

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРЕПЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ КАНАЛОВ

В.П. Рогунович, доктор технических наук,

А-И. М. Ваэль, магистрант,

А. И. Шкадун, инженер

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Разработан способ повышения устойчивости откосов сечений земляных каналов за счет локального крепления нижней половины откоса в области повышенных касательных напряжений. В лабораторных условиях способ показал свою эффективность. Помимо эксплуатационного достоинства данный способ имеет преимущества как в простоте применения на строительной площадке, так и в финансовых затратах по сравнению с конкурирующими вариантами.

Ключевые слова: земляные каналы, устойчивость сечения, касательные напряжения, количество наносов, турбулентное давление

Abstract

V.P. Rogunovich, A-I.M. Vael, A.I. Shkadun
INCREASING EFFICIENCY OF MOUNT
EARTHEN CANALS

The method of increasing stability of earth canals sections was developed at the expense of local fastening of the lower slope half in the tangential stress range. This method has shown its effectiveness in laboratory conditions. Besides operating advantages this method has both in simplicity of use on the building area and in financial expenditure, comparing with competitive variants.

Keywords: earth canals, shear stresses, tangential stress range, sludge accumulation, turbulent pressure

Введение

В Беларуси построено большое количество земляных каналов различного назначения. Для обеспечения устойчивости их откосов используются различные виды крепления. Например в Узбекистане, участки каналов крепили даже железобетонными плитами. Для поддержания таких каналов в работоспособном состоянии необходимы значительные затраты, поэтому создание эффективного крепления их откосов – важная задача.

Проблемы повышения устойчивости земляных каналов актуальны не только в Беларуси, но и во всем мире, так как мелиорация является существенным фактором экономического развития государства, поскольку в мире более 40 % продуктов питания поступает на стол с мелиорируемых земель. Причем значительная часть земляных каналов используется в ирригационных целях.

Особую роль ирригация играет в развивающихся странах. Многие из них расположены в регионах с неблагоприятными климатическими условиями, как, например, Республика Сирия: ограниченное количество осадков, неравномерность их выпадения, высокие температуры не позволяют интенсивно без орошения развивать сельскохозяйственное производство, хотя при орошении земель имеется возможность собирать два урожая в год. Суммарная длина земляных каналов Сирии оценивается в 400 км. Каналы в основном сосредоточены в западной части

провинции Хомс, где много оросительных систем с расходами 0,14-1,0 м³/с.

Объекты и методы исследований

В настоящее время размеры сечений земляных каналов – обычно трапецеидальных – определяются по допускаемым неразмывающим средним в сечении скоростям потока, установленным для однородных несвязных, а также неоднородных по крупности несвязных и связных грунтов [1].

На сегодняшний день при проектировании канала в первую очередь учитываются средние скорости потока, а не силы, воздействующие на инженерную конструкцию. Конечно, проектировщиками подразумевается, что средние скорости как-то связаны с силами, воздействующими на поверхность сечения канала, т. е. касательными напряжениями по смоченному периметру канала. Но по умолчанию предполагается, что напряжения распределяются более-менее равномерно по сечению, что и было основанием определять размеры каналов по допускаемым неразмывающим средним скоростям потока.

Однако опубликованные многочисленные экспериментальные данные [2, 3, 4] показали, что касательные напряжения по периметру канала распределяются неравномерно. Даже при равномерном – однородном по длине течения – существуют поля поперечных компонентов осредненной скорости (рисунок 1) [4].

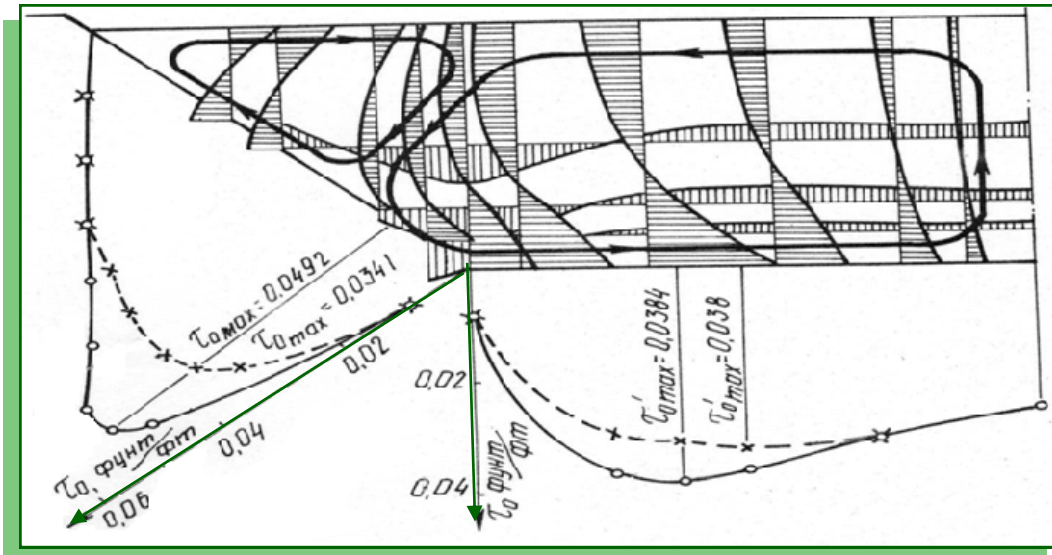


Рисунок 1 – Распределение касательных напряжений и эпюр поперечных осредненных скоростей в сечении канала

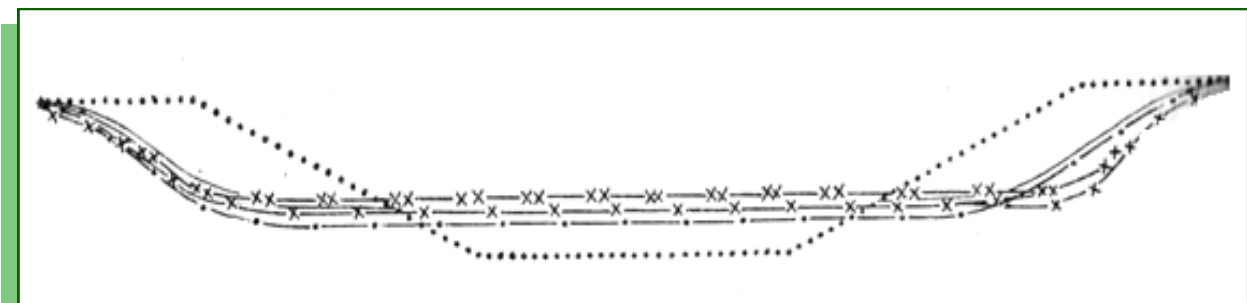
Чтобы рассчитать распределение касательных напряжений по периметру сечения и эпюр поперечных осредненных скоростей в сечении канала, необходимо решить трехмерную задачу расчета продольных и поперечных осредненных скоростей в сечении канала. Это затруднительно, в первую очередь, из-за неполноты знаний о распределении в сечении кинематического коэффициента турбулентной вязкости. Однако определение устойчивости земляных каналов не всегда требует решения трехмерной задачи, поскольку представить данный процесс на реальном объекте участков крепления по сложной форме распределения касательных напряжений весьма проблематично.

Можно упростить решение задачи, рассчитав поле продольных скоростей по полуэмпирической зависимости [6, 7]. Однако необходимость решения задачи в одномерной постановке неоднозначна, по-

скольку выполнение неоднородного крепления по глубине канала также затруднительно.

Многочисленные натурные исследования показали, что более интенсивно русловой процесс идет первые два года, а через 1-2 цикла прохождения расчетных максимальных (руслоформирующих) расходов процесс постепенно затухает. Так, например, если русла регулируемых рек и магистральных каналов рассчитываются на максимальный расход 25 %-ой обеспеченности весеннего половодья (что чаще всего принимается в проектировании водотоков мелиоративных систем), то уже через 5...8 лет проектные трапециевидальные поперечные сечения принимают параболический профиль (рисунок 2). Эта картина зафиксирована, например, исследованиями С. К. Ревяшко [5] на р. Морочь.

Следует отметить, что в Беларуси болота и



- проектное сечение;
- - - - по измерениям через год;
- · - · - · через 2 года;
- · · - · · - · · через 4 года;

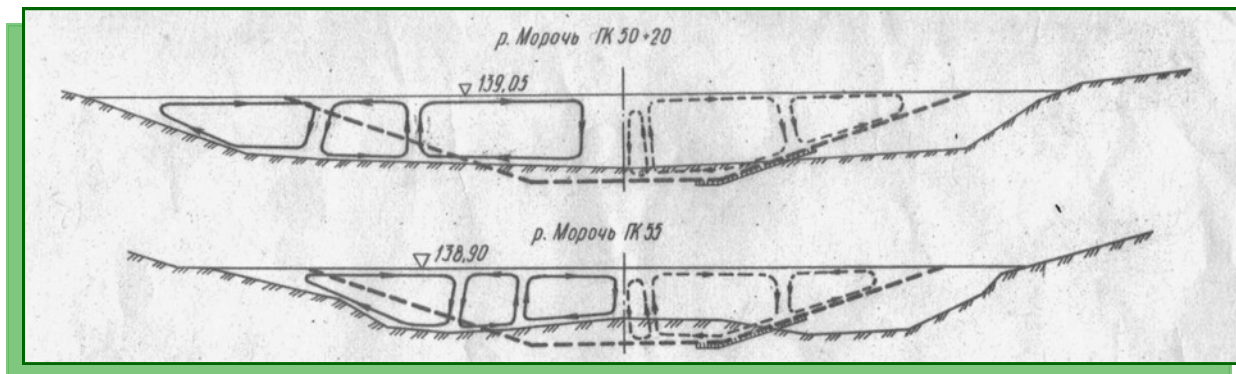
Рисунок 2 – Деформации поперечного сечения канала за 4 года эксплуатации

заболоченные земли подстилаются преимущественно песчаными отложениями. Причем в наиболее распространенных генетических группах преобладают неустойчивые мелкозернистые и среднезернистые пески.

Из рисунка 1 можно сделать вывод, что деформации и влекущая их сила (касательные напряжения) значительно больше по величине на откосе у дна, чем среднее значение касательного напряжения на дне канала. Поэтому при таком силовом воз-

действии потока на откос канала он интенсивнее деформируется у дна.

Отметим, что в поперечных сечениях всегда имеются поперечные компоненты осредненной скорости (рисунок 3). Первопричиной возникновения поперечных компонентов осредненной скорости являются возникающие градиенты турбулентного давления в поперечном сечении некруглого сечения водотока.



— — — проектное сечение → — направление поперечных течений в проектном сечении
 // // // существующее сечение → — направление поперечных течений в существующем сечении

Рисунок 3 – Движение объемов воды в поперечном направлении (р. Морочь)

Из экспериментальных эпюр распределения по сечению поперечных компонентов осредненной скорости и касательных напряжений по периметру канала очевидны следующие выводы:

– поперечные компоненты осредненной скорости, движущиеся с относительно большой скоростью у поверхности объёма воды, расположены концентрировано к откосам и поэтому локально, именно в окрестности этого места откоса, максимальные касательные напряжения по различным источникам [2, 3, 4] примерно в 2,5 раза больше касательных напряжений в середине канала, что способствует интенсивным локальным деформациям;

– поперечные компоненты осредненной скорости транспортируют с области максимальных касательных напряжений в середину канала влекомые наносы, где они осаждаются, уменьшая глубину, а, следовательно, и пропускную способность канала.

В результате деформаций канал перестает выполнять свои функции. Необходима реконструкция и восстановление канала или вывод мелиорируемых земель из пользования. Это требует больших затрат.

Результаты исследования и их обсуждение

Цель исследований – повысить эффективность крепления откосов земляных каналов.

Задачи исследований:

- выяснить причины интенсивных деформаций каналов, которые, возможно, не учитываются в настоящее время при их проектировании;
- обосновать конструкцию улучшенного крепления откосов земляных каналов;
- проверить в лабораторных условиях конструкцию улучшенного крепления;
- разработать простую (ввиду отсутствия в Сирии многих нормативных документов) методику расчета улучшенного крепления канала.

Логично предположить, что целесообразно укреплять именно участок откоса, где касательные напряжения максимальны. Из рисунка 1 следует, что этот участок относится к нижней половине откоса. Его крепление может быть различным. Однако нам представляется, что если засыпать нижнюю половину откоса материалом, для которого нормированные

предельные касательные напряжения больше локальных расчетных, то устойчивость откосов канала повысится. Таким материалом может быть, к примеру, гравий или песок крупный. Процесс засыпки нижней части откоса песком недорогой, материал, как правило, местный.

При равномерном движении воды влекущая сила, очевидно, равна компоненту силы тяжести массы воды, действующему параллельно дну канала и равному

$$\tau_0 = \gamma \cdot \omega \cdot l \cdot i, \quad (1)$$

где γ – удельный вес воды, ω – площадь живого сечения; l – длина участка канала, i – уклон.

Таким образом, средняя величина влекущей силы на единицу площади живого сечения, или так называемая удельная влекущая сила, следовательно,

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i, \quad (2)$$

где R – гидравлический радиус.

Если определить примерное касательное напряжение на дне канала в центре сечения по зависимости (2) и максимальные касательные напряжения по различным источникам принять примерно в 2,5 раза больше касательных напряжений в середине канала [4], то можно определить приблизительные максимальные расчетные касательные напряжения на откосе у дна. Увеличение в 2,5 раза принято с запасом прочности, т.е.

$$\tau_{max} = 2,5 \cdot \tau_0 \quad (3)$$

Тогда используя зависимости В.П. Троицкого и В.И. Линчаровского [8] для предельных касательных напряжений τ_{max} (Н/м²) при средней крупности d_{cp} (м) песков с коэффициентом разнозерности $\frac{d_{95}}{d_5} \approx 5 \dots 10$ можно определить диаметр частиц грунта крепления d_{cp} .

$$\tau_{max} = 0,7 \cdot d_{cp}^{0,1}, \text{ при } d_{cp} \leq 2,3 \cdot 10^{-4};$$

$$\tau_{max} = 27,8 \cdot d_{cp}^{0,54}, \text{ при } 2,3 \cdot 10^{-4} < d_{cp} \leq 1,0 \cdot 10^{-3};$$

$$\tau_{max} = 686 \cdot d_{cp}, \text{ при } 1,0 \cdot 10^{-3} < d_{cp} \leq 2 \cdot 10^{-2};$$

Учитывая приближенность и простоту расчетов возникает необходимость в постановке решающего эксперимента: эффективно ли локальное крепление канала по глубине откоса?

Эта гипотеза проверялась экспериментальным исследованием в лаборатории гидротехнических сооружений Белорусского национального технического университета (рисунок 4).

Эксперимент выполнялся в металлическом лотке, внутри которого была отсыпана модель трапециевидального канала: ширина трапециевидального канала поверху $B_B = 0,62$ м; ширина понизу $B_H = 0,16$ м; коэффициент шероховатости $n = 0,016$; гидравлический радиус $R = 0,0506$ м; заложение откосов $m = 1,15$; длина канала $l_K = 6,3$ м, $i = 0,001$. Материал канала – песок, средняя крупность фракций 1 мм.



Рисунок 4 – Вид сверху участка однородного по длине канала

Для проведения испытаний в канале необходимо было создать условия для близкого к равномерному, однородному по длине движению воды. Это достигалось установкой затвора клапанного типа в конце канала.

Поскольку $\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i = 0,497$ Па,

то $\tau_{max} = 2,5 \cdot 0,497 = 1,242$ Па, тогда по формуле Троицкого В. П. и Линчаровского В. И. можно определить диаметр частиц крепления откоса:

$$d_{cp} = \frac{\tau_{max}}{686} = \frac{1,242}{686} = 0,002 \text{ м} \quad (4)$$

Для измерения количества наносов, как в незакрепленном, так и закрепленном канале, в его конце, за затвором, устанавливалось специальное устройство – песколовка. Устройство представляет собой ящик, с проделанными по всему его периметру отверстиями и покрытый фильтрующим материалом, необходимым для улавливания наносов. В качестве фильтрующего материала использовалась обычная хлопчатобумажная ткань. Глубина в песколовке значительно превы-

шает глубину в канале, тем самым создавалась меньшая скорость движения, которая позволяла оседать наносам на фильтрующем материале.

Было проведено два эксперимента. Первый эксперимент проходил в канале с незакрепленными откосами (рисунок 4), а второй выполнен при частично закрепленных откосах (рисунок 5). Для проведения экспериментов необходимо было создать в канале равномерное движение, это достигнуто с помощью манипуляций с задвижки насоса, подающего воду в установку, и регулировки степени открытия затвора.



Рисунок 5 – Закрепленный канал, готовый к эксперименту

После получения данных наблюдений, выполнена статистическая обработка результатов измерений:

- Незакрепленный канал:
вес наносов составляет $8,84 \text{ г} \pm 3,15$, вероятность $p=0,95$.
- Закрепленный канал:
вес наносов составляет $4,08 \text{ г} \pm 2,93$, вероятность $p=0,95$.

Из экспериментальных данных следует вывод: вынос влекомых наносов в канале, закрепленном предлагаемым способом, в 2 раза меньше, чем в незакрепленном канале.

Это позволяет утверждать, что эксперимент был удачным, подтвердившим начальную гипотезу об эффективности предложенного типа крепления откоса канала.

Заключение

Сущность предложенного способа крепления откосов каналов: покрытие грунтом фракций, для которых предельные касательные напряжения боль-

ше расчетных. Продолжительность каждого наблюдения была равна 10 минутам. По истечении этого времени извлекался фильтрующий материал из песколовки, все осевшие и извлеченные частицы взвешивались на чашечных весах. Количество наносов измерялось в граммах.

Аналогично проводился эксперимент при частичном креплении откосов (рисунок 5). В качестве грунта крепления был использован песок $d_{cp} = 3 \text{ мм}$. Для крепления было необходимо посыпать откос грунтом примерно до середины.

ше расчетных. Но при этом откос покрывается не полностью, а лишь на тех участках, где касательные напряжения максимальные.

Из экспериментальных эпюр распределения по сечению поперечных компонентов осредненной скорости и по периметру канала касательных напряжений очевиден вывод: поперечные компоненты осредненной скорости доставляют движущиеся с большой скоростью у поверхности объёмы воды концентрировано к откосу, поэтому именно в этом месте откоса максимальные касательные напряжения примерно в 2,5 раза больше касательных напряжений в середине канала, что способствует интенсивным локальным деформациям канала.

В лабораторных условиях проведен эксперимент по частичному креплению откосов каналов, где касательные напряжения максимальные. В ходе данного исследования было выявлено, что для повышения надежности, крепление целесообразно выполнять до середины откоса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михневич, Э.И. Устойчивость русл открытых водотоков / Э.И. Михневич // – Минск: Ураджай, 1988. – 240 с.
2. Ghosh, S. N. Boundary shear distribution in open channel compound / S.N. Ghosh, S.B. Jena S.B. // Proc. Instn Civ. Engrs, 1971, 49, Aug., P. 417-430.
3. Ghosh, S. N. Boundary shear distribution in a compound channel with varying roughness distridunion / S.N. Ghosh // Proc. Instn Civ. Engrs. 1974, Vol. 57. March,159/ – p.187.
4. Blau, E. Die Verteilung der Wandschubspannung in ofenen Gerinnen / E. Blau // – Wasser und Grungbau, Berlin , 1976г.,№ 29, ss. 5-188.
5. Ревяшко, С.К. Динамическая устойчивость мелиоративных каналов / С.К. Ревяшко. – Минск: Ураджай, 1988. – 112 с.
6. Рогунович, В.П. К расчету определения продольных скоростей в однородных по длине прямолинейных потоках / В.П. Рогунович // Водное хозяйство Белоруссии. – 1971. –Вып.1. – С. 64-73.
7. Рогунович, В.П. Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков / В.П. Рогунович. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 364 с.
8. Троицкий, В. П. Предельные значения неразмывающих касательных напряжений и скоростей течения для несвязных материалов / В.П. Троицкий, В. И. Линчаровский // Сб. науч. тр. ЛПИ. – Л., 1982. – № 383. – С. 81-87.