1989 г.), II и III гидрологических конференциях по Дальнему Востоку и Забайкалью (1983 и 1989 гг.), конференциях МГУ и координационных совещаниях по эрозионным и русловым процессам (1986—1992 гг.) и др.

Нами выполнены исследования по установлению связей между элементами гидравлики потока и морфометрии русла рек от Урала до Дальнего Востока на основании данных Гидрологических ежегодников издания до 1976 г. (тома с 4 по 9). Схематизированные связи представлены на рис. 1, где приняты следующие обозначения:

$Q = Q(\lambda)$ — расход;

B — ширина русла;

h — средняя глубина русла;

B/h — относительная ширина русла;

H — максимальная глубина русла в сечении;

$\epsilon = H/h - 1$ — коэффициент формы русла;

$n = n(B/h, \epsilon)$ — коэффициент шероховатости;

$C = C(B/h, \epsilon)$ — скоростной коэффициент Шези;

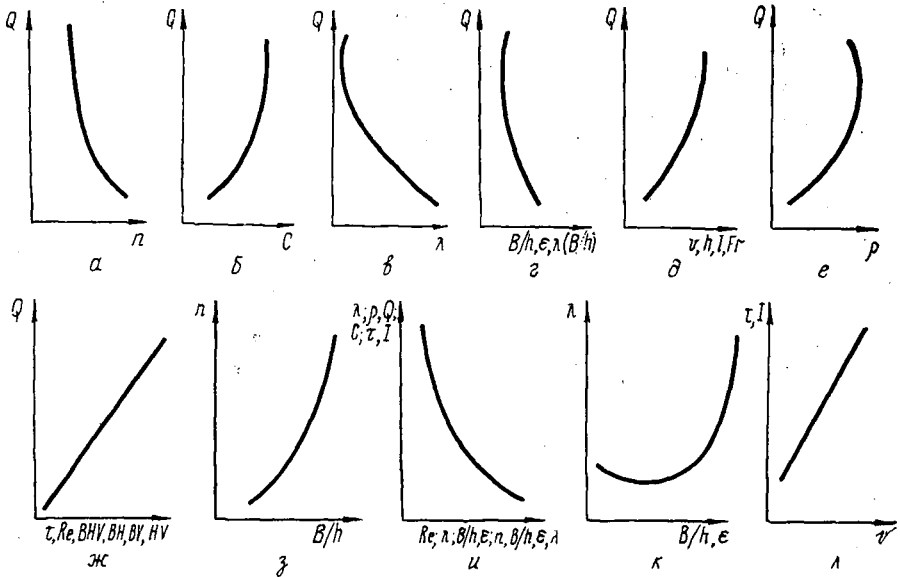


Рис. 1. Схематизированные связи элементов гидравлики потока и морфометрии русла: а — $Q = Q(n)$; б — $Q = Q(C)$; в — $Q = Q(\lambda)$; г — $Q = Q(B/h, \epsilon, \lambda(B/h))$; д — $Q = Q(v, h, I, Fr)$; е — $Q = Q(\rho)$; ж — $Q = Q(\tau, Re, BHV, BH, BV, HV)$; з — $n = n(B/h)$; и — $\lambda = \lambda(Re)$; к — $\rho = \rho(\lambda)$; л — $C = C(B/h, \epsilon)$; м — $\tau, I = \tau, I(n, B/h, \epsilon, \lambda)$

$\lambda = 8g/C^2$ — коэффициент гидравлического трения по Дарси;
 $\lambda(B/h)$ — критерий плановой гидравлики [5, 6];

v — средняя скорость течения;

$I = I(n, B/h, \epsilon, \lambda)$ — гидравлический уклон (принимается равным уклону свободной поверхности);

Fr — число Фруда;

$\rho = \rho(\lambda)$ — мутность от взвешенных наносов;

$\tau = \gamma R I$ — удельная сила трения;

γ — плотность жидкости;

R — гидравлический радиус потока;

$Re = vh/\nu$ — число Рейнольдса;

ν — кинематическая вязкость воды.

Приведем поясняющие примеры.

Гидравлическое сопротивление. Лесосплавные и судходные реки имеют расход Q , относительную ширину B/h и форму русла, оцениваемую показателем ϵ при минимальных гидравлических сопротивлениях λ . Этот факт объясняется тем, что, когда при повышенном расходе убывающее сопротивление на средних и выше средних горизонтах вновь начинает возрастать (поток затопливает свои русловые макроформы — косы, побочки, осередки, другие неровности, не задействованные во время межени), относительная ширина продолжает монотонно снижаться до самого пика гидрографа. Отмеченный факт классифицируется как знакопеременное изменение гидравлических сопротивлений, связанное с русловым рельефом при увеличении расхода [10, 12]. Иными словами, две функции (гидравлическое сопротивление и относительная ширина при соответствующей форме русла) по одному аргументу (расходу) имеют разное направление (рис. 2), а их связь между собой и дает тот минимум сопротивлений, о котором шла речь выше.

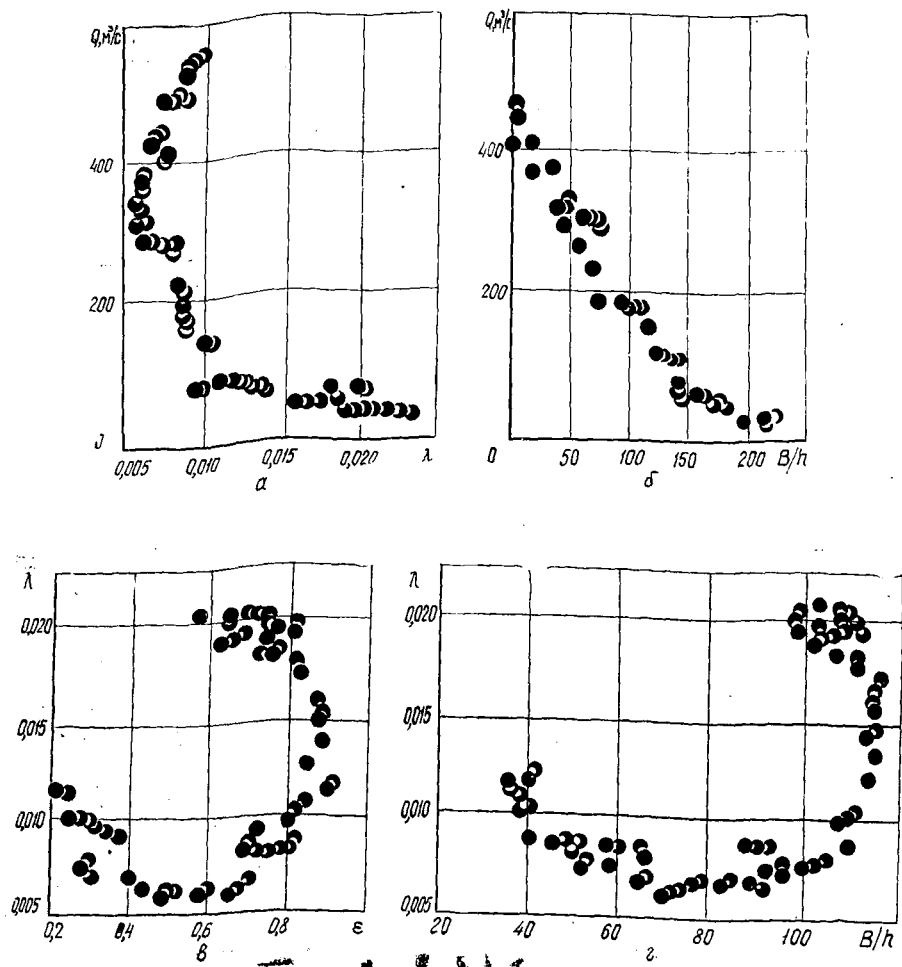


Рис. 2. Связи расхода Q с коэффициентом λ гидравлического трения (а) и относительной B/h шириной (б), а также λ с коэффициентом ϵ формы русла (в) и B/h (г), (р. Ангара, с. Богучаны, расстояние от устья 316 км, площадь водосбора 86 000 км²)

О постоянстве морфометрических «постоянных». Записываем $\lambda(B/h) = idem$ и выполняем построения, исходя из предположения постоянства этого выражения по расходу. Иногда этот комплекс называют критерием плановой гидравлики [5, 6]. Большое внимание уделено ему в работе [9, с. 122—138], условия его записи при приближенном моделировании рассмотрены в докладе [11]. Обычная кривизна связи коэффициента λ с расходом, как и изменение относительной ширины B/h по этому же аргументу, делают графическое изображение $\lambda(B/h)$ на рис. 3 в виде сильно изогнутой кривой. Так, для р. Ангара у с. Богучаны $\lambda(B/h)$ изменяется от 5 до 25, для Енисея у г. Енисейска — от 2 до 10, (расходы колеблются от 6 000 до 40 000 м³/с). Для р. Джебь в бассейне Верхнего Енисея на устьевом участке этот показатель составляет от 5 до 40 при расходе от 10... 100 м³/с.

Коэффициент Дарси и число Рейнольдса (Re). Минимум на графиках связи (рис. 4) коэффициента гидравлического сопротивления λ и числа Re наблюдается при больших значениях последнего ($Re \geq 1,0 \cdot 10^6$) [8].

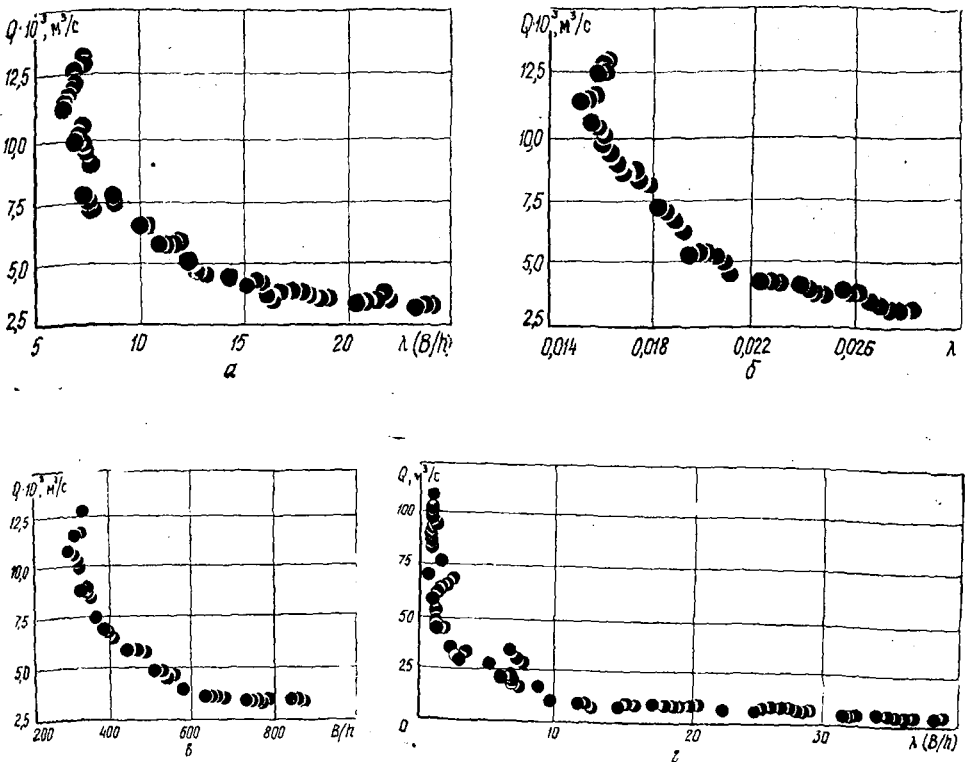


Рис. 3. Связи Q с λ (B/h) (а), λ (б), B/h (в) для р. Ангары (с. Богучаны, 316 км, 86 000 km^2) и с λ (B/h) (г) для р. Джебь — правобережного притока р. Кизира и далее рек Казыра, Тубы, Енисея (п. Джебьский Мост, 15 км, 960 km^2)

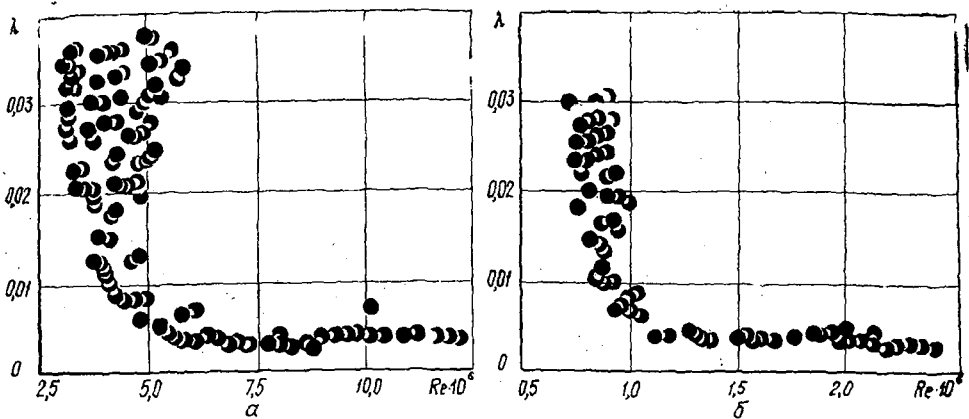


Рис. 4. Связь коэффициента гидравлического трения с числом Рейнольдса: а — р. Енисей (г. Енисейск, 2 054 км, 1 400 000 km^2 ; наибольший среднегоголетний расход по данным 1903—1985 гг. составил 36 600 m^3/s , минимальный — 18 800 m^3/s , максимальный — 57 900 m^3/s); б — р. Курейка — правобережный приток р. Енисея (п. Курейский Рудник на 400 м выше Первого дорога, 98 км, 80 000 km^2 ; район вечной мерзлоты с выходами скальных пород)

Влияние взвешенных наносов на гидравлическое сопротивление. Как отмечают авторы работы [7, с. 169], вопрос о влиянии взвеси в речной воде на гидравлические сопротивления не решается однозначно. На Всесоюзном совещании по русловым процессам при МГУ в 1981 г. К. В. Гришанин образно сравнил взвешенные наносы в речной воде с пылью на подошвах, которую идущий человек не замечает. Логично предположить, что верхней границей взвеси будет селевое грязе-каменное насыщение (р. Хуанхэ в Китае, известная как один из самых взмученных потоков, имеет насыщенность взвеси, достигающую в паводок до $40\,000\text{ г/м}^3$). В работе [1, с. 139] отмечена целесообразность проведения исследований в этой области главным образом на основе натуральных данных. Интересен критический режим насыщения потока, когда мутность уже сказывается на гидравлических сопротивлениях и способности открытого потока транспортировать заданный расход. Применяя для расчетов пропускной способности открытых потоков формулу Шези, где одноименный коэффициент S выражен как $(8g/\lambda)^{0,50}$, видим, что изменение коэффициента гидравлического сопротивления связано обратной зависимостью с расходом: $Q = (8g/\lambda) (RI)^{0,50} \omega$. Среди последних работ по этой теме следует отметить исследования [2—4].

Для лесосплавных и судоходных потоков получаем совмещенные с расходом графические зависимости мутности от взвешенных наносов ρ и коэффициента гидравлического сопротивления Дарси. Эти гиперболические связи состоят из верхней (левой) ветви, где мутность сильно изменяется по расходу, а коэффициент гидравлического сопротивления остается практически постоянным, и нижней (правой), которая отражает обратную зависимость, т. е. при постоянной мутности коэффициент λ увеличивается очень сильно. Иными словами, основное изме-

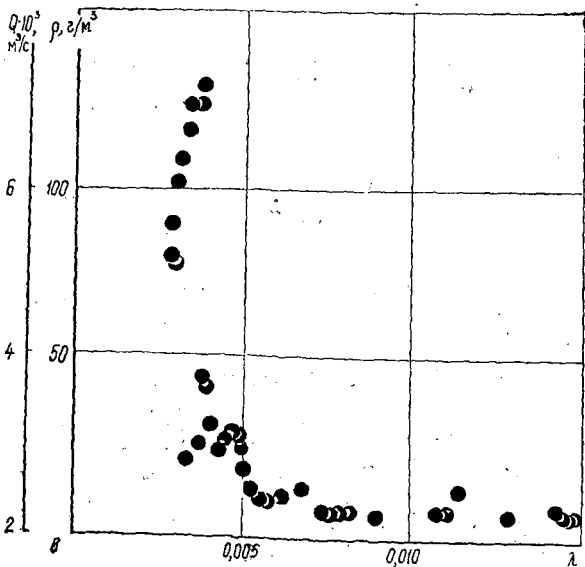


Рис. 5. Связь расхода и мутности от взвешенных наносов ρ с коэффициентом гидравлического трения (λ) в нижнем бьефе плотины Красноярской ГЭС, 2493 км, 289 000 км²; среднегодовой мутности от взвешенных наносов и твердый расход от них в 1950—1970 гг. составил соответственно 70 г/м^3 и $190 \dots 200\text{ кг/с}$)

нение λ за гидрологический сезон происходит при одинаковых уровнях взвеси. Это говорит о том, что мутность от взвешенных наносов, включая ее наибольшие значения во время паводков (например, порядка 1000 г/м^3), практически не влияет на изменение гидравлического сопротивления. Установлено, что воздействие взвеси на сопротивление движению при мутности воды меньше 20000 г/м^3 становится несущественным. Главным фактором гидравлического сопротивления является шероховатость русла [7, с. 170]. Изложенное иллюстрирует рис. 5. Аналогичные графики связи мутности от взвешенных наносов μ с коэффициентом гидравлического сопротивления по Дарси λ имеют следующие потоки:

1) р. Абакан — левобережный приток Енисея, г. Абакан (расстояние от устья 4 км, площадь водосбора 32000 км^2); в 1930—1970 гг. среднемноголетняя мутность от взвешенных наносов 43 г/м^3 , твердый расход от них 23 кг/с ; в 1930—1975 гг. наибольший среднемноголетний расход $2700 \text{ м}^3/\text{с}$ с диапазоном минимальных и максимальных значений $1200 \dots 67000 \text{ м}^3/\text{с}$.

2) р. Туба — правобережный приток Енисея, с. Бугуртак (117 км, 31800 км^2); в 1950—1970 гг. среднемноголетняя мутность от взвешенных наносов 43 г/м^3 , твердый расход от них 32 кг/с ; в 1910—1975 гг. среднемноголетний расход $5040 \text{ м}^3/\text{с}$, диапазон $2800 \dots 10500 \text{ м}^3/\text{с}$.

3) р. Малый Енисей (Ка-Хэм) — левая составляющая Енисея по створу п. Усть-Ужеп (177 км, 12300 км^2).

4) р. Аскиз — левобережный приток Абакана, далее Енисея, с. Казаново (57 км, 860 км^2); в 1952—1970 гг. среднемноголетний расход $55 \text{ м}^3/\text{с}$, диапазон $20 \dots 120 \text{ м}^3/\text{с}$.

5) р. Сым — левобережный приток Енисея по створу фактории Сым (214 км, 22800 км^2).

6) р. Верхняя Ангара впадает в оз. Байкал, с. Верхняя Заимка (31 км, 20600 км^2); в режиме медианного 1962 г. наибольшую мутность (250 г/м^3) в 1946—1963 гг. наблюдали 10.06.62 г.

7) р. Утулик впадает в оз. Байкал, ст. Утулик Восточно-Сибирской ж. д. (3,2 км, 970 км^2); наибольшая мутность в 1941—1967 гг. составила 6200 г/м^3 во время селя 16.07.82 г.

8) р. Индигирка впадает в Северный Ледовитый океан, п. Индигирский (2410 км, 83500 км^2); среднемноголетний расход $430 \text{ м}^3/\text{с}$, расход взвешенных наносов 45 кг/с , мутность 104 г/м^3 .

Скоростная структура. Любой гидравлический расчет лесосплавного или судоходного потока в открытом русле ведется для конкретного вида движения, определяющего характер распределения скоростей по живому сечению. Выбор в зависимости от наличия и полноты гидрометрических данных заключается в принятии определенной схемы торможения по смоченному периметру. Когда данные о размерах потока позволяют судить об изменении скорости как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях при торможении жидкости одновременно о дно и стенки, имеют дело с трехмерными пространственными потоками. Турбулентные пульсации с тремя составляющими мгновенных (точечных) скоростей по осям пространственных координат не учитывают. Если данные о размерах потока дают возможность определить изменение скорости в вертикальной или горизонтальной плоскости и торможение происходило только о дно или только о стенки, его рассматривают как двухмерный (плоский) поток. Изучение плоских течений существенно облегчается простотой уравнений. Достаточно исследовать течение в одной плоскости, чтобы составить представление о потоке в целом, хотя приходится исключать области, примыкающие к боковым стенкам. В работе [7, с. 181] отмечается, что с возрастанием относительной ширины, поток больше приближается к плоскому. В геоморфологии

под плоским понимают поток, который, не имея определенного русла, растекается по поверхности. И, наконец, когда наличие данных позволяет судить об изменении скорости по оси, совпадающей с направлением течения, имеют дело с одномерным (гидравлическим) потоком. В этом случае торможения о дно и стенки не происходит, а скоростной градиент du/dh — перепад скоростей между двумя смежными векторами в вертикальной или горизонтальной плоскости, определяющий по Ньютону силу внутреннего (вязкостного) трения, равен нулю. Это так называемая гидравлическая постановка задачи, когда оперируют понятием средней (расходной) скорости $Q/\omega = v$ (ω — площадь поперечного сечения потока). Для всех потоков направление скорости в произвольной точке живого сечения u совпадает с осью x (вдоль течения). К двум другим осям y и z (по ширине и глубине потока) вектор скорости перпендикулярен. Иллюстрация изложенного приведена на рис. 6.

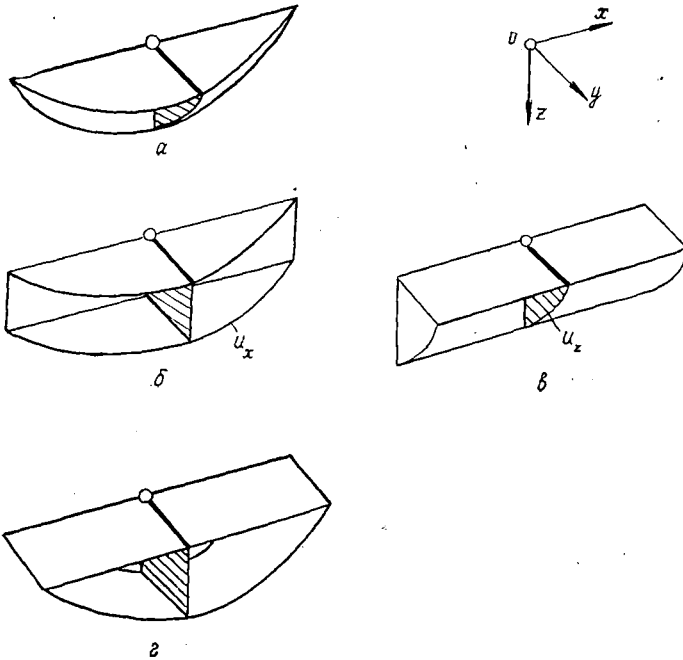


Рис. 6. Скоростная структура речных потоков: трехмерного (а); двухмерного с изменением скорости только по горизонтали (б) или только по вертикали (в); одномерного (г)

Опишем скоростную структуру этих потоков.

Трехмерный (пространственный) поток:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x, \partial y, \partial z} \neq 0.$$

Двухмерный (плоский) поток прямоугольного сечения с изменением скорости:

только по горизонтали

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u_x}{\partial x, \partial z} &\neq 0 \\ \frac{\partial u_x}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\};$$

только по вертикали

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u_x}{\partial x, \partial y} &\neq 0 \\ \frac{\partial u_x}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Одномерный (гидравлический) поток:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u_x}{\partial x} &\neq 0 \\ \frac{\partial u_x}{\partial y, \partial z} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Эпюры скоростей для характерных примеров представлены на рис. 7. Цифры внутри эпюр обозначают среднюю скорость по вертикали.

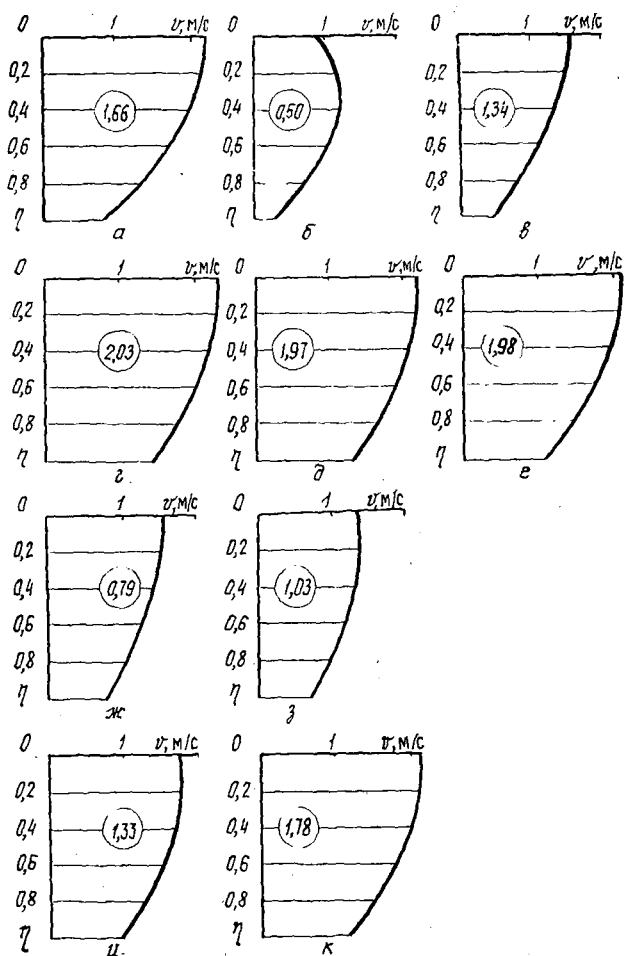


Рис. 7. Эпюры скоростей: а — р. Обь, с. Белогорье, 28.06.79; б — то же место подо льдом 10.12.79; в — створ г. Салехарда, 10.07.61; г, д, е — р. Енисей, г. Красноярск, п. Базайка, 22.05.38. (2462 км, 300 000 км²; среднесуточный расход 1903—1975 гг. составил 13 000 м³/с, минимальный — 7 700 м³/с, максимальный — 23 900 м³/с; ширина на межених горизонтах 814 м); ж, з — р. Кан — правобережный приток Енисея, с. Ирбейское, 16.05.39. (335 км, 8 700 км², ширина 150 м, макс. глубина 2,39 м, расход 209 м³/с); и, к — р. Мана — правобережный приток р. Енисей, 17.05.37. (44 км, 9 100 км², ширина 137 м, макс. глубина 3,27 м, расход 519 м³/с)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Абальянц С. Х. Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах.—Л.: Гидрометеиздат, 1981.—210 с. [2]. Алиев Т. А. Влияние взвеси на гидравлическое сопротивление русловых потоков // Водные ресурсы.—1988.—№ 1.—С. 51—59. [3]. Бакимбетов Н. Б. О влиянии взвешенных наносов на гидравлические сопротивления // Гидротехническое строительство.—1982.—№ 1.—С. 29—31. [4]. Бакимбетов Н. Б. О влиянии наносов на гидравлические сопротивления русла // Гидротехническое строительство.—1981.—№ 12.—С. 40—42. [5]. Головачев С. Н. Условие подобия больших земляных каналов // Науч. тр. Союзводопроекта.—М., 1982.—С. 83—85. [6]. Грачев Н. Р. и др. Закономерности формирования криволинейных русел // Гидротехническое строительство.—1987.—№ 7.—С. 40—43. [7]. Железняков Г. В. Пропускная способность русел каналов и рек.—Л.: Гидрометеиздат, 1981.—312 с. [8]. Зегджа А. П. Гидравлические потери на трение в каналах и трубопроводах.—М.; Л.: Госстройиздат, 1957.—200 с. [9]. Знаменская Н. С. Донные наносы и русловые процессы.—Л.: Гидрометеиздат, 1976.—192 с. [10]. Знаменская Н. С. Динамика русловых потоков: Сборн. науч. тр.—Л.: ЛПИ, 1987.—С. 84—88. [11]. Труды V Всесоюзного гидрологического съезда.—Л., 1986.—Т. 10, кн. 2-я.—С. 348—349. [12]. Труды V Всесоюзного гидрологического съезда.—Л., 1986.—Т. 10, кн. 2-я.—С. 360—361.

Поступила 28 апреля 1992 г.

УДК 629.114.3

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ ЛЕСОВОЗНОГО ТЯГАЧА ПРИ НЕГРУЗОВЫХ ПРОБЕГАХ

А. В. ЖУКОВ, В. В. ЯНУШКО

Белорусский технологический институт

В настоящее время 85 % лесовозных автопоездов оборудуются устройствами для погрузки и перевозки прицепов-ропусков на шасси тягача при негрузовых пробегах, что существенно улучшает показатели эффективности работы лесотранспорта [5]. Однако при этом увеличивается динамическая нагруженность отдельных элементов автопоезда и, как следствие, снижается эксплуатационная надежность несущей системы тягача и технологического оборудования [4].

Устранение указанных отрицательных последствий возможно при использовании дополнительных систем поддрессирования в устройстве перевозки прицепа-ропуски на шасси тягача [3, 4]. Эффективность этой меры уже доказывалась нами в ряде работ [3, 4]. Ниже приведены не освещенные в литературе экспериментальные и расчетные данные об оценке напряженно-деформированного состояния несущей системы тягача при негрузовых пробегах, которые не только иллюстрируют возможности предлагаемой [3] системы поддрессирования, но и имеют самостоятельное значение в теории лесовозного автопоезда.

В наших исследованиях была использована стержневая конечно-элементная модель. Согласно расчетной схеме [6] ролспук моделировали в виде пространственной стержневой конструкции. С учетом особенностей расположения его на шасси тягача определяли опорные точки.

При динамическом расчете задавали функцию воздействия от неровностей дороги. Реализации возмущающих функций соответствовали опытным участкам грунтовой и гравийной дорог.

Протяженность опытных участков дорог (длина реализаций случайного микрорельефа) находили с учетом получения состоятельных статистических оценок и минимальной частоты исследуемого процесса по методике [1].

Справедливость динамических расчетных моделей оценивали по соответствию расчетных и экспериментальных спектральных плотностей