

К ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМУ ОБОСНОВАНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ РУСЕЛ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Важной задачей проектирования водопроводящих каналов является обеспечение устойчивости русел (особенно в несвязных грунтах). Существующие методы гидравлического расчета русел по методу средней скорости и влекущей силы [1, 2] не учитывают в полной мере реального распределения по периметру локальных придонных скоростей и касательных напряжений.

В настоящее время теоретически и экспериментально доказано, что поле осредненных скоростей в прямолинейных каналах некруглого поперечного сечения трехмерно [4, 5], т.е. существуют небольшие поперечные компоненты, образующие совместно с основным продольным компонентом стационарные винтовые течения, которые оказывают существенное влияние на процессы движения воды и перенос взвешенных и донных наносов.

Автором выполнены экспериментальные исследования трехмерных турбулентных течений в прямолинейных лабораторных и натурных трапецеидальных каналах [3], в результате которых установлено, что при любых соотношениях поперечных размеров русла существуют стационарные винтовые течения, охватывающие значительную область потока, которые интенсифицируют конвективный массообмен, оказывают существенное влияние на распределение по сечению турбулентных характеристик, перераспределяют по смоченному периметру гидродинамические усилия, вызывая появление их локальных экстремумов. Анализ результатов показывает, что максимальные значения придонных осредненной V_1 и актуальной $V_a = V_1 + 3 \sqrt{V_1^2}$ скоростей имеют место на откосах канала в области встречи нисходящих токов винтовых течений с жесткими границами, а минимальные значения – в области восходящих токов. Аналогичная закономерность обнаруживается в распределении по периметру касательных напряжений на стенке [4].

Характерной чертой при формировании русел прямолинейных участков земляных каналов является размыв боковых откосов и по-

вышение дна вследствие отложения в этой области наносов. Попытаемся пояснить такой механизм деформации сечений.

При параллельно струйном движении потока на прямолинейном участке канала через определенное время можно было бы ожидать стабилизации размыва, так как на место унесенной частицы грунта будет доставлена другая из соответствующих точек вышерасположенных сечений. Существование устойчивых винтовых течений приводит к тому, что частица грунта, взвешенная мгновенной скоростью, будет транспортироваться не только вдоль потока, но и с осредненной скоростью будет перемещаться и поперек русла. Таким образом, устойчивость русла канала будет зависеть не только от величины придонной скорости, но и в значительной степени от ее направления, особенно если учесть, что основной формой движения донных наносов является качение и сальтация. Если вектор осредненной скорости направлен от основания откоса канала к урезу воды, то частица грунта будет поддерживаться на откосе осредненным движением. В противном случае осредненная скорость будет способствовать смыву частиц грунта с откоса и переносу их на горизонтальное дно канала к середине сечения и, следовательно, – русло будет расширяться, а его глубина уменьшаться.

Таким образом, русло земляного канала, запроектированное по методу допускаемой на размыв средней скорости или допускаемой влекущей силы, без учета направления винтовых течений будет деформироваться с образованием зон преимущественного размыва и преимущественного отложения наносов. Определение местоположения этих областей, позволит обосновать инженерные мероприятия, обеспечивающие повышения устойчивости русел земляных каналов. Учитывая многообразие условий, это возможно осуществить лишь методами математического моделирования.

С помощью математической модели трехмерного поля осредненных скоростей в каналах трапецеидального поперечного сечения с переменной по периметру шероховатостью [5, 6] выполнены расчеты трехмерных течений для проектных трапецеидальных русел и сформированных в процессе эксплуатации устойчивых сечений канализованной реки Морочь (данные Белгипроводхоза) [1, 2]

Установлено, что расчетные винтовые течения хорошо объясняют результаты деформаций проектных сечений (рисунок 1) – нисходящие токи направлены на боковые откосы в район углов и раз-

мыв происходит в зонах их встречи с размываемыми границами. Зоны преимущественного отложения наносов совпадают с областью восходящих токов (Рисунок 1а). В сформированных в процессе эксплуатации устойчивых руслах нисходящие токи винтовых течений направлены на горизонтальное дно и от основания откоса к урезу воды (Рисунок 1б).

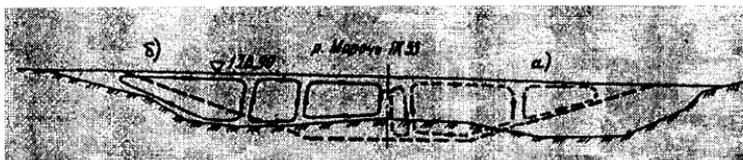


Рисунок 1 – К объяснению деформаций русла р.Морочь
(данные Белгипроводхоза)

- а) проектное русло
 ----- — проектное сечение;
 - - - - - — направление расчетных винтовых течений;
- б) существующее устойчивое русло
 // // // — существующее сечение;
 - - - - - — направление расчетных винтовых течений

Таким образом, при гидравлических расчетах устойчивых русел земляных каналов по методу допускаемой средней скорости или влекущей силы (касательного напряжения) условие $V_{cp} < V_{доп}$ ($t_{cp} < t_{доп}$) является необходимым, но не достаточным для обеспечения устойчивости сечения. Русло должно иметь такие параметры, при которых области максимальных придонных скоростей и касательных напряжений находятся на горизонтальном дне, а винтовые течения направлены от основания откоса к урезу воды.

Расчеты с помощью математической модели позволяют определить параметры сечения устойчивого земляного канала. При заложение откоса $m > 4$ и параметре формы $2B_1/H_0 > 17$ максимальные придонные скорости имеют место на горизонтальном дне и осредненное винтовое течение имеет направление от основания откоса к урезу, т.е. будет способствовать повышению устойчивости откоса. Полученные значения параметров предельно-устойчивых русел удовлетворительно согласуются с расчетными данными, полученными по гидроморфологическим зависимостям [1].

Выводы:

1. При гидравлических расчетах прямолинейных участков русел земляных каналов необходимо учитывать существование в потоке стационарных винтовых течений, вызванных анизотропностью распределения по сечению турбулентных напряжений Рейнольдса. Условие $V_{cp} < V_{доп}$ ($t_{cp} < t_{доп}$) является необходимым, но не достаточным для обеспечения устойчивости русла. Требуется учитывать направление винтовых течений, которое зависит от достаточно многих параметров.

2. Математическая модель трехмерного поля осредненных скоростей в трапецеидальных руслах с переменной по периметру шероховатостью [5, 6] позволяет гидродинамически обосновать параметры устойчивого русла земляного канала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алтунин В.С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. - М.: Колос, 1979. – 256 с.
2. Чоу, В.Т. Гидравлика открытых потоков. – М. Изд. литературы по строительству, 1969. – 464 с.
3. Шнипов Ф.Д. Трехмерная кинематическая структура потока в трапецеидальных руслах. – Гидротехническое ст-во, 1989, № 9. – С. 48-52
4. Ghosh, S.N., Roy, N. Boundary shear distribution in open channel flow. – J. Hydraul. Dif. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., 1970, vol. 96, № 4. – Pp. 967-994
5. Rogounovich, V.P., Schnipov, F.D. Calculation of crossflows in straight rectangular and trapezeidal ducts with variable peripheral roughness // 21-th Congr. Intern. Assoc. Hudraul Res. (Melbourne). – 1985, vol. 2. – P. 64-69.
6. Шнипов, Ф.Д. К расчету трехмерного поля осредненных скоростей в однородных по длине потоках трапецеидального сечения. – В кн. Водное хозяйство и гидротехническое ст-во, 1985, № 14 – С. 76-81.