

Е. М. Левкевич, А. Л. Оковитый

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕМЕНТНО-ГРУНТОВЫХ ПОКРЫТИЙ ВЕРХОВЫХ ОТКОСОВ ДАМБ РЫБОВОДНЫХ ПРУДОВ

При строительстве рыбоводных хозяйств для крепления верховых откосов дамб нагульных прудов обычно применяются крепления легкого типа, чаще всего древесно-растительные насаждения, так как устройство капитальных креплений в этих условиях экономически нецелесообразно. Однако опыт эксплуатации показывает, что даже на сравнительно небольших прудах, где наблюдается хотя бы небольшое волнение, крепление легкого типа не является надежной защитой откосов от разрушения волнами.

На кафедре гидротехнического и гидромелиоративного строительства Белорусского политехнического института проводились исследования по изысканию экономически выгодных и достаточно эффективных средств защиты верховых откосов дамб от размыва волнами. Изучались различные способы защиты, в том числе и возможность укрепления поверхности откосов введением в верхний слой откоса цемента, т. е. устройство цементно-грунтовых покрытий, нашедших широкое применение в дорожном строительстве [1, 2, 3, 6].

Идея применения цементогрунта для укрепления верховых откосов дамб не является новой. Так, в 1959 г. в МИСИ были проведены специальные исследования прочностных свойств цементогрунта и испытания его на размыв волной в лабораторных условиях с целью использования его при укреплении откосов дамб [4].

На основании исследований авторы рекомендовали цементогрунт для укреплений откосов дамб рыбоводных прудов и приводили некоторые рекомендации по составу цементогрунта. Однако эти предложения не нашли распространения на практике в связи с неясностью отдельных вопросов, связанных с морозостойкостью и сопротивляемостью этих покрытий размыву и технологией их устройства.

Наши исследования состояли из анализа условий волнообразования на рыбоводных прудах и воздействий воды на откос, изготовления образцов и проверки их в лаборатории на прочность при сжатии, разрыве и испытании их на размыв.

При оценке волнового режима и величины волновых воздействий на откосы дамб нагульных прудов мы исходили из опыта проектирования и строительства рыбоводных хозяйств.

Обычно нагульные пруды имеют площадь 50—100 га, однако в последнее время появилась тенденция к увеличению их площади до 150—200 га. Так, на Любанском рыбхозе их площадь колеблется в пределах 150—200 га, длина разгона волны при этом достигает 2 км при средней глубине 2—2,5 м.

Для средних районов республики максимальная скорость ветра, которая повторяется ежегодно, равна 17 м/сек, скорость ветра, повторяющаяся раз в 20 лет, равна 24 м/сек.

Пользуясь номограммами Браславского [7], можно установить, что ежегодно возможная высота волны при длине разгона 2,0 км равна примерно 0,5 м, а при скорости 24 м/сек она будет равна примерно 1,0 м.

При проведении лабораторных исследований свойств цементогрунта мы исходили из характера явлений, происходящих при разрушении волны на откосе. Как известно, при разрушении волны на откосе струя воды, ударяясь о его поверхность, пробивает относительно тонкий слой скатывающегося потока и раздваивается. Основная масса струи после удара устремляется вверх, образуя поток наката, а меньшая часть устремляется вниз по откосу. В месте удара волны и сосредоточивается разрыв откоса. Таким образом, покрытие откоса воспринимает местное давление волны и подвергается размывающему воздействию накатаывающегося и скатывающегося потока воды.

Для количественной оценки волновых воздействий на откосы нами произведены расчеты по методу Н. Н. Джунковского [7]. Расчеты сделаны для откосов, имеющих заложения 1 : 3, 1 : 4 и 1 : 5, и волн с разной высотой, имеющих крутизну, характерную для внутренних водоемов (1 : 10 и 1 : 15).

Расчеты показали, что при высоте волны 0,5 м максимальное местное давление на поверхность откоса, возникающее в результате удара волны, равно примерно 0,10 кг/см² при максимальной скорости воды у поверхности откоса 4 м/сек, для высоты волны 1,0 м эти величины соответственно равны 0,23 кг/см² и 4,5 м/сек.

Таким образом, любое покрытие, уложенное на откосе, должно выдерживать эти нагрузки. Кроме этого, как и всякое другое покрытие, оно должно быть долговечным, водо- и морозоустойчивым.

Для приготовления цементогрунта в лабораторных условиях был использован песок средней крупности объемным весом 1,68 г/см³ при оптимальной влажности 7%, гранулометрический состав которого приведен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Диаметр частиц грунта, мм	5	2,5	1,25	0,63	0,28	0,14	0,071	0,071
Остаток на ситах, %	0,7	1,6	5,3	19,4	50,1	19,9	2,6	0,4

Модуль крупности песка равен 2,1. Оптимальная влажность песка определялась на приборе стандартного уплотнения СОЮЗДОРНИИ. Объемный вес скелета грунта определялся по формуле

$$\delta_{\text{ск}} = \frac{\gamma}{1 + \frac{\omega}{100}},$$

где $\delta_{\text{ск}}$ — объемный вес скелета грунта, г/см³; ω — влажность пробы грунта, %; γ — объемный вес влажного грунта, г/см³.

В качестве вяжущего применялся портландцемент Волковьского цементного завода М-400 со следующими физико-механическими харак-

теристиками: нормальная густота теста 28,5%; нормальная густота раствора 1 : 3 — 8%; начало схватывания 3 час 25 мин; конец схватывания 6 час 57 мин; предел прочности при сжатии через 28 дней 450 кг/см².

Для определения прочности на сжатие и разрыв изготавливались цилиндрические образцы 5×5 см и восьмерки, а для испытания на разрыв — плитки размером 20×20×5 см.

Цилиндрические образцы изготавливались на приборе стандартного уплотнения, восьмерки и плитки — на гидравлическом прессе при нагрузке 100 и 150 кг/см² (при дозировке 6, 8, 10, 12, 14% цемента по весу к грунту). Образцы выдерживались под нагрузкой 3 мин. Перемешивание грунта с вяжущим производилось при оптимальной влажности. Готовые цилиндрические образцы и восьмерки помещались в эксикаторы на 28 дней для воздушно-влажного твердения, а плитки укладывались в ящики с влажными опилками на такой же срок. Опилки периодически смачивались и этим поддерживалась их влажность. После 28 дней воздушно-влажного твердения образцы в течение 3 суток водонасыщались.

Прочность на сжатие и разрыв образцов из среднезернистого песка, укрепленного цементом, определялись на гидравлическом 5-тонном прессе и приборе для испытания на растяжение с соотношением плеч 1 : 50. Данные испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Удельное давление при изготовлении образцов, кг/см ²	Дозировка цемента, %	Прочность при сжатии, кг/см ²	Водонасыщение, %	Прочность при разрыве, кг/см ²
150	6	12,0	13,4	5,3
100	6	10,9	15,7	5,1
150	8	20,3	13,0	6,4
100	8	17,3	14,2	5,5
150	10	30,5	12,1	6,8
100	10	29,8	13,1	6,7
150	12	43,3	10,5	7,8
100	12	32,5	11,2	7,5
150	14	49,4	8,8	8,7
100	14	35,1	10,0	7,5

Примечание. Данные взяты как среднее значение из трех определений.

Из табл. 2 видно, что прочность на сжатие даже при 6% цемента достигает более 10 кг/см², что вполне достаточно для восприятия нагрузки от удара расчетной волны. Из табл. 2 также видно, что прочность на сжатие при удельном давлении 100 кг/см² при формировании образцов на 10—12% меньше, чем прочность таких же образцов, уплотненных при 150 кг/см².

Результаты исследований показывают, что образцы, уплотненные при нагрузке 100 кг/см², имеют большее водонасыщение, чем образцы, уплотненные при 150 кг/см². В производственных условиях в зависимости от применяемых уплотняющих механизмов плотность и прочность цементогрунта будет несколько меньше, чем в лабораторных условиях при нагрузке 100 кг/см². Это говорит о том, что цементогрунт по прочностным показателям может быть применен для укрепления откосов рыбоводных прудов.

Цементогрунты обладают высокой прочностью и после 15 циклов замораживания — оттаивания, хотя, как правило, она меньше (на 15—20%), чем прочность на сжатие после 28-дневного воздушно-влажного твердения [6].

Как показывают исследования [1, 6], прочность цементогрунта на сжатие при использовании мелких песчаных, супесчаных и суглинистых грунтов и дозировке цемента 6—12% достигает после 15 циклов замораживания — оттаивания 8—50 $\text{кг}/\text{см}^2$. Поэтому верховые откосы, от-

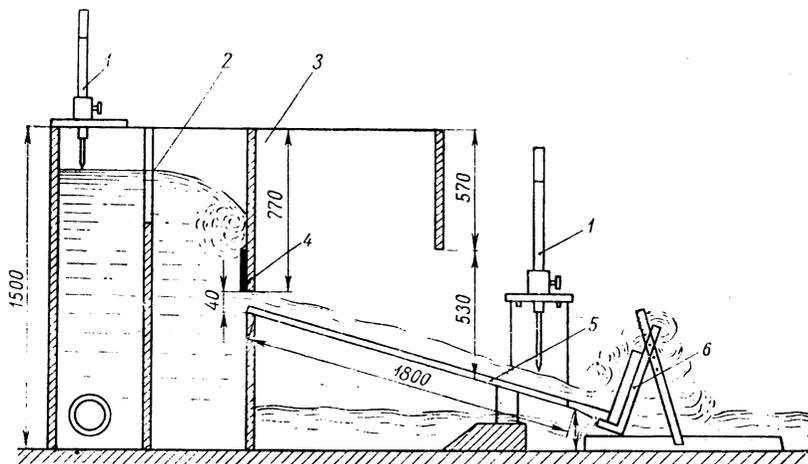


Рис. 1. Схема установки для испытания образцов на размыв потоком:
1 — мерные иглы; 2 — мерный водослив; 3 — оголовок; 4 — щелевой регулятор; 5 — быстроток; 6 — подставка с образцом.

сыпанные из различных грунтов, могут укрепляться цементом, кроме случаев, когда в составе грунта откоса имеются органические примеси (растительный грунт).

Прочность на сжатие даже при небольших дозировках цемента в большинстве случаев достаточно высокая и нарастание ее происходит интенсивно, поэтому пруды уже после семисуточного твердения цементогрунта могут заполняться водой.

Данные табл. 2 показывают, что прочность цементогрунта на разрыв в зависимости от дозировки цемента равна 5,1—8,7 $\text{кг}/\text{см}^2$, при меньшей плотности образцов получается и меньшая прочность. Однако прочность цементогрунта на разрыв больше, чем нагрузки, возникающие при ударе расчетной волны (около 0,25 $\text{кг}/\text{см}^2$).

Исследования на размыв производились на образцах в виде цементно-грунтовых плиток, изготовленных из среднезернистого песчаного грунта с указанной дозировкой цемента. После 28-дневного воздушно-влажного твердения и полного водонасыщения плитка подвергалась размыву потоком на специально изготовленной установке типа быстроток (рис. 1), которая обеспечивала скорости потока на сходе с лотка от 1 до 3,6 $\text{м}/\text{сек}$. Скорости изменялись путем изменения напора на входе в быстроток. Скорость потока измерялась по расходу и площади живого сечения потока на конце лотка. Расход определялся мерным водосливом, площадь живого сечения находилась по глубине струи, которая измерялась мерными иглами по трем точкам по ширине лотка (для расчета бралось среднее значение).

Цементно-грунтовые плитки устанавливались перпендикулярно падающему потоку и через некоторое время взвешивались. Размыв определялся по внешнему виду поверхности плитки и по уменьшению веса. Одновременно воздействию потока подвергались три плитки с дозировкой цемента 6, 8, 10%. При скорости 1,2 м/сек в течение 3,5 час, а при скорости 3,6 м/сек в течение 15 час установлено, что никаких признаков размыва не имелось.

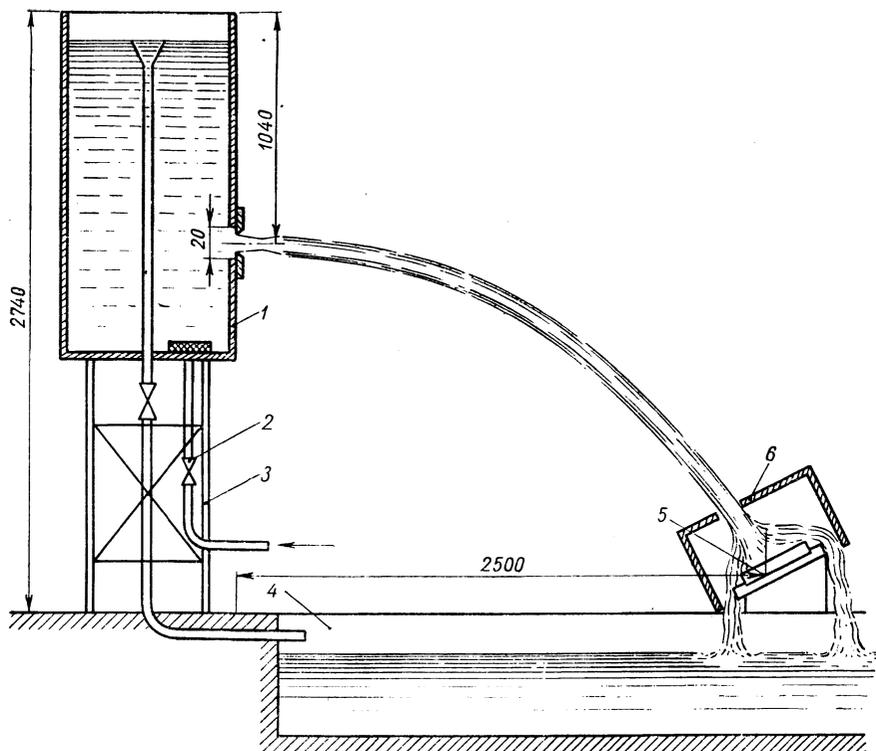


Рис. 2. Схема установки для испытания образцов на размыв падающей струей:

1 — напорный бак; 2 — задвижка; 3 — опора; 4 — канал; 5 — образец цементогрунта; 6 — отражатель.

В связи с тем что указанные плитки при данной скорости не разрушились, остальные плитки при дозировке 12 и 14% цемента на размыв не исследовались.

Для установления скорости размыва плитки испытывались на установке с падающей струей (рис. 2). Изменение скорости потока достигалось изменением высоты падения струи (образец поднимался на необходимую высоту). Струя, имевшая в выходном сечении диаметр 2 см, падала на площадь круга с диаметром, равным 6 см. Для данной дозировки цемента за размывающую скорость размыва цементогрунта принималась та, при которой на плитке появлялась шероховатость (отрывались отдельные частички грунта). Испытанию на размыв подвергались плитки с дозировкой цемента 6, 8, 10% после водонасыщения и 15 циклов замораживания — оттаивания. Испытания образцов проводились при скоростях 5 и 7 м/сек.

Цементно-грунтовая плитка, не подвергавшаяся замораживанию — оттаиванию с дозировкой 6% цемента, имела шероховатость при скорости 5 м/сек после 9 час испытаний. При дозировке 8% цемента при тех же условиях на цементно-грунтовых плитках признаков разрушения не наблюдалось. При скорости струи 7 м/сек плитки с содержанием 6 и 8% цемента имели видимую шероховатость соответственно после 3 и 7 час размыва.

На цементно-грунтовых плитках при дозировке 6% цемента, подвергавшихся 15 циклам замораживания — оттаивания, при скорости 5 м/сек первые признаки размыва появились после 3 час испытаний.

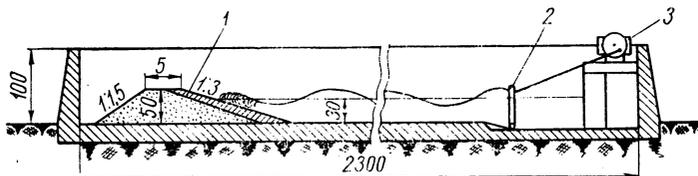


Рис. 3. Схема испытания цементно-грунтового покрытия в волновом бассейне:

1 — модель дамбы с цементно-грунтовым покрытием; 2 — качающийся щит; 3 — волнопродуктор.

При такой же скорости, но при дозировке 8% цемента, шероховатость не появилась даже после 9 час испытаний. На плитках с 10% цемента при скорости 7 м/сек признаков размыва также не было обнаружено после 9 час испытаний.

Проведенные исследования позволяют считать, что цементогрунт устойчив против размыва при расчетных значениях скоростей потока (4,5 м/сек), возникающих при разрушении волн.

Опыты по исследованию размыва откоса, укрепленного цементно-грунтом, под действием волн проводились в волновом бассейне. Бассейн (рис. 3), расположенный на открытой площадке с размерами 23,0 и 5,0×1,0 м, был оборудован волнопродуктором с качающимся щитом. В бассейне была сооружена модель дамбы, отсыпанная из среднезернистого песка, высотой 0,5 м и шириной по гребню 0,5 м с заложением откосов: верхового 1 : 3 и низового 1 : 1,5. Верховой откос был укреплен цементно-грунтовым покрытием толщиной 10 см. Дозировка цемента составляла около 12%. Цементогрунт трамбовался вручную. Дамба была построена в ноябре. Покрытие подвергалось воздействию внешней среды в течение 7 месяцев и выдержало один цикл замораживания — оттаивания. Откос испытывался на действие волн при глубине воды в лотке 0,3 м, периоде волны 1 сек, длине 150 см и высоте 14 см. После 6 час волнового воздействия на поверхности покрытия появились заметные неровности, вызванные тем, что уплотнение покрытия было неравномерным. Однако покрытие не разрушилось после 24 час испытаний, выдержав 86 400 ударов волн.

Прочность и долговечность цементно-грунтового покрытия зависят от вида грунта, марки применяемого цемента и толщины слоя покрытия.

Для устройства дорожных цементно-грунтовых покрытий рекомендуется [8] применение портландцемента марки не ниже 400. При лабораторных исследованиях цементогрунтов, изготовленных с применением

портландцемента марки М-400, были получены положительные результаты испытаний на прочность и размыв. Учитывая это, данные рекомендации можно принять и для устройства цементно-грунтовых покрытий дамб.

Минимальную толщину слоя цементно-грунтового покрытия в СНиП III—Д, 5-62 рекомендуется принимать равной 10 см. С учетом специфики устройства и эксплуатации покрытий откосов минимальная толщина их может быть 15 см.

Одним из условий долговечности и прочности цементно-грунтового покрытия является выполнение установленных технологических операций по изготовлению, укладке и уплотнению смеси. Известно, что от качества смешения и уплотнения зависит во многом прочность цементогрунта [1]. В настоящее время смешение цементогрунта может производиться в стационарных смесителях Д-370, грунтосмесительной машиной Д-391 и дорожной фрезой Д-530. Наиболее экономически выгодно производить смешение на месте с помощью дорожной фрезы, хотя прочность цементогрунта по сравнению со смесью, полученной после смешения грунтосмесительной машиной Д-391, на 20—25% меньше. Однако здесь следует учитывать условия при укреплении откосов низконапорных дамб, когда машины при смешении должны работать на откосе с уклонами от 9°30' до 18°25', что соответствует откосам с заложением от 1 : 6 до 1 : 3. Предельный поперечный угол статической устойчивости трактора С-100 равен 46°. Но так как трактор является тягачом дорожной фрезы, то работа его возможна на поперечном уклоне не более 15° [5]. Поэтому дорожная фреза Д-530 может применяться для смешения грунта с цементом на откосах с уклоном не круче 1 : 3.

Покрытия из цементогрунта на откосах дамб могут устраиваться так же, как дорожные покрытия [1], по следующей технологической схеме:

1) планировка грейдером или бульдозером поверхности откоса; 2) измельчение грунта фрезой Д-530 за один проход; 3) подвозка цемента и распределение его цементораспределителем или вручную; 4) перемешивание грунта с цементом фрезой Д-530 за один проход на глубину до 15 см при ширине полосы обработки 2,5 м; 5) увлажнение верхнего слоя откоса поливомоечной машиной КПМ-1 на глубину 20 см до оптимальной влажности; 6) перемешивание грунтоцементной смеси фрезой Д-530 после увлажнения за один проход; 7) планировка готовой смеси и уплотнение катком на пневматических шинах за 12 проходов по одному месту (2 первых прохода при скорости 2,5 км/час, 7 проходов при скорости 3,8 км/час и 3 прохода при скорости 7,7 км/час).

После уплотнения необходимо в течение 7 суток поддерживать цементогрунт во влажном состоянии.

Производительность дорожной фрезы Д-530 определяется по формуле

$$П = \frac{T(1 - \varphi)Bvk_b}{bn},$$

где T — продолжительность смены, час; b — ширина укрепляемой полосы, м; B — ширина захватки фрезой, равная 2,5 м; φ — коэффициент перекрытия проходов, $\varphi=0,15$; v — скорость, $v=0,19$ км/час; n — число проходов по одному следу, $n=1$; k_b — коэффициент использования машин во времени, $k_b=0,9$.

При ширине укрепляемой полосы $b=5$ м и продолжительности смены $T=8$ час производительность фрезы $\Pi=0,58$ км/час.

Величина захватки зависит от количества работающих механизмов. Однако установлено [1], что для проведения всех работ, начиная от планировки поверхности и кончая уплотнением цементогрунта, величина захватки при ширине 5 м не должна превышать 300 м.

Исследования, проведенные в лабораторных условиях по размыву цементогрунтов, а также имеющиеся материалы [1, 3] дают основание рекомендовать для укрепления земляных дамб следующую дозировку цемента: из мелкозернистых песчаных грунтов 10—12%, из среднезернистых песчаных грунтов 8%, из супесчаных грунтов 6—7%.

При дозировке цемента 10% и толщине слоя 15 см расход цемента на 1000 м² при укреплении среднезернистого песчаного грунта составит 27 т. Общая стоимость 1000 м² составит 736 руб. (данные Белдорнии), в том числе: а) стоимость производства работ — 300 руб.; б) стоимость материалов — 486 руб.

Выводы

1. Укрепление цементом верховых откосов низконапорных дамб рыбоводных прудов практически возможно при отсыпке их из любых минеральных грунтов.

2. Для укрепления откосов следует применять портландцементы марки не ниже 400.

3. Толщина слоя цементно-грунтового покрытия должна быть не менее 15 см.

4. Для обеспечения прочности и долговечности цементно-грунтового покрытия откосов из среднезернистых песчаных грунтов дозировка цемента должна быть не менее 8%.

5. Настоящие рекомендации по укреплению верховых откосов земляных дамб цементом, полученные на основании лабораторных исследований, следует уточнить после проверки их в производственных условиях.

Литература

1. Безрук В. М. Укрепление грунтов. М., 1965.
2. Безрук В. М., Ритов М. Н., Глаголева К. М., Чернов В. К. Дорожные основания и покрытия из укрепленных грунтов. М., 1966.
3. Дрозд Н. А., Финский А. И. О возможности цементации мелкозернистых песков Белорусского Полесья. Сб. «Основные результаты научно-исследовательской работы НИИМ и ВХ БССР за 1958 г.». Минск, 1960.
4. Кулыгин Б. А., Киппер Э. М. Рациональный тип крепления откосов низконапорных земляных дамб рыбоводных прудов. «Рыбное х-во», 1959, № 11.
5. Поспелов Ю. А. Устойчивость трактора. М., 1966.
6. Сб. «Применение местных материалов в дорожном строительстве БССР». М., 1966.
7. Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега (СН 92-60). М., 1960.
8. Указания по применению в дорожном и аэродромном строительстве грунтов, укрепленных вяжущими материалами (СН 25-64). М., 1965.