

Московский государственный университет леса

С. П. Карпачев

---

**ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ПО КУРСУ  
МЕЛИОРАЦИЯ ЛЕСОСПЛАВНЫХ ПУТЕЙ И  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ**

**Задача № 3**

Учебное пособие  
для студентов специальности 250401

Москва – 2012

УДК 630.378

К 26

**ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ПО КУРСУ  
МЕЛИОРАЦИЯ ЛЕСОСПЛАВНЫХ ПУТЕЙ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ  
СООРУЖЕНИЯ** : Учебное пособие для студентов спец. 250401 – М.:  
МГУЛ, 2012. – 48 с.: ил.

Разработано в соответствии с Государственным образовательным стандартом ВПО 2000 г. для направления подготовки 656300 на основе примерных программ дисциплин “Лесоинженерное дело” для специальности 250401 2004 года.

*Учебное пособие содержит сведения по решению специальных задач по курсу мелиорации лесосплавных путей и гидротехническим сооружениям. Учебное пособие сопровождается примерами решения задач.*

Одобрено и рекомендовано к изданию в качестве учебного пособия редакционно–издательским советом университета

Рецензенты: профессор А.А. Шадрин;  
доцент Е.Н. Щербаков

Кафедра транспорта леса

Авторы: Сергей Петрович Карпачев, профессор

© Карпачев С.П., 2012

© Московский государственный университет леса

## **Введение**

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов специальности "Лесоинженерное дело".

В учебном пособии рассмотрены примеры решения задач по курсу "Мелиорация лесосплавных путей и гидротехнические сооружения".

Настоящая работа охватывает следующие разделы курса: гидравлические элементы потока, равномерное движение воды в открытых руслах, равномерное движение воды в каналах, равномерное движение воды в естественных речных руслах, неравномерное движение воды в открытых руслах, водосливы, движение грунтовых вод.

Все разделы сопровождаются примерами решения задач.

Целью данного учебного пособия является восполнение пробела по этой теме, недостаточно представленной в имеющейся учебной и справочной литературе, которой пользуются студенты.

### 3. Равномерное движение воды в естественных речных руслах

#### 3.1. Основные понятия

В естественных речных руслах гидравлический расчет обычно сводится к нахождению скорости и расхода воды. Этот расчет имеет большое значение в связи с тем, что гидрометрическими приборами не всегда удается получить основные гидравлические характеристики русла, необходимые при проектировании и при решении ряда практических вопросов.

В естественных речных руслах в случае равномерного движения воды определение скорости ведется, как и в каналах, по формуле Шези (11). Для определения значения коэффициента  $C$  применяется формула Павловского (12). Значения коэффициентов шероховатости  $n$  для естественных водотоков приведены в табл. 4.

Определение таких гидравлических элементов, как смоченный периметр и гидравлический радиус, в речных руслах представляет некоторое затруднение, так как очертания ложа реки в живом сечении не имеют какой-либо правильной геометрической формы.

Таблица 4

#### Коэффициенты шероховатости $n$ для естественных водотоков (по М. Ф. Срибному)

Характеристика русла	$n$
Естественные русла в весьма благоприятных условиях	0,025
Русла больших и средних рек в благоприятных условиях	0,033
Сравнительно чистые русла постоянных равнинных водотоков в обычных условиях	0,040
Русла больших и средних рек, значительно засоренные. Поймы больших и средних рек	0,050
Русла периодических водотоков, сильно засоренные и извилистые. Галечно-валунные русла горного типа. Порожистые участки равнинных рек	0,067
Реки и поймы, значительно заросшие. Валунные русла горных рек с бурным, пенистым течением	0,080
Русла горно-водопадного типа с крупновалунным извилистым строением ложа	0,100
Реки болотного типа с местными углублениями, озерами	0,133
Потоки типа селевых, состоящие из грязи, камней и пр. Глухие поймы (сплошь лесные, таежного типа)	0,200

Для равнинных рек лесной зоны, которые имеют корытообразную форму русла, при вычислении расхода и средней скорости с некоторым упрощением принимают для русел смоченный периметр равным ширине русла, т. е.:

$$\chi = B; \quad (23)$$

Принимая, что площадь живого сечения определяется как произведение ширины на среднюю глубину:

$$\omega = B \cdot h_{\omega}; \quad (24)$$

Гидравлический радиус будет иметь значение:

$$R_z = \frac{\omega}{\chi} = h_{\omega}; \quad (25)$$

Средняя скорость течения согласно формуле Шези (11):

$$v = C \sqrt{h_{\omega} i_0}; \quad (26)$$

и

$$Q = \omega \cdot C \sqrt{h_{\omega} i_0}; \quad (27)$$

где  $i_0$  – уклон свободной поверхности воды в реке.

**Расход воды в широких речных руслах** (рис. 4) при изменяющемся коэффициенте шероховатости по ширине реки можно определить путем разбивки всего живого сечения на  $t$  участков с приблизительно постоянными средними глубинами  $h_m$  и определенной шероховатостью дна  $p_m$  вычисляя для каждого участка элементарный расход и суммируя его.

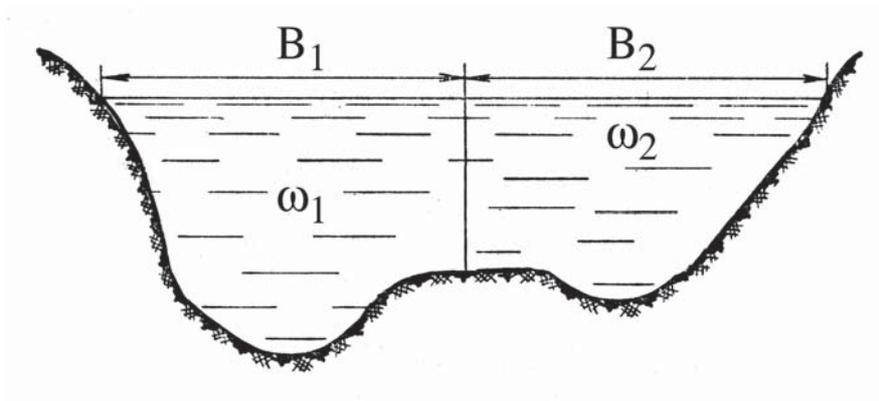


Рис. 4. Русло реки с двумя участками с разной шероховатостью

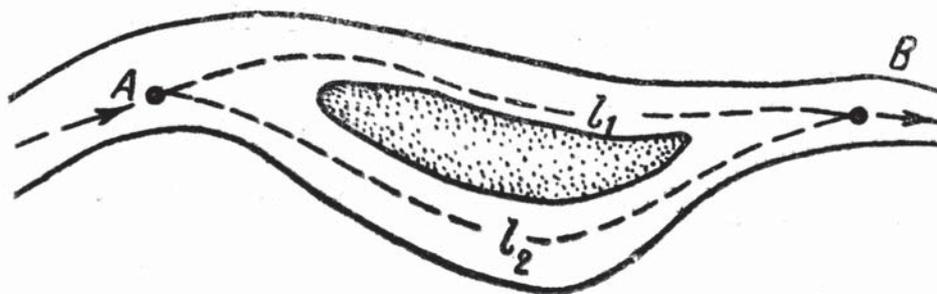


Рис. 5. Двурукавное русло

Если принять, по Павловскому, согласно формуле (12), значение коэффициента  $C$  с учетом  $R=h\omega$ , средняя скорость на вертикали на каждом отдельном участке будет равна:

$$v_m = \frac{1}{n_m} h_m^y \sqrt{h_m \cdot i_0} = \frac{1}{n_m} h_m^{y+0,5} \sqrt{i_0}; \quad (28)$$

а расход в реке определяется выражением:

$$Q = \sum_1^m v_m \Delta\omega_m = \sqrt{i_0} \cdot \sum_1^m \Delta\omega_m \frac{1}{n_m} h_m^{y+0,5}; \quad (29)$$

где  $\omega_m$  – площадь отдельного участка живого сечения со средней глубиной  $h_m$  и определенной шероховатостью дна  $n_m$ ;  
 $i_0$  – общий уклон поверхности воды в реке.

**В случае, когда русло распределяется на два рукава,** гидравлический расчет сводится к определению величины падения уровня  $\Delta z$  на участке от разделения потока А до его слияния В, а также определяется распределение расхода  $Q$  по рукавам (рис. 5). Общая расходная характеристика в этом случае будет равна:

$$K_{\text{общ}} = K_1 + K_2 \cdot \sqrt{\frac{l_1}{l_2}}; \quad (30)$$

Падение уровня  $\Delta z$  может быть определено из соотношения:

$$\Delta z = \frac{l_1}{K_{\text{общ}}^2} \cdot Q^2, \quad (31)$$

где:  $l_1$  и  $l_2$  – соответственно протяженность по оси первого и второго рукавов;  
 $K_1$  и  $K_2$  – соответственно осредненные расходные характеристики для первого и второго рукавов.

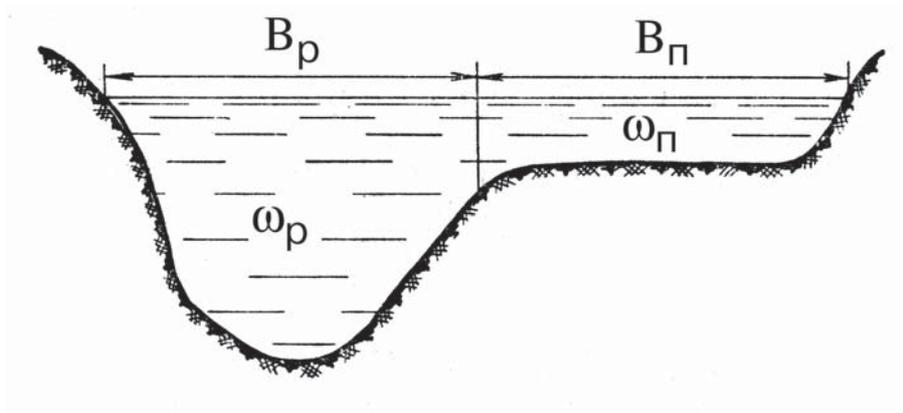


Рис. 6. Пойменное русло

Расход в рукавах реки определится, как:

$$Q_1 = K_1 \cdot \sqrt{\frac{\Delta z}{l_1}}, \quad (32)$$

$$Q_2 = K_2 \cdot \sqrt{\frac{\Delta z}{l_2}}. \quad (33)$$

**Расчет пойменных участков реки** включает расчет скоростей и расходов, а также перераспределение расходов по пойме и руслу.

Для определения средней скорости и расхода воды в пойменных руслах живое сечение реки разбивается на отдельные части с выделением русла, с площадью сечения  $\omega_p$  и поймы с площадью сечения  $\omega_п$  (рис. 6).

Для каждой части сечения определяют: смоченный периметр, гидравлический радиус и коэффициент шероховатости. Затем вычисляют средние скорости по руслу  $v_p$  и по пойме  $v_п$ , и соответствующие им расходы воды  $Q_p$  и  $Q_п$ .

С некоторым упрощением, считая уклоны в главном русле и на пойменном участке одинаковыми (равными  $i_0$ ), перераспределение расходов между руслом и поймой можно установить, определяя полный расход в реке, как сумму расходов, проходящих по руслу и пойме:

$$Q = Q_p + Q_п, \quad (34)$$

или:

$$Q = K_p \cdot \sqrt{i_0} + K_n \cdot \sqrt{i_0} = (K_p + K_n) \cdot \sqrt{i_0}, \quad (35)$$

откуда:

$$\sqrt{i_0} = \frac{Q}{K_p + K_n}, \quad (36)$$

Тогда расход в русле реки будет равен

$$Q_p = \frac{Q}{K_p + K_n} \cdot K_p, \quad (37)$$

и на пойме

$$Q_n = \frac{Q}{K_p + K_n} \cdot K_n. \quad (38)$$

Средняя скорость

$$v = \frac{Q_p + Q_n}{\omega_p + \omega_n}, \quad (39)$$

где  $K_p$  – осредненная расходная характеристика для русла;  
 $K_n$  – осредненная расходная характеристика для поймы;  
 $Q$  – суммарный расход в живом сечении реки.

### 3.2. Задачи для самостоятельного решения

#### Задача 3.1

При высоком уровне воды в реке на двух участках изменяется шероховатость русла (рис. 4).

Ширина, средняя глубина и коэффициент шероховатости для каждого участка живого сечения соответственно равны:

$B_1, B_2$ ;

$h_1, h_2$ ;

$n_1, n_2$ ;

Уклон поверхности уровня воды  $i_0$ .

Требуется определить расход и установить распределение скоростей воды по ширине живого сечения при изменяющейся по ширине шероховатости на двух участках реки.

Исходные данные к задаче 3.1 приведены в табл. П.4 Приложения.

### Задача 3.2

Известен расход воды в реке  $Q$ , который распределен между двумя рукавами реки (рис. 4).

Данные по первому рукаву:  
длина первого рукава  $l_1$ ;  
площадь живого сечения  $\omega_1$ ;  
средняя глубина русла  $h_1$ ;  
коэффициент шероховатости  $n_1$ .

Данные по второму рукаву:  
длина второго рукава  $l_2$ ;  
площадь живого сечения  $\omega_2$ ;  
средняя глубина русла  $h_2$ ;  
коэффициент шероховатости  $n_2$ .

Требуется определить, как распределяется расход  $Q$  между главными рукавами реки.

Исходные данные к задаче 3.2 приведены в табл. П.5 Приложения.

### Задача 3.3

Известен расход воды в реке  $Q$ , который распределен между главным руслом и поймой при высоком стоянии уровней воды (рис. 6).

Данные по руслу:  
площадь живого сечения  $\omega_p$ ;  
средняя глубина русла  $h_p$ ;  
коэффициент шероховатости  $n_p$ .

Данные по пойме:  
площадь живого сечения  $\omega_{п}$ ;  
средняя глубина русла  $h_{п}$ ;  
коэффициент шероховатости  $n_{п}$ .

Требуется определить, как распределяется расход  $Q$  между главным руслом и поймой при высоком стоянии уровней воды.

Исходные данные к задаче 3.3 приведены в табл. П.6 Приложения.

**Требования к оформлению задач.** Результаты решения задачи должны быть представлены в виде отчета на листах бумаги формата А4. Отчет должен иметь титульный лист с указанием варианта, номера группы и фамилии студента. Поперечное сечение русла чертится схематично без учета масштаба на бумаге формата А4.

### 3.3. Примеры решения задач

#### Пример решения задачи 3.1

При высоком уровне воды в реке на двух участках изменяется шероховатость русла (рис. 4).

Ширина, средняя глубина и коэффициент шероховатости для каждого участка живого сечения соответственно равны:

$$B_1 = 200 \text{ м}; \quad h_1 = 2,0 \text{ м}; \quad n_1 = 0,023;$$

$$B_2 = 200 \text{ м}; \quad h_2 = 1,2 \text{ м}; \quad n_2 = 0,030.$$

$$\text{Уклон поверхности уровня воды } i_0 = 0,0003.$$

Требуется определить расход и установить распределение скоростей воды по ширине живого сечения при изменяющейся по ширине шероховатости на двух участках реки.

#### Решение

1. Определяем показатель степени  $y$  по формуле (13) и коэффициент Шези по формуле (26), имея в виду, что  $R_i = h_i$ :

$$y_1 = 0,195; \quad C_1 = 49,77;$$

$$y_2 = 0,243; \quad C_2 = 34,84.$$

2. Распределение скоростей по участкам живого сечения реки определяем по формуле (28):

$$v_1 = 1,22 \text{ м/с};$$

$$v_2 = 0,66 \text{ м/с}.$$

2. Площади живых сечений по участкам определяем по формуле (12):

$$\omega_1 = 400 \text{ м}^2;$$

$$\omega_2 = 240 \text{ м}^2.$$

3. Расходы воды по каждому участку, с учетом формулы (17), будут равны:

$$Q_1 = 488,0 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_2 = 158,4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

4. Общий расход воды определяем суммирование расходов по участкам:

$$Q = 646,4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

### *Пример решения задачи 3.2*

Известен расход воды в реке  $Q = 1500 \text{ м}^3/\text{с}$ , который распределен между двумя рукавами реки (рис. 4).

Данные по первому рукаву:

длина первого рукава  $l_1 = 3000 \text{ м}$ ;

площадь живого сечения  $\omega_1 = 1300 \text{ м}^2$ ;

средняя глубина русла  $h_1 = 6 \text{ м}$ ;

коэффициент шероховатости  $n_1 = 0,04$ .

Данные по второму рукаву:

длина первого рукава  $l_2 = 5000 \text{ м}$ ;

площадь живого сечения  $\omega_2 = 1000 \text{ м}^2$ ;

средняя глубина русла  $h_2 = 2 \text{ м}$ ;

коэффициент шероховатости  $n_2 = 0,08$ .

Требуется определить, как распределяется расход  $Q = 1500 \text{ м}^3/\text{с}$  между главным рукавами реки.

### *Решение*

Определим коэффициенты Шези по формулам Павловского (12) и (13), имея в виду, что  $R_i = h_i$ :

$$y_1 = 0,19; \quad C_1 = 35,14;$$

$$y_2 = 0,18; \quad C_2 = 14,16.$$

Вычисляем расходные характеристики  $K_1$  и  $K_2$  по формуле (17):

$$K_1 = 103290 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$K_2 = 20025 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Общая расходная характеристика будет равна (30):

$$Q_{\text{общ}} = 118801 \text{ м}^3/\text{с}.$$

(31): Падение уровня  $\Delta z$  может быть определено из соотношения

$$\Delta z = 0,478 \text{ м}.$$

Расход в первом рукаве будет равен (32):

$$Q_1 = 1304 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход во втором рукаве будет равен (33):

$$Q_2 = 196 \text{ м}^3/\text{с}.$$

### *Пример решения задачи 3.3*

Известен расход воды в реке  $Q = 1500 \text{ м}^3/\text{с}$ , который распределен между главным руслом и поймой при высоком стоянии уровней воды (рис. 6).

Данные по руслу:

$$\text{площадь живого сечения } \omega_p = 1300 \text{ м}^2;$$

$$\text{средняя глубина русла } h_p = 6 \text{ м};$$

$$\text{коэффициент шероховатости } n_p = 0,04.$$

Данные по пойме:

$$\text{площадь живого сечения } \omega_{\text{п}} = 1000 \text{ м}^2;$$

$$\text{средняя глубина поймы } h_{\text{п}} = 2 \text{ м};$$

$$\text{коэффициент шероховатости } n_{\text{п}} = 0,08.$$

Требуется определить, как распределяется расход  $Q = 1500 \text{ м}^3/\text{с}$  между главным руслом и поймой при высоком стоянии уровней воды.

### *Решение*

Определим коэффициенты Шези по формулам Павловского (12) и (13), имея ввиду, что  $R_i = h_i$ :

$$y_p = 0,19; \quad C_p = 35,14;$$

$$y_{\text{п}} = 0,18; \quad C_{\text{п}} = 14,16.$$

Вычисляем расходные характеристики  $K_p$  и  $K_n$  по формуле (17):

$$K_p = 103290 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$K_n = 20025 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход в главном русле будет равен (37):

$$Q_p = 1089 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход по пойме будет равен (38):

$$Q_n = 211 \text{ м}^3/\text{с}.$$

### **3.4. Примерные вопросы к защите задачи**

1. Формула Шези для естественных водотоков.
2. Формула для определения расхода воды в речных руслах при изменяющемся коэффициенте шероховатости по ширине реки.
3. Формула для определения падения уровней воды в случае распределения русла на два рукава.
4. Формула для вычисления распределения расхода в рукавах реки.
5. Формула определения расхода воды для пойменных участков реки.