

УДК 626.81

UDC 626.81

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

ПРОГНОЗ МЕСТНЫХ РАЗМЫВОВ НА СОПРЯГАЮЩИХ СООРУЖЕНИЯХ ДОНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ**PREDICTION OF LOCAL SCOUR OUTLET STRUCTURES OF THE DONSKOE THE MAIN CANAL TO PREVENT THE DEVELOPMENT LANDSLIDE PROCESSES**

Домашенко Юлия Евгеньевна
к.т.н., РИНЦ Author ID=645024

Domashenko Yulia Evgenyevna
Candidate of Technical Sciences
RSCI Author ID=645024

Васильев Сергей Михайлович
д. т. н., доцент, РИНЦ Author ID=285849

Vasilyev Sergey Mikhaylovich
Doctor of Technical Sciences, associate professor
RSCI Author ID=285849

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Россия

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russia

В статье содержится аналитический обзор причин возникновения местных размывов на сопрягающих сооружениях Донского магистрального канала. Одним из крупных водосбросных сооружений на Донском магистральном канале является концевой сброс в Садковскую балку (Веселовское водохранилище на ПК 1115+79), с максимальным расходом 50 м³/с, предназначенный для обводнения и опреснения Веселовского водохранилища. Для анализа влияния жидкости на основание водосбросного сооружения необходимо знать кинематические параметры жидкости в канале. К настоящему времени отсутствуют универсальные зависимости, позволяющие рассчитывать эти параметры. Описанные математические зависимости позволяют проанализировать степень воздействия водного потока на основания водосбросных сооружений каналов мелиоративных систем. Моделирование местного размыва каналов основывается на глубоком анализе причин возникновения данного явления. Основными являются кинематические параметры жидкости, скорость и направление распространения потока жидкости, конструктивные особенности канала. Рассмотренные математические зависимости позволили выделить следующие параметры, оказывающие влияние на степень местных размывов на концевых водосбросных сооружениях на мелиоративных каналах: скорость течения, степень сжатия потока, крупность, расход, форму и перемещение донных наносов, глубину и форму опор в плане и поперечном сечении, форму гидрографа, косину струй, длительность стояния высоких уровней воды в Садковской балке и пр.

The article contains an analytical overview of the causes of local washouts on hydraulic installations of Don highway networks. One of the major outlet structures of the main canal is the terminal resets in Sadkovskaya gully (Veselovsky reservoir 1115+79), with a maximum flow rate of 50 m³/sec, designed for irrigation and desalination of Veselovsky reservoir. To analyze the effect of the liquid on the bottom of the outlet structures we need to know the kinematic parameters of the liquid in the channel. Until now there are no universal correlations, which would allow calculating these parameters. The mathematical dependences allow analyzing the impact of water flow on the bottom of the spillway constructions of melioration canals. Modeling of local scour of channels is based on a thorough analysis of the causes of this phenomenon. The main ones are the kinematic parameters of the liquid, the speed and the propagation direction of fluid flow, structural features of the channel. The mathematical dependences allowed us to identify the following parameters that influence the degree of local scour at end spillway structures on melioration channels: the rate of flow, the degree of compression of the stream size, flow, shape, and movement of sediment, depth and shape of the supports in the plan and cross section, the shape of the hydrograph, the angle of the jet, duration of standing high water levels in Sadkovskaya balka, etc.

Ключевые слова: ВОДОСБРОСНЫЕ СООРУЖЕНИЯ, ГЛУБИНА ПОТОКА, КАНАЛ, МЕСТНЫЙ РАЗМЫВ, ОПОЛЗНИ, СКОРОСТЬ

Keywords: SPILLWAY, DEPTH OF STREAM, CANAL, LOCAL SCOUR, LANDSLIP, VELOCITY

Одним из крупных водосбросных сооружений на Донском магистральном канале является концевой сброс в Садковскую балку (Веселовское водохранилище на ПК 1115+79), с максимальным расходом $50 \text{ м}^3/\text{с}$, предназначенный для обводнения и опреснения Веселовского водохранилища. Концевой сброс представляет собой комплекс следующих сооружений: головного шлюза-регулятора с водосливом, надшлюзового здания для управления затворами, быстроток с водобойным колодцем, переходного участка, консольного перепада в виде железобетонного лотка прямоугольного сечения (рисунок 1).



Рисунок 1 – Концевой сброс в Садковскую балку

При сбросе воды через консольную часть лотка образуется воронка размыва, которая провоцирует развитие оползневых процессов в консольной части сооружения (рисунок 2).



Рисунок 2 – Оползневые процессы на концевом сбросе
в Садковскую балку

В консольных водосбросах для отброса потока от сооружения и гашения его избыточной кинетической энергии до и в воронке размыва вместе с горизонтальной консолью используются также наклонный порог (трамплин), расщепитель (растекатель) потока в виде разделительных стенок, носок-расщепитель, гребенчатый трамплин и другие конструктивные элементы, размещаемые на консольной части водосбросного сооружения.

В рамках данной работы предполагается провести анализ влияние жидкости на основания канала с учетом кинематических и динамических свойств жидкости и конструктивных особенностей водосбросных сооружений с целью предотвращения развития оползневых процессов.

Для анализа влияния жидкости на основание водосбросного сооружения необходимо знать кинематические параметры жидкости в канале. К

настоящему времени отсутствуют универсальные зависимости, позволяющие рассчитывать эти параметры. Исследования, проведённые различными авторами [1-7], позволили вывести некоторые формулы, позволяющие рассчитывать скорость воды в зависимости от ряда показателей, характеризующих индивидуальные особенности канала: коэффициент условий работы, учитывающий наличие наносов в коллоидном состоянии, средний диаметр частиц грунта и пр.

Рассмотрим общий случай движения жидкости в канале. Скорость v , м/с, частицы жидкости, находящейся в геометрической точке $M(x, y, z)$, подчиняется уравнению:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(A \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{K^2 C}{h} \left(I + \frac{iv^2}{gh} \right), \quad (1)$$

где A – коэффициент турбулентного обмена;

K – коэффициент пропорциональности;

C – коэффициент Шези;

h – глубина измерения, м;

I – уклон водной поверхности, м;

i – уклон дна, мм/м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Направление осей выбирается следующим образом: абсцисса x направляется вдоль потока, ордината y – отсчитывается от динамической оси потока по направлению к берегу, аппликата z – от поверхности ко дну канала.

Переменный коэффициент A связан со скоростью потока уравнением В. М. Маккавеева [1]:

$$A = Kv. \quad (2)$$

Учёт последнего соотношения позволяет записать (1) в виде:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = -\frac{2KC}{h} \left(I + \frac{iv^2}{gh} \right). \quad (3)$$

Для упрощения расчетов заменим значение квадрата скорости на переменную u , м/с [1]:

$$v^2 = u, \quad (4)$$

это приводит к упрощению [1]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -\frac{2KC}{h} \left(I + \frac{iu}{gh} \right). \quad (5)$$

Примем $u = u(y, z)$, тогда (5) запишется [1]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -\frac{2KC}{h} \left(I + \frac{iu}{gh} \right). \quad (6)$$

Положим $u = u(x, z)$, тогда (5) примет вид [1]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -\frac{2KC}{h} \left(I + \frac{iu}{gh} \right). \quad (7)$$

Некоторый интерес представляет одномерное (вертикальное) распределение скорости жидкости [2-4]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -\frac{2KC}{h} I \quad (8)$$

Уравнения (1)-(8), дополненные граничными условиями, позволяют рассчитать картину распределения скоростей жидкости в простейшем, одномерном случае в плоско-вертикальном и в наиболее общем, трехмерном случае.

Существует множество эмпирических зависимостей для распределения скоростей по вертикали водного потока. Такие зависимости обычно имеют форму параболы второго порядка, гиперболы, эллипса, логарифмики и пр.

Наиболее популярным является эмпирическое распределение Базена [3]:

$$\bar{U} = U_0 - m\sqrt{hI}\xi^2, \quad (9)$$

где \bar{U} – средняя скорость по вертикале, м/с;

U_0 – скорость в точке поверхности жидкости, лежащей в рассматриваемой вертикали, м/с;

m – параметр эмпирического характера: по Базену $m = 22,3$, по Буссонеско $m = 0,36C + 0,3$;

ξ – относительная глубина, равная

$$\xi = \frac{h}{H}, \quad (10)$$

где H – глубина по вертикале, м.

В общем случае движение водного потока является переменным. В малых искусственных сооружениях расход потока по всей длине сооружения считается постоянным. Такое движение можно считать установившимся. Иногда такое движение нарушается, и появляется переменный расход потока.

Для переменного движения жидкости существует величина удельной энергии:

$$\mathcal{E} = h + \frac{av^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2gw^2}, \quad (11)$$

где \mathcal{E} – удельная энергия, м;

a – безразмерный параметр;

v – скорость частицы жидкости, м/с;

Q – расход воды, м³/с;

w – площадь живого сечения, м².

Эта энергия, причиной которой является наличие гидродинамического напора, отсчитывается от нижней точки дна поперечного сечения канала.

Глубина водного потока, по достижении которой минимизируется удельная энергия рассматриваемого сечения при известном расходе потока,

называется критической глубиной $h_{кр}$. Такое состояние потока, при котором $h = h_{кр}$, является критическим.

Для любой формы сечения потока его критическое состояние описывается уравнением:

$$\frac{w_{кр}^3}{B_{кр}} = \frac{Q}{g}, \quad (12)$$

где $w_{кр}$ – критическая площадь живого сечения потока, m^2 , откуда

$$w_{кр} = \sqrt[3]{\frac{Q^2 B_{кр}}{g}}. \quad (13)$$

где $B_{кр}$ – критическая ширина свободной поверхности потока, м.

Рассмотрение прямоугольного сечения канала позволяет получить следующее выражение для его критической глубины:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_{кр}^2}} - 0,482\sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2}}. \quad (14)$$

Исследование трапецидального сечения канала приводит к следующей формуле:

$$h_{кр} = \left(1 - \frac{mh_{кн}}{3b} + 0,105\frac{m^2 h_{кн}^2}{b^2} - 0,125\frac{m^3 h_{кн}^3}{b^3} \right) h_{кн}, \quad (15)$$

где $h_{кн}$ – критическая глубина для прямоугольного сечения канала, при общей ширине b дна для трапеции и прямоугольника;

m – коэффициент заложения откоса,

$$m = \frac{a}{h}, \quad (16)$$

где $h_{кн}$ – критическая глубина прямоугольного сечения канала, м;

b – общая ширина дна для трапеции и прямоугольника, м.

В первом приближении, отбросив слагаемые $0,105 \frac{m^2 h_{кр}^2}{b^2} - 0,0125 \frac{m^3 h_{кр}^3}{b^3}$ степени выше первой, получим [1]:

$$h_{кр} = \left(1 - \frac{mh_{кр}}{3b} \right) h_{кр}. \quad (17)$$

При треугольном сечении потока критическая глубина потока будет:

$$h_{кр} = \sqrt[5]{\frac{2Q^2}{gm^2}}. \quad (18)$$

При определенных соотношениях между глубиной h и критической глубиной $h_{кр}$ потоков выделяют три их состояния:

- бурное состояние потока характеризуется неравенством $h < h_{кр}$;
- спокойное состояние потока характеризуется неравенством $h > h_{кр}$;
- критическое состояние потока характеризуется неравенством $h = h_{кр}$.

А. Ш. Мамедовым были предложены выражения допускаемой средней глубины потока $H_{ср}$, м, при известных параметрах грунтов [5]:

- для несвязных грунтов:

$$H_{ср} = 1,56 \frac{(A \cdot \beta)^2}{gJ} \cdot \left\{ \frac{2m}{0,44\rho_0 n_0} [g(\rho_z - \rho_0)d + 2C_{yn}^n K] \right\}; \quad (19)$$

- для связных грунтов:

$$H_{ср} = 1,56 \frac{(A \cdot \beta)^2}{gJ} \left\{ \frac{2m}{2,6\rho_z n_0} [g(\rho_z - \rho_0)d + 1,25C_{yn}^n K] \right\}, \quad (20)$$

где $A = \frac{1}{K}$ – специальное обозначение;

β – коэффициент, характеризующий состояние русла и влияние транспорта наносов на русловые процессы;

J – уклон потока;

ρ_0 – плотность воды, кг/м³

ρ_2 – плотность грунта русла, кг/м³;

n_0 – коэффициент перегрузки, который учитывает свойство пульсации скоростей:

$$n_0 = 1 + \frac{d}{0,00005 + 0,3d}, \quad (21)$$

где d – средний диаметр частиц грунта, мм;

C_{yn}^n – усталостная прочность на разрыв связного грунта;

K – опытный коэффициент.

Глубину размыва за жёсткой рисбермой h_{pc} , м, можно рассчитывать, пользуясь следующей эмпирической формулой [6]:

$$h_{pc} = h_0 \left[\frac{0.4h_{кр}}{h_2} (1 + M) - 0.1 \right], \quad (22)$$

где h_{pc} – глубина размыва за жесткой рисбермой, м;

h_0 – глубина, отвечающая срывающей скорости, м;

$$h_0 = \frac{Q}{v_c}, \quad (23)$$

где v_c – кинематическая вязкость воды, м²/с;

$h_{кр}$ – критическая глубина, м:

$$h_{кр} = \sqrt{\frac{\alpha Q^2}{g}}, \quad (24)$$

где α – эмпирический параметр;

h_2 – глубина в конце рисбермы, м.

Глубина за воронкой размыва рассчитывается из соотношения [6, 7]:

$$h_H = \frac{q}{v_k}, \quad \text{м}, \quad (25)$$

где v_k – критическая скорость, м/с.

В некоторых работах рекомендуется определять неразмывающую скорость из следующих групп соотношений:

- для несвязных грунтов:

$$v_n = \left(\frac{H_{cp}}{0,7d} \right)^{0.2} \sqrt{\frac{2m}{0,44\rho} [g(\rho_z - \rho_0)d + 2C_{yn}^n K]} \quad (26)$$

где v_n – неразмывающая скорость, м/с.

- для связных грунтов:

$$v_n = \left(\frac{H}{0,7d} \right)^{0.2} \sqrt{\frac{2m}{2,6\rho_z n_0} [g(\rho_z - \rho_0) + 1,25C_{yn}^z K]} \quad (27)$$

где H_{cp} – средняя глубина потока, м;

n_0 – безразмерный параметр.

Рассмотренные математические зависимости позволили выделить следующие параметры, оказывающие влияние на степень местных размывов на концевых водосбросных сооружениях мелиоративных каналах: скорость течения, степень сжатия потока, крупность, расход, форму и перемещение донных наносов, глубину и форму опор в плане и поперечном сечении, форму гидрографа, косину струй, длительность стояния высоких уровней воды в Садковской балке и пр.

Выводы

1 Приведенные математические зависимости позволяют проанализировать степень воздействия водного потока на основания водосбросных сооружениях каналов мелиоративных систем. Моделирование местного размыва каналов основывается на глубоком анализе причин возникновения данного явления. Основными являются кинематические параметры жидкости, скорость и направление распространения потока жидкости, конструктивные особенности канала.

2 При моделирование процессов образования местных размывов в первую очередь необходимо пользоваться уравнениями гидродинамики для определения кинематических и динамических характеристик водного

потока: скорости, давления, плотности в зависимости от глубины и продольной координаты потока.

3 На основании проведенных исследований можно сказать, что основополагающими зависимостями являются теоретические (1)-(7) и эмпирические (7)-(27) зависимости.

Библиографический список

- 1 Ибадзаде, Ю. А. Транспортирование воды в открытых каналах / Ю. А. Ибадзаде. – М.: Стройиздат, 1979. – 272 с.
- 2 Проектирование речных гидроузлов на нескальных основаниях / А. П. Вошинин [и др.]. – М.: Энергия, 1967. – 263 с.
- 3 Прогресс в проектировании и строительстве высоких плотин из грунтовых материалов / А. А. Боровой [и др.]. – М.: Гидротехническое строительство. – 1983. – № 8. – 47-53 с.
- 4 Павчич, М. П. Проектирование и строительство грунтовых плотин особого типа. Проектирование и строительство больших плотин / М. П. Павчич, В. Г. Радченко, М. Б. Гинсбург – М.: Энергоиздат, 1981. – Вып. 3. – 136 с.
- 5 Гидротехнические сооружения / Н. П. Розанов [и др.]; под ред. Н. П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.
- 6 Гидротехнические сооружения / Г. В. Желязняков [и др.]; под ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.
- 7 Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов / П. С. Непорожний [и др.]. – М.: Энергоиздат, 1982. – 559 с.
- 8 Воробьев, Г. А. Защита гидротехнических сооружений от кавитации / Г. А. Воробьев. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 247 с.

References

- 1 Ibadzade, Ju. A. Transportirovanie vody v otkrytyh kanalah / Ju. A. Ibadzade. – М.: Strojizdat, 1979. – 272 s.
- 2 Proektirovanie rechnyh gidrouzlov na neskal'nyh osnovanijah / A. P. Voshhinin [i dr.]. – М.: Jenergija, 1967. – 263 s.
- 3 Progress v proektirovanii i stroitel'stve vysokih plotin iz gruntovyh materialov / A. A. Borovoj [i dr.]. – М.: Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo. – 1983. – № 8. – 47-53 s.
- 4 Pavchich, M. P. Proektirovanie i stroitel'stvo gruntovyh plotin osobogo tipa. Proektirovanie i stroitel'stvo bol'shih plotin / M. P. Pavchich, V. G. Radchenko, M. B. Ginsburg – М.: Jenergoizdat, 1981. – Vyp. 3. – 136 s.
- 5 Gidrotehnicheskie sooruzhenija / N. P. Rozanov [i dr.]; pod red. N. P. Rozanova. – М.: Agropromizdat, 1985. – 432 s.
- 6 Gidrotehnicheskie sooruzhenija / G. V. Zheljaznjakov [i dr.]; pod red. V. P. Nedrigi. – М.: Strojizdat, 1983. – 543 s.
- 7 Gidrojenergetika i kompleksnoe ispol'zovanie vodnyh resursov / P. S. Neporozhnyj [i dr.]. – М.: Jenergoizdat, 1982. – 559 s.
- 8 Vorob'ev, G. A. Zashhita gidrotehnicheskikh sooruzhenij ot kavitacii / G. A. Vorob'ev. – М.: Jenergoatomizdat, 1990. – 247 s.