

Из анализа графиков видно, что при рабочих скоростях набегающего потока до 0,22 м/с (эксплуатационная скорость 8 км/час) оптимальные значения демонстрируют обводы с носовой частью с лекальными обводами и килеватым носом и обводы с плоским носом и углом подъема 22° при $L/B = 7,3$, а при $L/B = 5,43$ оптимальные значения демонстрируют обводы с носовой частью с лекальными обводами и килеватым носом и лекальные обводы с ложкообразным носом.

Из анализа представленных зависимостей видно, что при малых скоростях (0,16–0,22 м/с) лекальные обводы повышают эффективность движения состава даже при режиме буксировки. Однако при выходе на рабочие скорости (0,22–0,27 м/с) режим толкания эффективнее для всех типов обводов, а в режиме буксировки сопротивление движению резко возрастает.

Из зависимостей видно, что при выходе на рабочие скорости (0,22–0,27 м/с) режим толкания эффективнее порядка на 25–40 % в сравнении с буксировкой для обоих составов.

Литература

1. Программно-аппаратный комплекс измерения усилий. Паспорт. Минск: БНТУ, 2008. – 2 с.
2. Войткунский, Я. И. Сопротивление движению судов. 2-е изд., перераб. и доп. / Я. И. Войткунский. – Л.: Судостроение, 1988. – 288 с.
3. Богданов, Б. В. Проектирование толкаемых составов и составных судов / Б. В. Богданов, Г. А. Алчуджан, В. Б. Жинкин. – Л.: Судостроение, 1981. – С. 224.
4. Микровертушка гидрометрическая ГМЦМ-1 (КК 001.00.00.00.000ПС). Руководство по эксплуатации. Свид. об утв. типа РФ RU.C.28.001.A № 34138, 2014. – 10 с.

УДК 626.3:627.86

Оценка степени оптимизации параметров мелиоративных каналов (на примере магистральных каналов ирригационных систем Китая)

Михневич Э. И., Ли Цзэмин
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Предлагается методика оценки степени оптимизации параметров эксплуатируемых каналов на основе коэффициента оптимизации, представляющего отношение скорости течения воды в русле при максимальном расходе к скорости в канале с гидравлически наивыгоднейшим сечением. Эта методика позволяет также установить диапазон оптимальных значений

глубины и ширины русла и соответствие этому диапазону параметров канала. В качестве примера дана оценка степени оптимизации параметров магистральных каналов ирригационных систем Китая.

Магистральные каналы являются важнейшими элементами мелиоративных систем. При осушении земель они принимают всю воду с осушаемой территории и отводят ее в реку-водоприемник. На ирригационных системах магистральные каналы являются непосредственным поставщиком воды из водных источников (рек, водохранилищ, озер) на орошение. Для снижения стоимости строительства каналов стремятся создавать их гидравлически наиболее выгодного сечения или близкими к этому профилю. Глубина магистральных каналов, подающих воду на орошение, определяется в основном расчетным расходом воды и может достигать на крупных ирригационных системах Китая 4–5 м и более [1].

Каналы гидравлически наиболее выгодного сечения характеризуются максимально возможной средней скоростью $v_{гн}$, и следовательно, минимальной площадью живого сечения $\omega_{гн}$ [2; 3]. Для трапецидального сечения, наиболее распространенного в водохозяйственном строительстве, такой профиль характеризуется соотношением $\beta_{гн}$ между шириной русла по дну b и глубиной h [2; 4]:

$$\beta_{гн} = (b/h)_{гн} = 2(\sqrt{1+m^2} - m), \quad (1)$$

где m – коэффициент заложения откосов.

Каналы гидравлически наиболее выгодного сечения являются наиболее экономичными по объемам земляной выемки и соответственно по строительным затратам. В тоже время, такие каналы являются часто слишком глубокими и узкими, что не всегда удобно при производстве работ и может не соответствовать требованиям сопряжения проводящей сети в вертикальной плоскости. Наши исследования показали, что принимая скорость течения воды в русле v на (1–5) % меньше максимально возможной $v_{гн}$, можно выделить область гидравлически наиболее выгодных сечений, которая характеризуется коэффициентом оптимизации $K_{опт} = v/v_{гн}$, изменяющемся в пределах $K_{опт} = 0,95–1,0$ и получить оптимальные параметры канала, близкие к гидравлически наиболее выгодному сечению, но менее глубокие и достаточно широкие, чтобы быть вполне приемлемыми для производства работ по их сооружению и удовлетворять требованиям сопряжения проводящей сети в вертикальной плоскости.

Нами предлагается методика, по которой может быть дана оценка степени оптимизации параметров эксплуатируемых каналов.

1. Рассчитывают гидравлически наивыгоднейший радиус $R_{\text{гн}}$ по формуле [2; 4]

$$R_{\text{гн}} = \left(\frac{Qn}{4m_0 \sqrt{i}} \right)^{\frac{1}{2,5+y}}, \quad (2)$$

где m_0 – характеристика откоса, которая определяется по формуле

$$m_0 = 2\sqrt{1+m^2} - m, \quad (3)$$

где n – коэффициент шероховатости русла; i – уклон дна канала; y – показатель степени в формуле Н. Н. Павловского для определения коэффициента Шези C , $\text{м}^{0,5} / \text{с}$:

$$C = \frac{1}{n} R^y,$$

где R – гидравлический радиус, м.

Значение показателя степени y с достаточной степенью точности может быть определено по упрощенным формулам Н. Н. Павловского [2; 3]

$$y = 1,5\sqrt{n} \text{ при } R < 1 \text{ м},$$

$$y = 1,3\sqrt{n} \text{ при } R > 1 \text{ м}.$$

Для земляных русел с гидравлическим радиусом $R = 0,5\text{--}3$ м значение y может быть принято приближенно $y = 0,2$ [3; 4].

2. Определяют площадь гидравлически наивыгоднейшего сечения $\omega_{\text{г.н.}}$ по формуле [2; 4]

$$\omega_{\text{г.н.}} = 4m_0 R_{\text{г.н.}}^2.$$

3. Находят среднюю скорость потока $v_{\text{гн}}$, которая является максимально возможной при заданных уклоне i и коэффициенте шероховатости русла n

$$v_{\text{г.н.}} = \frac{Q}{\omega_{\text{г.н.}}}.$$

4. Зная фактическую скорость в канале v при максимальном расчетном расходе Q , определяют коэффициент оптимизации параметров поперечного сечения канала

$$K_{\text{опт}} = v / v_{\text{г.н.}}$$

Если значение коэффициента оптимизации окажется в пределах $K_{\text{опт}} = 0,95-1,0$, то можно полагать, что параметры канала находятся в области гидравлически наивыгоднейших сечений. Соответственно, чем меньше значения коэффициента $K_{\text{опт}}$, тем больше отклоняются параметры канала от гидравлически наивыгоднейшего профиля. Принимать коэффициент $K_{\text{опт}} < 0,95$ не рекомендуется, что вызовет значительное отчуждение территории под трассу канала и в результате экономические затраты на создание канала значительно возрастут. Глубина канала гидравлически наивыгоднейшего профиля $h_{\text{г.н.}} = 2R_{\text{г.н.}}$. Наряду с определением коэффициента оптимизации по соотношению скоростей $v / v_{\text{г.н.}}$, можно также сравнить параметры существующего русла: глубину h и ширину по дну b со значениями этих параметров для русла гидравлически наивыгоднейшего профиля: $h_{\text{г.н}}$ и $b_{\text{г.н}}$. Параметры существующего русла: глубину h и ширину по дну b можно определить, исходя из заданных значений скорости v уклона дна русла i и коэффициента шероховатости n .

Для этого определяют гидравлический радиус поперечного сечения канала по формуле

$$R = \left(\frac{vn}{\sqrt{i}} \right)^{\frac{1}{0,5+y}}$$

Затем вычисляют площадь живого сечения ω и смоченный периметр χ соответственно по формулам

$$\omega = Q / v, \chi = \omega / R.$$

Находят значение глубины русла из уравнения

$$h = \frac{\chi - \sqrt{\chi^2 - 4m_0\omega}}{2m_0}, \quad (4)$$

где m_0 – характеристика откоса, определяемая по формуле (3).

Определяют ширину русла по дну b по формуле

$$b = \frac{\omega}{h} - mh. \quad (5)$$

Для установления диапазона значений глубины в области гидравлически наивыгоднейших сечений определяют максимально возможную глубину в этом диапазоне $h_{г.н} = 2R_{г.н}$, где $R_{г.н}$ находят по формуле (2), и минимальную $h_{мин}$ – по уравнению (4), принимая коэффициент $K_{опт} = 0,95$ и соответственно скорость $v_{мин} = 0,95v_{г.н}$. Если глубина эксплуатируемого канала окажется в этом диапазоне, то можно считать, что она находится в области гидравлически наивыгоднейших сечений. Аналогично можно установить диапазон значений ширины русла по дну в этой области. Минимально возможную ширину $b_{г.н}$ определяют из соотношения (1): $b_{г.н} = \beta_{г.н} h_{г.н}$, а максимальную b_{max} – по (5) при скорости $v_{мин} = 0,95v_{г.н}$ и соответствующей ей площади русла $\omega_{мин}$.

В качестве примера рассмотрены пять типичных магистральных каналов, подающих воду на оросительные системы в Китае, четыре из которых (Цаодиан, Цунсун, Данкоу и Гухай) находятся в ирригационных районах в бассейне реки Хуанхэ и один (Линдиан) в ирригационном районе в верховье реки Сунхуацзян в северо-восточном Китае. Три канала (Цаодиан, Цунсун, Гухай) закреплены железобетонными плитами и поэтому имеют небольшие значения коэффициента шероховатости n .

В табл. 1 представлены гидравлические характеристики указанных магистральных каналов, используя которые рассчитаны параметры каналов по предлагаемой методике для оценки степени их оптимизации.

Таблица 1

Гидравлические характеристики магистральных каналов

Магистральные каналы	Q , м ³ /с	n	y	t	t_0	i
Цаодиан	35,0	0,015	0,1592	1,5	2,106	0,000200
Цунсун	46,5	0,015	0,1592	1,25	1,952	0,000333
Данкоу	50,0	0,025	0,2055	1,5	2,106	0,000143
Гухай	18,7	0,014	0,1538	1	1,828	0,000167
Линдиан	10,77	0,025	0,2055	2,5	2,885	0,000286

Получены диапазоны значений средней скорости потока, глубины и ширины русла по дну в области гидравлически наиболее выгодных сечений, для которой $K_{\text{опт}} = 0,95-1,0$ (табл. 2) и дано сравнение этих значений с фактическими параметрами каналов, что позволило проанализировать степень их оптимизации.

Таблица 2

Диапазон оптимальных параметров магистральных каналов
и их фактические значения

Каналы	$K_{\text{опт}}$	$v_{\text{min}} - v_{\text{г.н.}}, \text{ м/с}$	$v, \text{ м/с}$	$h_{\text{min}} - h_{\text{г.н.}}, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$b_{\text{г.н.}} - b_{\text{max}}, \text{ м}$	$b, \text{ м}$
Цаодиан	0,92	1,29–1,36	1,25	2,26–3,49	2,00	2,12–8,60	11,0
Цунсун	1,0	1,71–1,80	1,80	2,35–3,63	3,50	2,55–8,62	3,00
Данкоу	0,87	0,88–0,92	0,80	3,32–5,08	2,20	3,07–12,2	25,0
Гухай	1,0	1,13–1,19	1,19	1,89–2,94	2,52	2,43–6,87	3,73
Линдиан	0,93	0,70–0,74	0,69	1,47–2,25	1,37	0,87–6,77	8,00

Данные табл. 2 показывают, что магистральные каналы Цунсун и Гухай имеют гидравлически наиболее выгодные сечения и отвечают наиболее благоприятным экономическим условиям. Остальные магистральные каналы (Цаодиан, Данкоу и Линдиан) не находятся в области гидравлически наиболее выгодных сечений и не соответствуют экономически оптимальным условиям, так как значения скорости v , глубины h и ширины b русла этих каналов отличаются от расчетных оптимальных значений. Фактическая средняя скорость течения воды в канале Линдиан только немного ниже расчетного значения, но глубина и ширина русла существенно отличаются от оптимальных значений. Большая ширина каналов Данкоу и Цаодиан потребовала значительного отчуждения территории под трассы каналов, привела к значительному испарению воды и осложнила проведение дноуглубительных работ.

Предлагаемая методика оценки степени оптимизации параметров эксплуатируемых каналов может найти практическое применение в проектах реконструкции магистральных каналов.

Литература

1. Михневич, Э. И. Пропускная способность главного магистрального канала, подающего воду из р. Хуанхэ на ирригационную систему Хэтао / Э. И. Михневич, Ли Цзэмин // Тридцать седьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых

процессов, г. Рязань, 3–7 октября 2022 г.: Доклады и сообщения. – М.: МГУ, 2022. – С. 128–130.

2. Агроскин, И. И. Гидравлика. 4-е изд. / И. И. Агроскин, И. И. Дмитриев, Ф. И. Пикалов. – М.–Л.: Энергия, 1964. – 352 с.

3. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика / Д. В. Штеренлихт; ред. Н. М. Щербакова. – М.: Колос С, 2007. – 655 с.

4. Михневич, Э. И. Открытые водотоки: пропускная способность и устойчивость / Э. И. Михневич. – Минск: БНТУ, 2021. – 311 с.

УДК: 627.8

Разрушение грунтовых сооружений при насыщении их водой

Колосов М. А., Моргунов К. П., Чинаков П. П.

Государственный университет морского и речного флота

имени адмирала С. О. Макарова

Санкт-Петербург, Российская Федерация

Представлен анализ причин обрушения и оползания склонов водохранилищ при их заполнении. Отмечено, что основным механизмом утраты грунтом несущей способности является разжижение грунта, происходящее при насыщении порового пространства водой и действии на частицы грунта взвешивающей архимедовой силы. Описан цикл лабораторных исследований, проведенных для оценки процесса насыщения водой и разрушения грунтовой дамбы. В результате эксперимента подтвержден процесс переукладки грунтовых частиц в теле дамбы, приведший к увеличению плотности грунтового массива.

Как показывают наблюдения за состоянием береговых откосов водохранилищ, зачастую при первичном их наполнении наблюдаются обрушения берегов. В частности, анализ повреждений береговых откосов и тела грунтовых плотин, выполненный в работе [1], подтвердил, что из рассмотренных восьмидесяти пяти случаев в девятнадцати наполнение водохранилища привело к разрушению тела плотины со стороны верхнего бьефа. При этом песчаные берега разрушаются с формированием пологих откосов, глинистые при размыве формируют временные вертикальные откосы, а скальные берега сохраняют форму скальных образований (рис. 1).

Как правило, основная причина таких разрушений – разжижение грунтов, вызывающее подмыв и обрушение слоев грунта. Значительное водонасыщение приводит к разрушению структурных связей в грунте в результате внешнего волнового воздействия, а также формирования фильтрационных потоков и суффозионного выноса в грунте.