

нутую в обратную сторону, в два раза больше силы давления струи на плоскую поверхность. Это явление используется при проектировании лопастей гидравлических машин.

## Глава 8. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ И БЕЗНАПОРНЫХ ВОДОВОДАХ. ФИЛЬТРАЦИЯ

Особенность движения жидкости в каналах и безнапорных водоводах состоит в том, что оно безнапорное (свободная поверхность потока соприкасается с атмосферой) и равномерное (живые сечения, средняя и местная скорости движения потока одинаковы).

Каналы и безнапорные водоводы применяют во многих отраслях народного хозяйства: сельском хозяйстве, гидроэнергетике, водном транспорте, в промышленности. Многие каналы и водоводы имеют комплексное назначение.

Каналы бывают (рис. 1.52) прямоугольного сечения (*a*), трапецеидального (*b*), полукруглого (*в*) и параболического (*г*).

Водоводы выполняются замкнутыми (рис. 1.53) и имеют стандартные профили круглого (*a*), шатрового (*б*), овоидального (*в*) и лоткового сечения (*г*).

### 8.1. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КАНАЛОВ И БЕЗНАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ

При гидравлическом расчете каналов встречаются три основных типа задач:

1. Определить расход  $Q$  и среднюю скорость  $v$  при заданном уклоне дна и принятом поперечном сечении канала (ширина канала по дну  $b$ , глубина наполнения  $h$ , заложения откосов  $m$ , шероховатость  $n$ ). Задача решается прямой подстановкой вычисленных  $\omega$ ,  $R$  и  $C$  по формуле

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad v = C \sqrt{Ri}, \quad (1.185)$$

где  $\omega$  — площадь живого сечения канала для трапецеидального сечения,  $\omega = (b + mh)h$ ;  $i$  — уклон дна канала;  $R$  — гидравлический радиус,  $R = \frac{\omega}{x}$ ;

$x$  — смоченный периметр для трапецеидального сечения,  $x = b + 2h \times \sqrt{1 + m^2}$ ;  $C$  — коэффициент Шези,  $C = \frac{1}{n} R^{2/3}$ , или  $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$ ;

$n$  — шероховатость.

2. Определить уклон дна канала  $i$  при заданных: расходе  $Q$ , ширине канала по дну  $b$ , глубине наполнения  $h$ , заложении откосов  $m$  и шероховатости  $n$ .

Эта задача также решается прямой подстановкой вычисленных величин  $\omega$ ,  $R$ ,  $C$  по формуле

$$i = \frac{Q^2}{\omega^2 R^2 C^2}. \quad (1.186)$$

При этом необходимо выполнить условие

$$i_{\min} \leq i \leq i_{\max}; \quad (1.187)$$

$$i_{\max} = \frac{v^2}{C^2 R}; \quad i_{\min} = \frac{v_{\text{нес}}^2}{C^2 R}, \quad (1.188)$$

где  $v_{\text{доп}}$  — допускаемая неразмывающая скорость — наибольшее значение средней скорости потока, при которой не происходит размыв ложа канала;  $v_{\text{нес}}$  — незаиляющая скорость — наименьшее значение средней скорости потока, при которой не происходит заиления ложа канала.

3. Определить размеры сечения канала ( $b$  — ширину по дну, и глубину наполнения  $h$ ) при известных: расходе  $Q$ , уклоне  $i$ , шероховатости  $n$  и заложении откосов  $m$ .

Это наиболее широко распространенная схема расчета. Так как расчетное уравнение одно:  $Q = \omega C \sqrt{Ri}$ , а требуется найти два неизвестных  $b$  и  $h$ , то необходимо дополнительно составить еще одно уравнение. Им может стать уравнение связи между  $b$  и  $h$ :  $\beta = \frac{b}{h}$ , причем можно задаться такими величинами  $b$  и  $h$ ,

при которых канал будет пропускать при прочих равных условиях наибольший расход. Такое сечение канала называется *гидравлически наивыгоднейшим* или иначе при одинаковом расходе, уклоне дна, шероховатости гидравлически наивыгоднейший канал имеет наименьшую площадь живого сечения  $\omega$ . Например, для канала трапецеидального сечения

$$\beta_{\text{г.н}} = 2(\sqrt{1+m^2} - m).$$

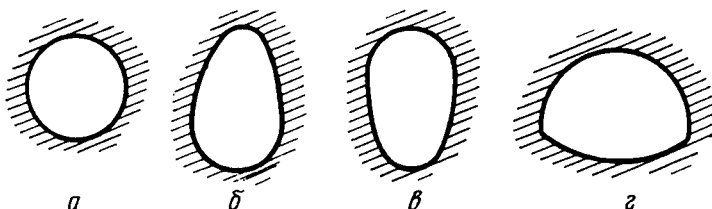


Рис. 1.53. Типы поперечных сечений водоводов:

а — круглые; б — шатровые; в — оvoidальные; г — лотковые.

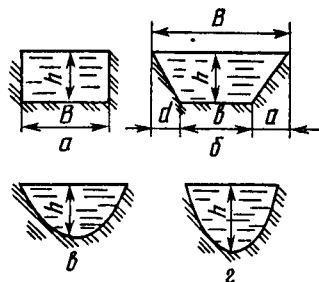


Рис. 1.52. Типы поперечных сечений каналов:

а — прямоугольные; б — трапецеидальные; в — полукруглые; г — параболические.

При этом могут встретиться два варианта решения задачи.  
3.1. Задаемся значением  $b$  и определяем соответствующее условиям задачи  $h$ .

Эту задачу решаем методом подбора, т. е. назначаем последовательно ряд значений глубины  $h$  и вычисляем соответствующие им расходы  $Q$  до тех пор, пока не получим требуемого значения. Соответствующая этому расходу глубина  $h$  и будет искомой.

Эту задачу можно решить и графоаналитически. Задавая рядом значений глубины, определяют соответствующие этим глубинам расходы и строят график зависимости  $Q=f(h)$ . Отложив на оси требуемый расход, определяют по графику искомую глубину наполнения канала  $h$ .

3.2. Задаемся значениями глубины  $h$  и находим соответствующее значение ширины канала по дну  $b$ . Расчет можно вести, как и в предыдущем случае, аналитически и графоаналитически. При аналитическом способе решения задачи назначаем ряд значений  $b$  и повторяем расчет канала до тех пор, пока расчетный расход не станет равен требуемому. Ширина  $b$  будет искомой, когда расчетный расход будет равен требуемому. При графоаналитическом методе строится график зависимости  $Q=f(b)$ , т. е. по ряду значений  $b$  находят соответствующий этим значениям расход и строят график. Затем, откладывая требуемый расход  $Q$ , определяют искомую ширину канала по дну  $b$ .

Могут встретиться и промежуточные виды задач, которые легко приводятся к одному из трех вышерассмотренных случаев.

При расчете безнапорных водоводов любого профиля решаются те же задачи, что и для открытых каналов, а именно: определение расхода  $Q$ , уклона  $i$ , размеров сечения.

## 8.2. ФИЛЬТРАЦИЯ

**Основные понятия.** *Фильтрацией* называется движение жидкости (в частности, воды) в пористой среде. Атмосферные осадки, выпадающие на поверхность земли, просачиваются вглубь, заполняя поры между частицами грунта, и образуют потоки грунтовых вод, передвигающиеся под действием сил тяжести. Потоки грунтовых вод называют *фильтрационными потоками*. Движение фильтрационного потока может быть равномерным и неравномерным, напорным и безнапорным.

*Равномерным движением фильтрационного потока* называется движение, когда уклон свободной его поверхности  $l$  равен уклону подстилающего водонепроницаемого слоя  $i$ . И, наоборот, при  $i \neq l$  будет неравномерное движение.

Движение фильтрационного потока будет *безнапорным*, если жидкость движется по наклонному непроницаемому пласту (во-

доупору) с образованием свободной поверхности, называемой *депрессионной поверхностью*, давление на которой равно атмосферному.

Движение фильтрационного потока называется *напорным*, если жидкость заключена между двумя непроницаемыми пластинами без образования свободной поверхности.

Как всякий поток, фильтрационный поток характеризуется расходом  $Q$ , скоростью  $v$ , уклоном дна  $i$ , уклоном свободной поверхности  $I$  и поперечным сечением  $\omega$ .

Количество воды, проходящее через живое сечение пористой среды за единицу времени, называют *фильтрационным расходом*  $Q$ . Отношение расхода  $Q$  к площади живого сечения пористой среды называют скоростью фильтрации  $v$ . Здесь уместно заметить, что скорость фильтрации  $v$  меньше истинной скорости движения жидкости в порах грунта  $v_{ист}$ , т. е. скорость фильтрации  $v$  — фиктивная скорость движения фильтрационного потока.

**Основной закон фильтрации.** Основная задача практических расчетов фильтрации — это определение скорости фильтрации  $v$  и расхода фильтрационного потока  $Q$ .

В 1866 г. французский ученый А. Дарси на основании анализа экспериментальных исследований открыл основной закон фильтрации:

$$v = kI, \quad (1.189)$$

где  $v$  — скорость фильтрации;  $I$  — градиент фильтрации или пьезометрический уклон фильтрационного потока;  $k$  — коэффициент фильтрации, м/сут или см/с.

Коэффициент фильтрации  $k$  имеет размерность скорости, характеризует водопроницаемость грунта и зависит от размера и формы частиц грунта, степени их однородности и пористости, температуры жидкости.

Наименование грунта	$k$ , см/с	Наименование грунта	$k$ , см/с
Глина	$1 \cdot 10^{-7}$	Мелкозернистый песок	$1 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-3}$
Суглинок	$1 \cdot 10^{-7} \dots 1 \cdot 10^{-5}$	Среднезернистый песок	$1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-2}$
Супесь	$1 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^{-3}$	Крупнозернистый песок	$1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-1}$
Иловатые грунты	$1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-2}$	Гравий и галька	$1 \cdot 10^{-1} \dots 1 \cdot 10$

Фильтрационный расход можно определить по формуле

$$Q = v\omega = kI\omega, \quad (1.190)$$

где  $\omega$  — площадь живого сечения фильтрационного потока.

Формулы (1.189) и (1.190) позволяют решать многочисленные задачи в области фильтрации.

*Контрольные вопросы и задания.* 1. Дайте определение понятию «жидкость». 2. Какие различают виды покоя жидкости? 3. Что такое гидростатическое давление. В каких единицах оно измеряется? 4. Определите понятия «абсолютное», «избыточное» и «вакуумметрическое» давления. 5. Как определить силу гидростатического давления жидкости на поверхность? 6. Как читается закон Паскаля? 7. Что такое движение жидкости, какие различают виды движения? 8. Что понимается под элементарной стружкой и потоком жидкости? 9. Чем отличаются уравнения Бернулли для невязкой и вязкой жидкости? 10. Каков физический смысл уравнения Бернулли? 11. Какие различают режимы движения жидкости? Зачем надо знать режим движения? 12. Какие существуют виды гидравлических сопротивлений? 13. Чем отличаются зависимости для определения потерь по длине в каналах круглого и некруглого сечений? 14. От чего зависит коэффициент гидравлического трения? 15. Как подразделяют трубопроводы при их гидравлическом расчете? Каковы принципы их гидравлического расчета? 16. Как определяют расход при истечении жидкости через отверстия и насадки? 17. Что такое гидравлический удар? 18. Какие различают виды гидравлического удара и как для них определяется величина повышения давления?