

Карлиханов Т.К., Куанышбаев О.Ж., Далдабаева Г.Т.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕМЛЯНЫХ КАНАЛОВ

T.K. Karlikhanov, O.Zh. Kuanyshbaev, G.T. Daldabaeva

THE CURRENT STATE OF EARTH RESISTANCE CHANNEL

УДК:626.823.69:626.824

В статье рассматриваются современные состояния проблемы устойчивости земляных каналов. Также рассматриваются взаимодействия речного потока и русла при взаимодействии с гидротехническими сооружениями. Приведены основные факторы, влияющие на устойчивость канала.

The article deals with the current state of sustainability earthen channels. Also examines the interaction of river flow and channel interaction with waterworks. Are the main factors affecting the stability of the channel.

До настоящего времени отдельно изучались процессы русловых переформирований каналов, происходящих в размываемых грунтах (в основном, песках) и взаимодействие речного потока и русла (русловой процесс), как в естественном состоянии, так и при возведении различных гидротехнических сооружений, частично или полностью изменяющих тип руслового процесса.

Основное отличие в процессе руслоформирования необлицованных каналов от руслового процесса естественных водотоков заключается в том, что в каналах мы имеем относительно равномерный гидрограф, причем поступление наносов может быть ограничено. В реках соблюдается неустановившееся движение, наблюдаемые русловые процессы в виде мезо- и макроформ (ленточные гряды, побочни, осередки, излуцины с плесами и перекатами и т.п.) связаны, согласно гидроморфологической теории ГГИ с годовыми циклами изменения расходов и уровней, а также наличием отложений в речной долине /1/.

Основные факторы, влияющие на устойчивость канала, следующие:

- водность потока и колебание уровней воды;
- гидротехнические сооружения, стесняющие поток (перегораживающие и сопрягающие сооружения, мостовые переходы и т.п.);
- физико-механические свойства грунтов, слагающих русло (крупность, количество илистых частиц, неоднородность, сцепление);
- геологические условия;
- количество наносов (взвешенных и донных, поступающих при водозаборе) и регулирование режима наносов в канале;
- зарастаемость канала;
- ветровые и судовые волны перемещения (для машинных каналов) при внезапной остановке насосных агрегатов;
- расположение русла в плане (прямолинейные или криволинейные участки) и неоднородность грун-

тов по трассе канала;

- уровень фунтовых вод, степень фильтрации или инфильтрации и противофильтрационные мероприятия;
- эрозия дамб и берегов канала (оползание откосов под действием ливневых вод или потока при опорожнении каналов);
- степень врезки канала и устойчивость берегов (в зависимости от их высоты и степени увлажнения);
- осадка дамб и дна канала на насыпных участках;
- выпучивание грунта на низовых откосах при выклинивании фильтрационных вод;
- способ производства работ (в первые годы эксплуатации канала, при уширениях и очистке);
- опорожнение и наполнение каналов;
- температурный режим, образование ледяного покрова и колебание уровней в зимний период;
- перелив воды через канал и другие нарушения условий эксплуатации канала.

В настоящее время вопросы проектирования устойчивых продольного и поперечного сечений крупных земляных каналов (с расходами воды свыше 200 м³/с) являются наиболее сложными, так как имеется небольшое количество таких каналов, которые могли быть приняты за аналоги будущих очень больших каналов (с расходами воды свыше 1000 м³/с).

Кроме того решение этой задачи осложняется тем, что большинство больших каналов с расходами воды свыше 500 м³/с (гидротехническую классификацию земляных каналов по пропускной способности, гидравлическим сопротивлениям и степени устойчивости русла /2/ несут значительное количество взвеси в потоке, которая и определяет наряду с грунтовыми геологическими и топографическими условиями форму русла.

Каналы разделяются /1,2/ по расходам воды на средние (Q=50-200 м³/с), большие (Q=200-1000 м³/с) и очень большие каналы (Q> 1000 м³/с).

Обобщив натурные данные по земляным каналам, в/1,2/ предложена гидротехническая классификация земляных каналов. По этой классификации можно назначать коэффициент шероховатости в зависимости от расчетного расхода воды и выбирать метод гидравлического расчета в зависимости от принятых в проекте условий, характеризующих тип устойчивости.

Условия устойчивости грунта на поверхности

проектируемого: русла рекомендуется оценивать двумя коэффициентами запаса: первый (КО определяет условия устойчивости отсека на оси (здесь дополнительные факторы более определены), второй (K_2) определяет условия устойчивости на откосе (где дополнительные факторы менее определены и слабо изучены). Величину K_1 можно назначать, обычно, с запасом на 3 % - 5%, а величина K_2 должна быть переменной. Строго говоря, второй коэффициент в свою очередь должен представлять собой произведение расчетных коэффициентов, учитывающих упомянутые дополнительные факторы. Однако на данной стадии, пока эти факторы еще недостаточно

изучены, было принято величину K_2 определять как отношение тангенсов двух углов σ_g и ϕ , причем σ_g - угол действительного откоса канала на урезе воды, а второй - угол внутреннего трения рассматриваемых песков. Заметим, что первая величина переменная, а вторая - постоянная для данных грунтов. Поперечное сечение канала описывается косинусоидой, но имеет более пологий вид, чем при расчете по методу влекущей силы, так как в расчетные зависимости входит угол действительного откоса, а не угол внутреннего трения. Назначая различные величины этого угла, получаем сочетания с различными отношениями B/h .

Таблица 1

Гидротехническая классификация земляных каналов

Класс	Название	Расходы воды, м ³ /с	Коэффициент Шероховатости	Метод расчета	Устойчивость	Характеристика русловых форм	Форма русла	Параметр формы русла
1	2	3	4	5	6	7	8	9
IV	Малый	Менее 50	0,01-0,04	Допустимых скоростей	Статическая	Неподвижный	Косинусоидальная $\beta=1,57$	$\beta = \left(\frac{Q}{d_{cp}^2 \sqrt{gd_{cp}}} \right)^{1/8}$
					Динамическая	Подвижный рифель или гряды	Косинусоидальная $\beta=1,5-1,57$	$\beta = 1,2 \left(\frac{Q}{d_{cp}^2 \sqrt{gd_{cp}}} \right)^{1/8}$
III	Средний	50-200	0,018-0,035	Обобщенный или допустимых скоростей	Статическая	Неподвижные рифели или гряды	Косинусоидальная $\beta=1,57$	$\beta = \left(\frac{Q}{d_{cp}^2 \sqrt{gd_{cp}}} \right)^{1/8}$
					Динамическая	Подвижные рифели или гряды	Косинусоидальная $\beta=1,5-1,57$	$\beta = 1,2 \left(\frac{Q}{d_{cp}^2 \sqrt{gd_{cp}}} \right)^{1/8}$
					Предельная динамическая	Движение крупных гряд	Параболическая $\beta=1,3-1,4$	$\beta = 1,2 \left(\frac{Q}{d_{cp}^2 \sqrt{gd_{cp}}} \right)^{1/6}$
II	Большой	200-1000	0,013-0,025	Обобщенный	Динамическая	Подвижные рифели или гряды	Косинусоидальная $\beta=1,5-1,57$	$\beta = 1,2 \left(\frac{Q}{d_{cp}^2 \sqrt{gd_{cp}}} \right)^{1/8}$
II	Большой	200-1000	0,013-0,025	Обобщенный	Предельная динамическая	Движение крупных гряд	Параболическая $\beta=1,3-1,4$	$\beta = 1,2 \left(\frac{Q}{d_{cp}^2 \sqrt{gd_{cp}}} \right)^{1/6}$
IV	Очень большой	Более 1000	0,011-0,02	Обобщенный	Динамическая	Подвижный рифель или гряды	Косинусоидальная $\beta=1,5-1,57$	$\beta = 1,2 \left(\frac{Q}{d_{cp}^2 \sqrt{gd_{cp}}} \right)^{1/8}$
					Предельная динамическая	Движение крупных гряд	Параболическая $\beta=1,3-1,4$	$\beta = 1,2 \left(\frac{Q}{d_{cp}^2 \sqrt{gd_{cp}}} \right)^{1/6}$
					Относительная динамическая	Движение русловых форм (осередков, порочней и т.п.) движение крупных гряд и образование меандр	Параболическая $\beta=1,1-1,3$	$\beta = 1,4 \left(\frac{Q}{d_{cp}^2 \sqrt{gd_{cp}}} \right)^{1/6}$

Для определения допустимых значений касательных напряжений и средних скоростей течения воды были проведены экспериментальные исследования в гидравлическом лотке КГУ им. Коркыт Ата. Эти исследования проводились с мелкозернистыми песками крупностью 0,15-0,20 мм, сравнительно однородным (коэффициент $c_1 - d_{75}/d_{25}$ не превышает 5, где d_{75} диаметр крупных частиц, составляющих 25% по весу от общего объема грунта, d_{25} - диаметр частиц, составляющих 75%) и пренебрежимо малой связанности. Допустимые значения удерживающих касательных напряжений этих песков оказались равным 30 г/м^2 , что соответствует нижнему пределу по графику Лейна.

По методу допускаемых скоростей предельная динамическая устойчивость соответствует скорости $U_{пр.д} = (1,5-2,0) v_{ндоп.}$

Эти соотношения справедливы на прямолинейных участках канала при наличии взвешенных и донных и донных наносов в потоке и отсутствии боковых деформаций русла.

Если в канал поступает значительное количество взвеси из водоисточника и происходит кольматация русла, то размывающую скорость в этих неравенствах надо определять с учетом кольматации, то есть $\gamma_{ок} = (1,1+1,3) \gamma_{ндоп.}$, и тогда $\gamma_{пр.д} = (1,7; 2,6) v_{ндоп.}$

При неравномерном движении (в результате колебания уровней в мете водозабора, в соответствии с графиком водопотребления и т.д.) или несимметричном распределении скоростей в плане, а также при деформациях русла (воздействия воды на откосы, оползание и т.д.) могут возникнуть дополнительные факторы, влияющие на устойчивость русла, запроектированного на статическую или динамическую устойчивость.

В этих условиях устойчивость канала будет нарушена и, прежде чем она будет восстановлена, возникнут необратимые деформации русла. Тогда необходимо проведение мероприятий (например, с помощью средств гидромеханизации) по восстановлению условий, характеризующих статическую или динамическую устойчивость.

Гидроморфологические зависимости, в основном, являются результатом обработки материалов натурных исследований на реках и каналах или же получены с использованием анализа размерностей (В. Г. Глушков, С. И. Рыбкин, М. А. Великанов, С. Т. Алтунин). Поэтому они справедливы для конкретных условий, для которых эти зависимости были получены. Применение их для других условий связаны с определением некоторых коэффициентов и показателей степени, ограничивающих предел их применимости. Однако эти зависимости, несмотря на ряд недостатков, являются основными в расчете русловых процессов.

Существующие методы гидравлического расчета можно разделить следующим образом:

1. Методы, основанные на теоретических зависимостях.
2. Метод гидроморфологических зависимостей и «режимная» теория.

В теоретическом отношении нахождение «устойчивой формы» русла основывается на расчете предельного равновесия частиц (теория влекущей

силы) и математического решения задачи вариационного исчисления. К этой группе можно отнести методы расчета, предложенные М.А. Мостковым, Ю.А. Ибад-Заде, М.С. Похсраряном, Ю.М.Кузьминовым, из зарубежных авторов Форхгеймера, Кохлина и др.

Помимо этого, широко применяется метод допустимых скоростей, по которому, подставляя значение неразмывающей скорости в формулу Шези и принимая продольный уклон и коэффициент откоса для данного типа фунта, определяет глубину наполнения и ширину канала по дну.

В зарубежной практике широко применяется метод расчета по влекущей силе [3]. Основные положения теории влекущей силы подробно изложены в [4].

Выполненный анализ позволяет отметить, что геометрические характеристики поперечного сечения V/h_{cp} земляных каналов зависят от отношения средней скорости потока к неразмывающей скорости и режима движения наносов. Так, в песчаных руслах нижний предел параметра V/h_{cp} ($V/h_{cp} \sim 20$) соответствует допускаемой (неразмывающей) скорости - турбулентного потока, а верхний предел параметра ($V/h_{cp} > 40$) определяется соотношением между транспортирующей способностью потока и фактическим содержанием отдельных фракций наносов в потоке.

В каждом - конкретном случае в зависимости от исходной информации, с учетом которой проектируется данный земляной канал или его участок, целесообразно выделять расчетные схемы или варианты: статически устойчивый канал и динамически устойчивый канал.

В варианте практически, статически устойчивого канала отсутствует транспорт донных наносов, величины скоростей течения не превосходят их предельных неразмывающих значений, при этом отношение ширины поверху к средней глубине сравнительно небольшое (20:30).

В варианте динамически устойчивого канала допускается транспорт для данного канала донных и взвешенных наносов (в меру транспортирующей способности), поступающих в канал при водозаборе или из боковых притоков. В этом варианте наблюдается русловой процесс в виде микро - и мезоформ (динамически устойчивое русло), скорости течения значительно превышают предельные значения, относительная ширина канала велика (40:85 и больше).

В первом приближении расчет земляных каналов, в которых отсутствует движение наносов, можно выполнять по методам Ю.А.Ибад-Заде, И.Ф.Карасева, В.С.Алтунина, Т.А.Алиева и Г.П.Скребкова, (1-3).

Расчетные положения Х.Ш.Шапиро и Е.К.Рабковой являются по существу эмпирическими и полумпирическими. Перечисленные методы могут служить основой для расчета и прогнозирования формы поперечного сечения русла в мелкопесчаных фунтах в условиях транспорта наносов.

Большинство авторов методов за исключением С.Х.Абальянца и В.А.Скрыльникова не достаточно уделили внимание вопросам гидравлических сопротивлений в земляных каналах.

Рассмотренные методы гидравлического расчета земляных каналов не достаточно учитывают факторы, обуславливающие устойчивость русла, например, режим наносов, кинематические характеристики потока, литологические разновидности грунтов и их прочностные характеристики потока, литологические разновидности грунтов и их прочностные характеристики, климатические условия региона, а также качества воды.

В настоящее время наиболее перспективным методом можно считать метод влекущей силы, который может быть успешно применен для расчета статически и динамически устойчивого русла.

В связи с этим, направленность дальнейших исследований должна получить выражение в следующем их составе и содержании:

- уточнение метода влекущей силы по условию отсутствия движения «неруслоформирующих» наносов и по условию обеспечения транспорта и «руслоформирующих» наносов для различных литологических разновидностей грунтов, климатических условий;

уточнение значений допустимых (неразмывающих) скоростей, установления связи допускаемых (неразмывающих) скоростей с глубиной потока и грунта ложа русла, а также установление роста допустимых скоростей течения при транспорте наносов;

- дальнейшая разработка методов для оценки гидравлических сопротивлений по длине канала в различающихся русловых режимах;

- уточнение и разработка методов расчета для прогнозирования процессов формирования поперечного и продольного профилей русла канала с учетом возможного расширения и при частичном закреплении живого сечения.

С учетом вышеперечисленных факторов разработать модели безотказной работы комплекса крупного земляного канала и определение наиболее эффективных приемов прогноза и повышение надежности этого сооружения с позиции современной теории надежности.

Литература:

1. Алтунин В.С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. М., «Колос», 1979
2. Кузьминов Ю.М. Мелиоративные каналы в легкоразмываемых грунтах. М., «Колос», 1977.
3. Рабкова Е.К. Метод расчета больших земляных каналов. Гидротехника и мелиорация., 1967.
4. Чоу В.Т. Гидравлика открытых каналов. Пер. с англ. «Стройиздат», 1973.
5. Алтунин В.С., Алиев Т.А., Халыклычев Б.Р. Гидравлические расчеты устойчивого русла канала в легкоразмываемых фунтах. - «Гидротехническое строительство», № 8, 1980.

Рецензент: д.т.н., профессор Атаманова О.В.