

Основное крепление откосов устраивается в зоне интенсивного волнового воздействия, нижнее облегченное крепление – в зоне возможного размыва грунтов основания откоса течением воды и потоком обтекания при движении судов. Верхнее облегченное крепление обычно выполняют в виде одерновки, посева трав, крупнозернистой наброски. Его граница выбирается конструктивно, исходя из особенностей берега. Верхнюю границу основного крепления откосного типа принимают на уровне расчетной высоты наката волны.

### Литература

1. Гладков, Г. Л. Гидроморфология русел судоходных рек: Монография. – 2-е изд., стер./ Г. Л. Гладков, Р. С. Чалов, К. М. Беркович. – Санкт-Петербург: Изд. Лань, 2019. – 432 с.
2. Михневич, Э. И. Устойчивость русел открытых водотоков / Э.И. Михневич. – Минск: Ураджай, 1988. – 240 с.
3. Алперин, И. Е. Укрепление берегов судоходных каналов, рек и водохранилищ / И. Е. Алперин, П. С. Быков, В. Б. Гулевич. – М.: Транспорт, 1973. – 216 с.
4. Михневич, Э. И. Методика расчета устойчивости креплений откосов земляных плотин в условиях волнового воздействия / Э. И. Михневич // Наука и техника. – 2018. – Том 17, № 2. – С. 100–105.

УДК 625.73

### **Экспериментальное определение коэффициента шероховатости металлических спиральновитых гофрированных труб**

Моргунов К. П., Ивановский Ю. К.

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Представлены результаты экспериментальных исследований по определению коэффициентов шероховатости внутренней поверхности металлических спиральновитых гофрированных труб с полимерным и цинковым покрытием. Рассмотрены два типоразмера гофрированных труб: диаметром 500 мм с гофром размерами гофра 68×13 мм и диаметром 1000 мм с гофром размерами 125×26 мм. Исследовался безнапорный режим течения потока в трубе с различными степенями наполнения. По результатам выполненных работ рекомендованы количественные значения коэффициентов шероховатости для каждого диаметра труб.*

Водопрopusкные трубы из различного материала (бетонные, металлические, пластиковые) являются наиболее распространенным типом малых водопрopusкных сооружений, используемых при проектировании и строительстве автомобильных дорог. Металлические гофрированные трубы выполняются с нормальным (МГТ) и спиральновитым (СВМГТ) гофром, который составляет острый угол с диаметральной осью трубы (рис. 1). Величина угла спиральности  $\varphi$  изменяется в зависимости от размера гофра и диаметра трубы, с увеличением диаметра трубы угол спиральности уменьшается.

По виду основного защитного покрытия различают гофрированные трубы с одиночным покрытием (цинковым, алюминиевым, сплавом цинка с алюминием или другим металлизированным покрытием) и с двойным покрытием (металлизированное плюс полимерное покрытие), наносимым в заводских условиях.

Трубы из гофрированных металлических конструктивных элементов имеют шероховатость, которая отличается от шероховатости технически гладких труб. Гидравлические условия работы гофрированных труб вследствие повышенной шероховатости стенок имеют свои особенности.

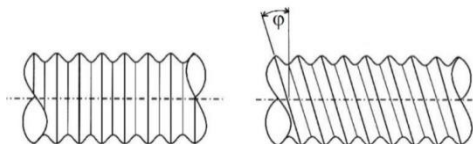


Рис. 1. Схемы труб с нормальным и спиральновитым гофром

Задачей выполненных исследований являлось экспериментальное обоснование выбора величины коэффициента шероховатости СВМГТ при движении потока в трубе в безнапорном режиме при различной степени наполнения трубы.

Экспериментальное определение коэффициента шероховатости основано на использовании формулы Шези для равномерного режима движения потока жидкости [1], которая устанавливает зависимость расхода от гидравлических характеристик потока:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $\omega$  – площадь живого сечения потока, м<sup>2</sup>;  $C$  – коэффициент Шези, м<sup>0,5</sup>/с;  $R = \frac{\omega}{\chi}$  – гидравлический радиус живого сечения, м;  $\chi$  – смоченный периметр, м;  $i$  – гидравлический уклон, который при

равномерном движении потока со свободной поверхностью равен геометрическому уклону дна и свободной поверхности.

Коэффициент Шези определяется по формуле Маннинга

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}, \quad (2)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости.

Из формул (1) и (2) можно выразить коэффициент шероховатости

$$n = \frac{\omega R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}}{Q}. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что для определения коэффициента шероховатости необходимо знать расход жидкости, уклон потока, а также геометрические характеристики живого сечения: площадь, смоченный периметр и гидравлический радиус, которые зависят от степени наполнения трубы. Очевидно, что геометрические характеристики зависят от величины угла  $\alpha$ , под которым из центра трубы видна свободная поверхность потока в трубе (рис. 2).

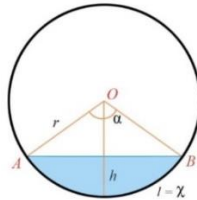


Рис. 2. Схема движения потока воды в трубе

Площадь живого сечения, представляющая собой круговой сегмент, рассчитывается, если угол выражен в градусах, как

$$\omega = \frac{r^2}{2} \left( \pi \frac{\alpha}{180} - \sin \alpha \right).$$

Из рис. 2 видно, что угол  $\alpha$  определится следующим образом:

$$\alpha = 2 \arccos \left( \frac{r-h}{r} \right),$$

где  $h$  – глубина потока в трубе;  $r$  – радиус трубы.

Эксперименты по определению коэффициентов шероховатости гофрированных труб проводились в русловом лотке гидротехнической лаборатории

имени профессора В. Е. Тимонова ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова (г. Санкт-Петербург).

Установка представляла собой металлический каркас (рис. 3), на котором с напорной стороны перпендикулярно продольной оси лотка закреплялся щит, полностью перегородивающий поток в лотке. В щите устраивалось входное отверстие для оголовка гофрированной трубы, размеры которого определялись диаметром исследуемой трубы. Исследовались трубы двух диаметров: 500 мм с гофром 68×13 мм и 1 000 мм, размеры гофра 125×26 мм.

Формула (3) справедлива для равномерного характера движения потока, что означает равенство глубины потока вдоль оси трубы. Для контроля характера движения вдоль оси в трубу были врезаны пьезометры, показывающие глубину потока.

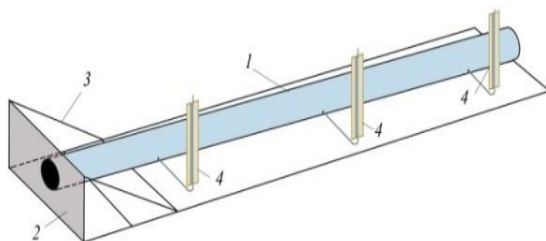


Рис. 3. Схема экспериментальной установки:  
1 – испытуемая гофрированная труба, 2 – щит с входным отверстием,  
3 – металлический каркас, 4 – пьезометры

Эксперименты выполнялись по следующей методике:

- в лоток с установленным в нем экспериментальным стендом подавалась вода; регулированием расхода воды устанавливались различные степени наполнения трубы;
- после установления равномерного характера течения в СВМГТ выполнялись замеры контролируемых величин: расхода и нормальной глубины;
- рассчитывались гидравлические характеристики течения: площадь живого сечения потока, смоченный периметр, гидравлический радиус живого сечения;
- по формуле (3) рассчитывался коэффициент шероховатости.

Исследования были проведены для разных уклонов дна труб: 0,03, 0,02 и 0,01 при разных степенях заполнения.

Результаты экспериментального определения коэффициентов шероховатости для труб приведены в табл.

Таблица

Экспериментально определенные коэффициенты шероховатости СВМГТ

Диаметр трубы, мм	Облицовка	Среднее значение коэффициента шероховатости	Разброс относительно среднего значения, %
500	Полимер	0,02018	1,0 – 2,5 %
	Оцинковка	0,02047	1,2 – 2,6 %
1000	Полимер	0,02541	1,1 – 3,4 %
	Оцинковка	0,02535	0,7 – 4,4 %

Результаты выполненной серии экспериментов показали, что определяемые коэффициенты шероховатости для труб рассматриваемого диаметра зависят практически только от диаметра труб и размеров гофра. Величина полученных коэффициентов шероховатости не зависит от уклона расположения трубы, степени наполнения и материала облицовки.

Полученные значения коэффициентов рекомендованы к использованию при выполнении гидравлических расчетов водопропускной способности соответствующих спиральновитых металлических гофрированных труб.

### Литература

1. Моргунов, К. П. Гидравлика / К. П. Моргунов. – СПб.: Лань, 2014. – 288 с.

УДК 626.141

### Реверсивно-струйная очистка металлических и бетонных поверхностей от продуктов коррозии

Качанов И. В., Шаталов И. М., Жук А. Н., Филипчик А. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье приведены основные результаты теоретических и экспериментальных исследований реверсивно-струйной очистки металлических и бетонных поверхностей от продуктов коррозии.*

В настоящее время широкое применение в промышленном и строительном производстве нашли пескоструйные и дробеструйные способы очистки, которые обладают рядом серьезных недостатков [1].

Некоторые из этих недостатков устраняются путем применения метода гидроабразивной очистки (ГАО). Процесс очистки состоит в эрозионном воздействии высокоскоростной водяной струи и твердых абразивных частиц