
ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

В. И. Антроповский

О МЕТОДАХ РАСЧЕТА КРУПНЫХ ЗЕМЛЯНЫХ КАНАЛОВ

Показано, что для определения оптимальных параметров, для снижения возможных деформаций и обеспечения пропускной способности крупных каналов, прокладываемых в естественных грунтах, необходимо наряду с гидравлическими методами использовать и гидролого-морфологические методы («методы теории режима»).

V. Antropovsky

ESTIMATING METHODS OF BIG LAND CHANNELS

It is claimed that for determining the optimal parameters, for reducing possible deformations, and for providing big channels built in the natural soil with carrying capacity, it is necessary to use hydraulic methods alongside with hydrologic-morphological methods («regime theory methods»).

Бассейны рек все чаще соединяются каналами и создаются региональные водохозяйственные системы. В связи с необходимостью транспортировки большого количества воды и по причине экономичности все в большем количестве проектируются и сооружаются необлицованные земляные каналы. [1, 12, 15, 17]. Они отчасти приобретают свойства рек и являются промежуточным звеном между каналами статического равновесия и реками с зарегулированным стоком. В таких каналах происходят обратимые и необратимые деформации, влияющие на их пропускную способность. Для поддержания обычных оросительных каналов в проектном состоянии на них ведутся дноуглубительные работы и работы по ремонтной планировке откосов. На длинных межбассейновых каналах такие работы экономически не целесообразны. Поэтому возникает задача по выбору начальных размеров канала, при которых указанный процесс будет идти с наименьшими нарушениями проектной пропускной способ-

ности канала. Большое значение приобретают прогнозы влияния гидротехнических сооружений и водохозяйственных систем в целом на природную среду [11, 15–17], в частности прогнозы русловых переформирований водотоков, входящих в состав указанных систем. Проектирование и строительство неукрепленных каналов имеет долгую историю. Однако ошибки в назначении поперечных размеров каналов повторяются до настоящего времени. Существующие методы расчета каналов, как правило, построены на гидравлических зависимостях и предполагается, что канал в неустойчивом земляном ложе остается в состоянии статического или динамического равновесия.

Среди указанных методов выделяют методы, основанные на использовании неразмывающих скоростей и предельной влекущей силы потока. Гидравлические методы, базирующиеся на неразмывающих скоростях и предельной влекущей силе, отличаются, главным образом, лишь техникой расчета. В качестве основных, узаконенных нормативными документами в нашей стране, являются методы, основанные на использовании допустимых предельных скоростей течения воды. Они разработаны преимущественно для каналов небольшой пропускной способности, как правило, с облицовкой или креплением их русел, в которых практически отсутствует сток наносов и русловые деформации. В крупных же каналах, проходящих в естественных грунтах, даже при показателях устойчивости русла, не превышающих критических значений, и при скоростях течения, близких к неразмывающим, наблюдаются деформации. Объясняется это, в первую очередь, пульсацией скоростей течения (при неразмывающем их среднем значении) и неоднородным по крупности характером грунта [1–2, 5, 8].

Сток наносов и русловые процессы в каналах более пассивны и протекают менее интенсивно, чем на реках. Однако в каналах могут возникать грядообразные и побочневидные образования в условиях, отличающихся от характерных для рек. При отсутствии крепления берегов и русловыправительных работ они могут расширяться, мелеть и приобретать извилистые очертания в плане [11–14, 17]. При проектировании крупных каналов в естественных грунтах, представляющих собой динамически равновесные системы, с механизмом саморегулирования, проявляющимся через процессы руслоформирования, наряду с гидравлическими методами их расчета приходится использовать и гидролого-морфологические методы (методы «теории режима»).

Так называемая «режимная теория» руслового процесса, разработанная еще Ласеем и поддерживаемая авторами [19–25], получила большое развитие за рубежом. Слово «режим» используется для замены слова «равновесие». Некоторые противоречия в определении «режима» существуют до сих пор. Инглис (1949) дает такое определение: «О каналах, которые не изменяются заметно от года к году — хотя они могут менять-

ся в течение года, — говорят, что они находятся в режиме». Согласно Бленчу (1961), термин «режимный канал» используется для обозначения того, что он способен достигать режима или равновесия, в конце концов, путем саморегулирования границ, если заданные условия не меняются в среднем за длительное время. Теория, базирующаяся на системе эмпирических формул (обычно трех), которая отражает взаимоотношение между пропускаемым расходом (воды и наносов) и геометрией приходящего в состояние временной устойчивости канала (глубиной, уклоном, шириной) в зарубежной технической литературе принято называть «теорией режима». Концепция режима получила большую популярность среди англо-индийских инженеров, поскольку она позволяет достаточно просто установить параметры земляных каналов. Но она также довольно часто бывает предметом нападков за отсутствие разумного объяснения и физической строгости. Соотношения, рассматриваемые в режимной теории, близки к гидроморфологическим зависимостям, которые анализируют отечественные авторы.

Как известно, очень важной частью научного обобщения, особенно на эмпирической стадии развития науки, являются классификации (типизации) исследуемых явлений и элементов природной среды. Они в какой-то мере заменяют отсутствие строгих теоретических методов. При рассмотрении русловых процессов рек с гидрологическим режимом, нарушенным хозяйственной деятельностью, используется классификация гидротехнических сооружений по степени влияния на русловый процесс Б.Ф. Снищенко (1982), а для земляных каналов — гидрологическая классификация В.С. Алтунина (1979). В условиях всеобъемлющего и разностороннего характера преобразований полезны комплексная водохозяйственная классификация водотоков и классификация земляных каналов по характеру руслового процесса, составленные на основе имеющихся сведений об их пропускной способности, устойчивости и русловых деформациях [6, 9]. Указанные классификации позволяют систематизировать существующие сведения о преобразованных реках, каналах в естественных грунтах, сгруппировать однотипные задачи русловых исследований для разработки типовых схем расчета и прогноза русловых деформаций с учетом физико-географических особенностей природной среды. Они полезны при разработке мероприятий и гидротехнических сооружений по регулированию и стабилизации русловых процессов и позволяют перейти к разработке методов управления ими в звеньях водохозяйственных систем.

За последние десятилетия выполнены обобщения гидравлических (коэффициентов шероховатости n) и морфометрических ($\frac{B}{h_{cp}}$ и $\frac{h_{\max}}{h_{cp}}$) характеристик, применяемых в гидравлических методах расчетов земляных каналов [3, 4]. Получена зависимость коэффициента шероховатости от числа Рейнольдса, отношения ширины к средней глубине и характера

подстилающего грунта для земляных каналов и канализованных рек. Выделены области по характеру изменения коэффициентов шероховатости, дан анализ правомерности использования формул Шези—Маннинга при определении параметров каналов в естественных грунтах и канализованных рек. При этом для восполнения недостатка данных по действующим необлицованным каналам использованы сведения по канализованным рекам — рекам со значительной естественной зарегулированностью стока ($\varphi > 0,50$) и со сжатыми поперечными сечениями ($\frac{B}{h_{ср}} < 50$), с чертами руслового процесса, промежуточного между реками и каналами.

Одновременно показана возможность расчета оптимальных (с позиции русловых переформирований) параметров поперечного сечения больших земляных каналов как на основе установленных закономерностей для коэффициентов шероховатости n и отношения $\frac{B}{h_{ср}}$, так и на основе использования данных по участкам рек-аналогов (выбираемых из числа канализованных рек).

Разработаны приемы ориентировочного определения возможных плановых деформаций крупных земляных каналов на основе использования совмещенных критериальных графиков устойчивых каналов в естественных грунтах и рек с разным типом руслового процесса; сведений о величинах плановых деформаций земляных каналов и рек-аналогов, а также показателей устойчивости каналов. Результаты такого определения демонстрируются на примере канала в мелкозернистых грунтах с прямолинейными и слабоизвилистыми очертаниями [7, 18].

В работах [2, 10, 18] проведена приближенная оценка изменения продольного профиля на головном участке крупного канала, проложенного в мелкозернистых грунтах с помощью упрощенного балансового метода и морфометрических зависимостей. При этом расчеты оказываются возможным вести сразу на конечное предельное состояние русла (без учета хода переформирования во времени), что значительно их упрощает. Достоверность оценки подтверждается рассмотрением высотных (глубинных) деформаций р. Иртыша на участке истечения его из оз. Зайсан, который может служить аналогом крупного земляного канала при бесплотинном водозаборе. Выполненные расчеты могут быть использованы при проектировании каналов в сходных геологических и гидрологических условиях.

Прогнозные оценки русловых переформирований крупных земляных каналов необходимы как для развития основ гидролого-морфологической теории русловых процессов, так и в практическом отношении, для выявления возможных нежелательных последствий в каналах по причине пропуска воды и для определения мероприятий по их уменьшению и ликвидации. Наличие же достаточно разработанных основ русловых

процессов, их прогнозов и научно обоснованных методов управления позволит найти оптимальное соотношение между хозяйственным использованием водотоков и сохранением окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Алтунин В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. М., 1979.
2. Антроповский В. И. Определение параметров больших земляных каналов на основе гидролого-морфологической аналогии // Гидротехническое строительство. 1981. № 10. С. 37–40.
3. Антроповский В. И. О коэффициентах шероховатости и расчете неукрепленных каналов в естественных грунтах // Междудеятельный сборник. 1983. Вып. 83. С. 66–72.
4. Антроповский В. И. Режимы сопротивлений в необлицованных руслах // Гидротехника и мелиорация. 1984. № 4. С. 32–37.
5. Антроповский В. И. Об исследовании пропускной способности и возможных русловых деформаций каналов в естественных грунтах // Обратные системы тепло- и водоснабжения на предприятиях Красноярского края. Красноярск, 1985. С. 45–47.
6. Антроповский В. И. Морфологическая классификация каналов в естественных грунтах // Гидротехническое строительство. 1986. № 9. С. 51–53.
7. Антроповский В. И. О плановых деформациях больших земляных каналов в естественных грунтах // Водные ресурсы. 1989. № 6. С. 34–40.
8. Антроповский В. И. Некоторые итоги исследования русловых процессов на зарегулированных реках и каналах // Труды Академии водохозяйственных наук. Вып. 1. М., 1995. С. 60–66.
9. Антроповский В. И. Оценка параметров и возможных деформаций крупных земляных каналов на основе гидролого-морфологических закономерностей // Труды Академии водохозяйственных наук. Вып. 5. М., 1998. С. 243–251.
10. Антроповский В. И. Гидролого-морфологические закономерности и оценка русловых процессов зарегулированных рек и каналов в естественных грунтах // Известия РГО. 2004. Т. 136. Вып. 6. С. 57–62.
11. Викулова Л. И. Вопросы проектирования руслового режима каналов // Труды Гидропроекта. 1973. № 3. С. 126–137.
12. Воропаев Г. В. Единая водохозяйственная система страны // Водные ресурсы. 1976. № 6. С. 99–109.
13. Гришанин К. В. Устойчивость русел рек и каналов. Л., 1974.
14. Железняков Г. В. Некоторые итоги гидроморфологических исследований рек и каналов // Гидротехническое строительство. 1975. № 7. С. 33–34.
15. Ибад-Заде Ю. А. Водопроводные каналы. М., 1975.
16. Карасев И. Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л., 1975.
17. Смищенко Б. Ф. Русловые деформации на крупных каналах // Межзональное перераспределение водных ресурсов. Л., 1980. С. 241–267.
18. Antropovsky V. I. Application of Hydrological and Morphological regularities for estimating parameters and possible deformations of big unlined canals // Environmental and socio-economic consequences of water resources development and management. Proceeding of the Moscow Symposium (15–20 May 1995). Unesco, Paris, 1996. P. 104–106.
19. Barr D. I. H., Herbertson J. G. Assimilitude framework of regime theory // Proc. Inst. Civ. Engrs. London, 1968. V. 41. P. 761–781.
20. Blench T. Regime theory for self-formed sediment-bearing channels // Proc. Amer. Soc. Civ. Engrs. 1951. V. 77. №70. P. 1–18.

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

21. *Callendar R. A.* Instability and river channels // J. Fluid Mech. 1969. V. 36. № 3. P. 465–480.

22. *Chien Ning.* A concept of the regime theory // Trans. Amer. Soc. Civ. Engrs. 1957. V. 122. P. 785–795.

23. *Gill M. A.* Rationalization of Lacey's regime flow equations // J. Hydr. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Engrs. 1968. V. 98. № 4. P. 983–995.

24. *Graf W. H.* The regime concept // Advances in sediment Transport. Conference Jablonna (Poland), Nov. 1978. P. 241–281.

25. *Lacey G.* Uniform flow in alluvial rivers and canals // Pros. Inst. Civ. Engrs. London. 1935. V. 237. P. 421–453.