



Рис. 3. Номограмма для расчета подъема УГВ при подпочвенном увлажнении

Если в период увлажнения каналы оказывают дренажное действие, параметр a_k в формуле (5) принимают со знаком минус.

Для практических расчетов динамики УГВ при циклическом подпочвенном увлажнении с учетом параметров и конструкции дренажа можно использовать номограмму (рис. 3).

При использовании данной методики могут быть решены следующие задачи:

- определение высоты подъема УГВ за время T ;
- определение расстояния между дренажами-увлажнителями;
- определение времени T подъема УГВ;
- определение необходимого напора в дренажах-увлажнителях.

Литература

1. Маслов, Б. С. Осушительно-увлажнительные системы / Б. С. Маслов, В. С. Станкевич, В. Я. Чернена. – М.: Колос, 1981. – 279 с.
2. Циприс, Д. Б. Двустороннее регулирование водного режима почв / Д. Б. Циприс, М. Г. Саноян. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 184 с.

УДК 627.1:627.41

Методика расчета устойчивости русел судоходных водотоков

Михневич Э. И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основе совместного решения уравнений пропускной способности и критерия устойчивости судоходного водотока получены морфометри-

ческие зависимости для определения параметров динамически устойчивого русла в условиях воздействия водного потока и судовых волн. Приведены формулы для расчета устойчивости креплений откосов судоходных водотоков каменной наброской и железобетонными плитами.

Русла судоходных водотоков формируются под воздействием водного потока и судовых волн, оказывающих разрушительное действие на откосы, что может вызвать не только заиливание русла продуктами размыва, но и создать угрозу прибрежным строениям, речным портам и причалам [1]. Оценка устойчивости русла и откосов водотока и прогнозирование возникновения возможных деформаций позволяют принимать технические и организационные меры по их предупреждению разрушений.

Ранее нами [2] получены формулы для определения критерия устойчивости русла несудоходных водотоков η_y и его параметров (ширины по верху B и средней глубины H_c) при пропуске руслоформирующих расходов. Для судоходных водотоков возникает необходимость дополнительного учета влияния на формирование русел деформаций откосов под воздействием судовых волн. Для приближенной оценки этого фактора введем коэффициент β_c , зависящий от высоты судовых волн h_b , воздействующих на откосы и вызывающих их разрушение. Значение этого коэффициента может быть принято равным

$$\beta_c = 1 + 0,7h_b^2, \quad (1)$$

где h_b – расчетная высота судовой волны у берега водотока, которая может быть определена по формуле [3]

$$h_b = \frac{1,6v_c^2}{g(1-k)^{2,5}} \sqrt{\frac{\delta h_{oc}}{l_c}}, \quad (2)$$

где v_c – скорость движения судна, м/с; δ – коэффициент полноты водоизмещения судна; h_{oc} , l_c – соответственно осадка и длина судна, м; k – коэффициент стеснения живого сечения русла, $k = \frac{\Omega}{\omega}$ (Ω – подводная площадь поперечного сечения судна, м²; ω – площадь живого сечения русла, м²); g – ускорение свободного падения, м/с².

Тогда с учетом коэффициента β_c критерий устойчивости русла судоходного водотока можно представить в следующем виде:

$$\eta_y = \frac{P_s}{\beta_c g \rho_b H_c I}, \quad (3)$$

где I – уклон руслоформирующего потока; ρ_b – плотность воды, кг/м³; P_s – показатель прочности грунта, Па, определяемый по формуле

$$P_s = g \rho_1 d f + c_p, \quad (4)$$

где d – расчетный диаметр частиц грунта, м; ρ_1 – плотность грунта с учетом взвешивания его водой, кг/м³, $\rho_1 = (\rho_s - \rho_e)(1 - n_s)$; ρ_s , ρ_e – плотность соответственно частиц грунта и воды, кг/м³; n_s – пористость грунта; f –

коэффициент внутреннего трения грунта в воде; c_p – удельное структурное сцепление грунта при разрыве в воде, Па, приближенно равно $c_p = 0.0032/\sqrt{d}$ (средний диаметр d , м; при $d > 1$ мм можно принимать $c_p = 0$).

Многолетние натурные наблюдения, проведенные нами на реках Белоруси, показали, что участки с меньшими значениями критерия устойчивости η_y имеют большие отношения B/H_c , т.е. между B/H_c и η_y существует обратно пропорциональная связь, которую для судоходных рек, с учетом коэффициента β_c , можно представить в следующем виде

$$\frac{B}{H_c} = \lambda_c \frac{\beta_c g \rho_B H_c l}{P_s}, \quad (5)$$

где λ_c – коэффициент стабилизации русла.

Руслоформирующий расход равен $Q = v\omega = vBH_c$. Определяя скорость потока v по формуле Шези и скоростной коэффициент C по формуле Павловского $C = \frac{1}{n} H_c^y$, получим

$$Q = CBH_c^{1,5} I^{0,5} = BH_c^{y+1,5} I^{0,5} \frac{1}{n}, \quad (6)$$

где n – коэффициент шероховатости русла, y – показатель степени, равный $y = 1,5\sqrt{n}$ при $R < 1$ м; $y = 1,3\sqrt{n}$ при $R > 1$ м или принимаемый приближенно $y = 0,2$.

Решая совместно уравнения (5) и (6) вначале относительно H_c , а затем относительно B , после преобразований получаем морфометрические зависимости для ширины B и средней глубины H_c устойчивого русла

$$B = I^{\frac{y+0,5}{y+3,5}} (Qn)^{\frac{2}{y+3,5}} \left(\frac{\beta_c \lambda_c g \rho_B}{P_s} \right)^{\frac{y+1,5}{y+3,5}} \quad (7)$$

$$H_c = \frac{1}{I^{\frac{1,5}{y+3,5}}} \left(\frac{Qn P_s}{\beta_c \lambda_c g \rho_B} \right)^{\frac{1}{y+3,5}} \quad (8)$$

Из выражений (7) и (8) морфометрический параметр B/H_c будет

$$\frac{B}{H_c} = I^{\frac{y+2}{y+3,5}} (Qn)^{\frac{1}{y+3,5}} \left(\frac{\beta_c \lambda_c g \rho_B}{P_s} \right)^{\frac{y+1,5}{y+3,5}}. \quad (9)$$

Значения коэффициента стабилизации русла λ_c найдены для канализованных русел несудоходных рек ($\beta_c=1$) с расходом воды $Q = 20-100$ м³/с, проложенных в песчаных грунтах, $\lambda_c = 5,0-7,6$. Для судоходных рек получено среднее значения произведения $\lambda_c \beta_c = 17,5$. Значения коэффициента λ_c изменяются в пределах 13-16 и несколько возрастают с увеличением расхода Q . Значение коэффициента β_c может быть принято по формуле (1). Коэффициент стабилизации русла λ_c – это интегральная характеристика для однородной группы водотоков, объединенных общими признаками: подобием гидрологического режима и условий руслоформирования.

Русло с параметрами B и H_c , рассчитанными по приведенным выше морфометрическим зависимостям, будет находиться в динамически устойчивом состоянии и обеспечивать пропускную способность максимального расхода.

Если расчетные морфометрические параметры русла из-за большой ширины и малой глубины не обеспечивают глубину, требуемую для условий судоходства, то для предохранения откосов от разрушения водным потоком и действием волн русло крепят.

Для предотвращения разрушения откосов водным потоком и действием волн обычно в качестве креплений применяют каменную наброску или железобетонные плиты. Расчет устойчивости креплений в условиях действия судовых волн можно производить по излагаемой ниже методике.

Исходя из теории предельного равновесия, нами [4] получен критерий устойчивости откоса Π_1 при воздействии волн в следующем виде

$$\Pi_1 = \frac{\rho_1(mf-1)d}{h+ah_b f \sqrt{1+m^2}}, \quad (10)$$

где $\rho'_1 = \rho_s / \rho_e$ – относительная плотность грунта; h – глубина потока на поверхности откоса при откате волны, м; a – коэффициент взвешивающего волнового давления, возникающего при откате судовой волны, принимают $a = 0,60$ для сплошного крепления [3] и $a = 0,6(1 - n_s)$ для зернистых материалов; h_b – высота расчетной судовой волны, м, по формуле (2); m – коэффициент заложения откоса.

Данный критерий может быть использован для получения формул по расчету устойчивости креплений. Принимая в полученном критерии (10) для каменной наброски $\rho'_1 = \rho_k / \rho_e$ (ρ_k – плотность камня, кг/м³) и решая этот критерий относительно диаметра камня D , м, в условиях предельного равновесия ($\Pi_1 = 1$) получим (с учетом коэффициента запаса K_3)

$$D = K_3 \frac{h+0,6(1-n_s)h_b f \sqrt{1+m^2}}{(\rho_k/\rho_e)(mf-1)}, \quad (11)$$

где K_3 – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения каменной наброски по откосу, $K_3 = 1,20$ для каменной наброски из несортированного материала, $K_3 = 1,0$ для каменного мощения; h – средняя глубина воды на поверхности откоса при откате волны, может быть принята $h = (0,3-0,5) h_e$; n_s – пористость материала наброски; f – коэффициент трения каменной наброски по слою обратного фильтра из щебня $f = 0,9-1,0$, из гравия $f = 0,8-0,9$.

При использовании в качестве крепления железобетонных плит влиянием влекущей силы потока на поверхности плит можно пренебречь, т.е. принять $h = 0$. Учитывая, что для сплошного крепления значение коэффициента a в формуле (10) $a = 0,60$, зависимость для определения толщины плит δ_n будет иметь вид

$$\delta_n = K_3 \frac{0,6h_b f \sqrt{1+m^2}}{(\rho_k/\rho_e)(mf-1)}, \quad (12)$$

где K_3 – коэффициент запаса, для сборных плит принимают $K_3 = 1,10$, а для монолитных плит $K_3 = 1,0$.

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.