

## Р е з ю м е

Сваи равной несущей способности по материалу ствола и по грунту основания существенно снижает расход материала, стоимость и трудоемкость искусственных оснований и фундаментов, особенно в условиях слабых грунтов и пойменно-болотных отложений территории Белоруссии.

## Л и т е р а т у р а

1. Строительные нормы и правила. Свайные фундаменты. Нормы проектирования. СНиП П-Б. 5-67. М., 1968.
2. Строительные нормы и правила. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. СНиП П-В. 1-62. М., 1962.
3. Справочник проектировщика. Основания и фундаменты. Л.-М., 1964.
4. Журнаджи В.А., Николаев В.В. Механика грунтов, основания и фундаменты. М., 1967.
5. Светинский Е.В., Остров В.И. Новые конструкции составных железобетонных свай. В сб.: Основания, фундаменты и подземные сооружения. Вып.2. М., 1967.

УДК 532.537:626.17

А.П. Русецкий (канд.техн.наук)  
В.К. Свистунов (канд.техн.наук)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТЕЙ СРАБОТКИ УРОВНЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕСЧАНЫХ ОТКОСОВ

В условиях переменных уровней на мелиоративных объектах работают магистральные каналы польдерных систем, ловчие каналы наливных водохранилищ, водоподводящие каналы на осушительно-увлажнительных системах. Переменные уровни в этих каналах создаются искусственно путем откачки воды насосными станциями. Скорость снижения уровней в них при эксплуатации находится в весьма широких пределах. Например, в устье магистрального канала польдерной системы "Месяичи" в 1973 г. скорость изменялась в пределах от 1,5 до 38,4 см/ч. При высокой скорости снижения воды в каналах возникает опасность нарушения устойчивости их откосов. Вслед за снижением горизонтов воды в каналах происходит снижение уровней грунтовых вод в прилегающем грунте, но с меньшей скоростью. В результате в приоткосной зоне возрастают градиенты напоров фильт-

рациональных потоков и увеличиваются скорости фильтрации, вызывающие в определенных условиях разрушение откосов. Деформации откосов, отмечаемые многими авторами [1 - 6], образуются за счет оплывания грунта, пришедшего в зоне высачивания в разжиженное состояние, и последующих возникновений оползней. Существует ряд способов определения профилей каналов по физико-механическим свойствам грунтов с учетом гидродинамического давления, но для обеспечения устойчивости при интенсивном колебании уровней воды в водотоке необходимы дополнительные расчеты. Поэтому разработка мероприятий по созданию устойчивого профиля каналов актуальна и своевременна.

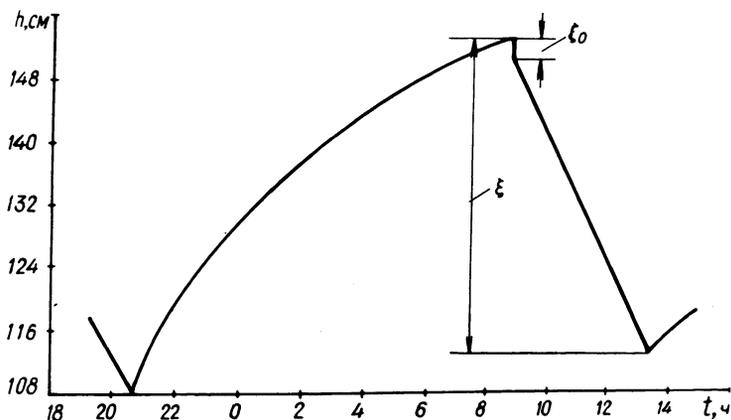


Рис.1. Изменение уровня воды в устье магистрального канала (объект "Выгоноши")

В работе приводятся результаты полевых, лабораторных и теоретических исследований устойчивости каналов, подверженных интенсивному воздействию колеблющихся горизонтов воды в них. В качестве критерия оценки устойчивости откосов каналов, находящихся в данных условиях, может быть применена допустимая скорость снижения горизонтов [7], которая взаимосвязана со свойствами грунтов. Под допустимой скоростью  $i_{доп}$  понимается такая скорость, превышение которой вызывает нарушение устойчивости откосов. Тогда проверка устойчивости откосов может осуществляться путем сравнения реальной скорости снижения горизонтов с допустимой. Реальная скорость снижения горизонтов зависит от конкретных условий работы каналов.

На польдерных системах при сбросе воды насосной станцией в магистральном канале возникает неустановившееся движение. После включения насосов в магистральном канале образуется отрицательная волна, распространяющаяся вверх по каналу. В устье магистрального канала в момент включения насосов происходит мгновенное снижение горизонтов на величину высоты фронта волны  $\tau_0$  (рис. 1). Если сток воды в канал меньше производительности включенных насосов, в дальнейшем происходит постепенное снижение горизонтов до уменьшения или прекращения откачки. Характер постепенного снижения уровней в магистральных каналах польдерных систем близок к линейному (рис. 1) и скорость снижения практически можно считать постоянной.

Скорость снижения уровней в устье магистральных каналов польдерных систем может определяться с точностью до 14% по нашей формуле:

$$i = \frac{6(Q_{н.ст} - Q_{ст})}{(2B_{А ср} + B_i)L_0} - \frac{\tau_0}{\Delta t}, \quad (1)$$

где  $Q_{н.ст}$  - расход насосной станцией;  $Q_{ст}$  - расход стока с водосборной площади;  $L_0$  - длина выклинивания фронта волны;  $\tau_0$  - высота фронта волны в устье магистрального канала;  $\Delta t$  - время перемещения фронта волны от насосной станции до створа его выклинивания;  $B_{А ср}$  - средняя ширина свободной поверхности воды в устье магистрального канала за время  $\Delta t$ ;  $B_i$  - ширина свободной поверхности воды в магистральном канале в створе выклинивания фронта волны (на расстоянии  $L_0$  от насосной станции).

Длина выклинивания фронта волны приближенно определяется эмпирической формулой:

$$L_0 = 1470 h_0, \quad (2)$$

где  $h_0$  - глубина воды в устье магистрального канала, м.

Формула (2) получена при  $h_0 = 0,73 - 1,94$  м, уклоне дна канала  $0,0001 \leq J \leq 0,0003$ , коэффициентах шероховатости русла  $n = 0,030 - 0,035$ , высоте фронта волны  $\tau_0 = 1,5 - 2,4$  см.

Для определения высоты фронта волны  $\tau_o$  и времени его перемещения до выклинивания  $\Delta t$  могут применяться формулы [8]:

$$\tau_o = \frac{Q_{н.ст} - Q_{ст}}{B_A c_o} , \quad (3)$$

$$\Delta t = \frac{L_o}{c} , \quad (4)$$

$$c_o = \sqrt{gh_{cp}} - v_o , \quad (5)$$

$$\bar{c} = \frac{c_o + c_i}{2} , \quad (6)$$

где  $B_A$  - ширина свободной поверхности воды в устье магистрального канала в момент включения насосов;  $c_o$  - скорость распространения волны в устье магистрального канала;  $h_{cp}$  - средняя глубина в сечении, для которого определяется скорость распространения волны;  $c_i$  - скорость распространения волны на расстоянии  $L_o$  от насосной станции (определяется по формуле (5) при своих исходных данных);  $v_o$  - скорость течения воды в канале.

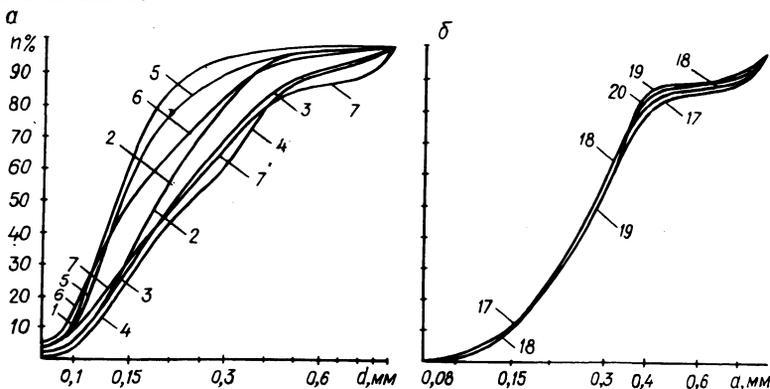


Рис.2. Интегральные кривые гранулометрического состава грунта: а - откосов существующих каналов; б - модельного откоса.

Скорость снижения уровней, определяемая уравнением (1), относится к месту забора воды и имеет наибольшее значение по сравнению со скоростями в других сечениях. Поэтому, если

она окажется меньше допустимой скорости снижения, то как в устье, так и в других сечениях при тех же грунтах канал будет устойчив.

Полевыми опытами и опытами, проведенными в лаборатории русловых процессов и регулирования рек БелНИИМиВХ на крупномасштабных моделях откосов в диапазоне  $m = 1,6 - 5,0$ , установлена допустимая интенсивность снижения уровней воды в канале из условий недеформируемости откосов, сложенных среднезернистыми и мелкозернистыми песками. Механический состав грунтов показан на рис. 2. Среднезернистый песок (рис. 2, б) имел следующие физико-механические характеристики: ко-

эффициент неоднородности  $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 2,0 - 2,5$ , объемная мас-

са  $\delta = 1,6 \text{ г/см}^3$ , плотность  $\gamma = 2,67 \text{ г/см}^3$ , коэффициент внутреннего трения водонасыщенного грунта  $f = 0,61$ , структурное сцепление погруженного в воду грунта ненарушенной структуры  $c = 0,002 \text{ г/см}^2$ ; расчетный диаметр зерен грунта, больше которого в гранулометрическом составе 10% по массе  $d_{10} = 0,05 \text{ см}$ , средневзвешенный диаметр  $d_{\text{ср.взв}} = 0,038 \text{ см}$ ,

коэффициент фильтрации  $K = 9 - 14 \text{ м/сут}$ . Если откосы каналов сложены такого рода грунтом, то необходимо назначать соответствующую интенсивность сброса уровня воды в канале глубиной 2,0 - 2,5 м (табл. 1).

Мелкозернистый кварцевый песок характеризовался следующими свойствами:  $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 1,7$ ,  $\delta = 1,51 \text{ г/см}^3$ ,  $\gamma = 2,65 \text{ г/см}^3$ ,  $f = 0,532$ ,  $c = 0,005 \text{ г/см}^2$ ,  $d_{10} = 0,045 \text{ см}$ ,

$d_{\text{ср.взв}} = 0,036 \text{ см}$ ,  $K = 2 - 7 \text{ м/сут}$ . При эксплуатации каналов, проложенных в таких грунтах и работающих в условиях переменных уровней и незакрепленных откосов, необходимо устанавливать скорости снижения горизонтов воды в канале, не превышающие допустимые (табл. 2).

При выпуске воды через отверстие подпорного сооружения наблюдается определенная зона выклинивания грунтового потока на откосе. Эта зона может возрастать к подошве откоса в зависимости от интенсивности сброса воды из канала и дости-

Таблица 1. Рекомендуемая интенсивность снижения уровня воды в каналах глубиной 2,0–2,5 м, проложенных в среднезернистых песках

Коэффициент заложения откоса	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	Примечание
Интенсивность снижения уровня воды в канале $i_{\text{доп}}$ , см/ч	$\frac{6,5}{50,0}$	$\frac{10,0}{60,0}$	$\frac{18,0}{70,0}$	$\frac{28,0}{80,0}$	$\frac{35,0}{160,0}$	$\frac{40,0}{260,0}$	Скорость падения уровня в приоткосной зоне равна 6 – 25 см/ч

Допустимая высота высачивания  $a_o^{\text{доп}}$ , см

4,0	5,0	8,0	13,0	18,0	21,0
-----	-----	-----	------	------	------

Примечание: В табл. 1 и 2 в числителе указана интенсивность снижения уровня воды по всей высоте канала глубиной 2,0–2,5 м, в знаменателе – при сбросе воды ступенями по 30–40 см.

Таблица 2. Рекомендуемая интенсивность снижения уровня воды в каналах глубиной 2–2,5 м, проложенных в мелкозернистых песках

Коэффициент заложения откоса	1,9	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	Примечание
Интенсивность снижения уровня воды в канале $i_{\text{доп}}$ , см/ч	$\frac{8,6}{14,0}$	$\frac{8,8}{15,0}$	$\frac{9,3}{17,0}$	$\frac{11,0}{30,0}$	$\frac{14,0}{70,0}$	$\frac{15,0}{190,0}$	$\frac{23,0}{214,0}$	Скорость падения уровня в приоткосной зоне равна 8,3 – 18,0 см/ч

Допустимая высота высачивания  $a_o^{\text{доп}}$ , см

2,3	3,0	4,5	7,0	9,3	13,0	17,2
-----	-----	-----	-----	-----	------	------

гать такой величины, при которой начнется оплывание разжиженного фильтрационным потоком грунта. Опытами в лаборатории на моделях откосов в натуральную величину установлено, что для различных коэффициентов откоса зона высачивания  $a_o^{\text{доп}}$ , при которой не будет наблюдаться в начальный период деформаций (оплывание в нижней части) откоса, сложенного среднезернистыми или мелкозернистыми песками, должна быть не более величин, указанных в табл. 1 и 2. Отметим, что эти величины следует понимать, как кратковременно наблюдаемые при выклинивании фильтрационного потока. При длительном высачивании грунтовых вод на такой высоте может произойти концентрация выклинившегося потока в отдельные ручейки, которые

повлекут за собой деформацию откоса. В действительности же, если придерживаться при сбросе воды приведенных допустимых величин высот высачивания и остановиться на каком-то уровне воды в канале при достигнутой допустимой величине  $a_0^{\text{доп}}$ , то сразу же будет наблюдаться уменьшение зоны выклинивания из-за снижения уровня грунтовых вод в приоткосном клине при постоянном горизонте воды в канале.

Для польдерных систем при откачке воды из канала режим работы насосов желательно назначать таким, чтобы срабатываемый горизонт воды в канале не повлек за собой деформацию откоса из-за отставания уровня грунтовых вод, ибо при быстрых откачках воды высота высачивания может достигнуть такой величины, при которой неизбежно оплывание откосов канала.

Остановимся на методике расчета интенсивности снижения уровней воды в канале глубиной более 2,5 м при определенных скоростях падения уровня грунтовых вод в приоткосной зоне (табл. 1 и 2). Пусть необходимо определить допустимую из условий устойчивости откосов интенсивность снижения уровня воды в канале глубиной 3,5 м с коэффициентом заложения откосов  $m = 2,5$ , проложенном в мелкозернистом песке, характеристики которого идентичны приведенным.

Сначала определим время, в течение которого уровень воды в канале опустится с отметки 3,5 м до подошвы откоса при предполагаемой скорости снижения 10 см/ч:

$$t = \frac{H_1}{i_1} = \frac{350}{10} = 35,0 \text{ ч.}$$

Затем определим, на какую высоту опустится уровень грунтовых вод в приоткосной зоне при интенсивности снижения  $i_2 = 8,5$  см/ч за такое же время  $t = 35,0$  ч:

$$H_2 = i_2 t = 8,5 \cdot 35,0 = 297 \text{ см.}$$

Определим напор или перепад уровней воды в канале и приоткосной зоне:

$$H = H_1 - H_2 = 350 - 297 = 53 \text{ см.}$$

В примере рассматриваем условия работы канала для наиболее неблагоприятного сочетания факторов воздействия на откос. При мгновенном стационарном состоянии фильтрационного по-

тока (имеется ввиду неблагоприятный случай неустановившейся фильтрации) высота высачивания не зависит от грунта, а только от геометрических параметров откоса и напора. Поэтому представляется возможным определить  $a_0$  из табл. 5 [7] по одной из проанализированных в ней формул, например, формуле В.М. Шестакова, результаты которой наиболее согласуются с опытными величинами высот высачивания.

Для этого определим отношение  $\frac{L}{H}$  :

$$\frac{L}{H} = \frac{800}{53} = 15,0.$$

Величина  $L = 8,0$  м принята для расчетной схемы, когда вода стоит за насыпью (кавальером). Это самый неблагоприятный случай работы канала.

Интерполяцией для  $\frac{L}{H} = 15,0$  и  $m = 2,5$  определяем высоту высачивания при  $H = 1$  м, которая равна  $a_0 = 0,10$  м. Для  $H = 0,53$  м  $a_0 = 0,053$  м. Сравниваем полученную высоту выклинивания с допустимой для данного грунта, которую берем из табл. 2. Так, по табл. 2  $a_{\text{доп}} = 4,5$  см. Делаем вывод, что с интенсивностью  $i = 10,0$  см/ч нельзя снижать горизонт воды в канале на полную глубину. Необходимо назначать для данного грунта несколько меньшую интенсивность или подсчитать, на какую высоту можно опускать уровень с такой интенсивностью, ниже которой сброс воды нежелателен из-за возрастания высот высачивания свыше допустимых. Делается эта операция подбором.

Если необходимо установить интенсивность снижения уровня воды в канале, проходящем в грунте, физико-механические характеристики которого отличаются от приведенных, то определяют допустимые зоны высачивания для конкретного коэффициента заложения откоса, при которых данный грунт не будет оплывать. Затем рассчитывают интенсивность спада горизонтов воды по приведенной методике.

### Р е з ю м е

Для нормального функционирования мелиоративных систем двустороннего действия необходимо задавать определенную интенсивность снижения горизонтов воды в каналах.

## Л и т е р а т у р а

1. Пузыревский Н.П. Фундаменты. М., 1984.
2. Покровский Г.И. К расчету устойчивости грунтов на откосе. — "Гидротехническое строительство", 1955, № 4.
3. Герасеванов Н.М., Польшин Д.Е. Теоретические основы механики грунтов и их практическое применение. М., 1948.
4. Фандеев В.В. Определение сил при расчете устойчивости откосов земляных плотин. — "Гидротехническое строительство". 1947, № 1.
5. Володько И.Ф. Устойчивость песчаных откосов против фильтрующего через них потока грунтовой воды. — "Изв. АН СССР, Сер. геолог"., 1940, вып. 5.
6. Чугаев Р.Р. Земляные гидротехнические сооружения. Теоретические основы расчета. М., 1967.
7. Свистунов В.К. Устойчивость откосов каналов, находящихся под воздействием переменного гидрологического режима. — "Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству, 1974, № 7.
8. Чертоусов М.Д. Гидравлика. М.-Л., 1962.

УДК 631.43:624.13

П.К. Черник (канд. техн. наук),  
Я.М. Шупилов (канд. техн. наук),  
А.П. Рубан, А.С. Титов

### РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СОСТОЯНИЕМ БОЛОТНЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИИ ДАМБ

При проектировании плотин и дамб на болотах всегда возникает вопрос о возможности использования в основании болотных грунтов. Удаление их и посадка сооружения на минеральное дно болота связаны с большими производственными трудностями, вызывают значительное удорожание строительства и в ряде случаев при больших глубинах болота практически трудно осуществимы.

Использование болотных грунтов в качестве естественного основания сооружения ставит перед инженером серьезные задачи по выбору наиболее рациональной методики их инженерно-геологического изучения. Не менее важным является правильное определение вида болотных грунтов, особенностей изменения их физико-механических свойств в процессе уплотнения, а