

УДК 502.5

МОДИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ДАМБ ШЛАМОХРАНИЛИЩ РУП ПО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Докт. техн. наук, проф. **БОГАТОВ Б. А.**,
кандидаты техн. наук, доценты **КУПТЕЛЬ Г. А.**, **ХАЛЯВКИН Ф. Г.**

Белорусский национальный технический университет

На всех обогатительных фабриках РУП ПО «Беларуськалий» глинисто-солевые шламы размещают в шламохранилищах, устраиваемых на поверхности шахтных полей. Сооружение шламохранилищ требует отчуждения значительных площадей сельскохозяйственных угодий и больших объемов грунта для строительства и реконструкции (увеличения высоты) дамб. В настоящее время существует возможность использования для этих целей песчаных и супесчаных грунтов, слагающих ложе Солигорского водохранилища. Однако эти грунты обладают рядом недостатков при использовании их в качестве строительного материала.

Основная характеристика оценки технической возможности при строительстве и реконструкции намывных дамб и экономической целесообразности выбранной конструкции – зерновой состав грунтов. Для возведения тела намывных дамб можно использовать грунты широкого гранулометрического состава – от песчаных до гравийно-галечных. А для устройства противофильтрационных экранов применяют грунты более мелкого гранулометрического состава – пески мелкие, пылеватые и глинистые грунты.

Предварительную оценку пригодности минерального грунта для намыва дамб в зависимости от зернового состава следует производить по графику (рис. 1). Предпочтительными для намыва однородных дамб являются грунты I группы. Для неоднородных дамб с мелкопесчаной центральной зоной или глинистым ядром – II группы. Супеси (III группа), суглинки (IV группа), гравийные и галечниковые

грунты (V группа), а также лессовидные грунты можно применять для намыва дамб при соответствующем технико-экономическом обосновании. При этом супеси, лессовидные суглинки следует использовать для намыва однородных дамб и центральной слабОВОДПРОНИЦАЕМОЙ зоны неоднородных дамб. Гравийно-галечниковые грунты рекомендуется применять для намыва боковых зон этих дамб.



Рис. 1. Гранулометрический состав грунтов, СНиП 2.06.05–84: 1 – суглинки и глины; 2 – супеси; 3 – песок; 4 – песчано-гравийные грунты; - - - - грунты ложа Солигорского водохранилища: суглинок, скв. 62; песок мелкий, скв. 22; песок средний, скв. 63

На рис. 1 показан зерновой состав трех видов грунтов, отобранных из скважин, пробуренных в ложе Солигорского водохранилища. Из рисунка видно, что песок мелкий и средний, составляющий основную массу ложа, близок по

составу и коэффициенту разнородности к грунтам I и II групп, которые рекомендуются для намыва однородных и неоднородных дамб. Однако они содержат 8...14 % мелких частиц диаметром менее 0,1 мм и, кроме того, около 10 % крупных частиц более 0,5 мм.

Анализ данных по определению фильтрационных характеристик и плотности грунтов позволил сделать вывод, что грунт ложа Солигорского водохранилища и отвалов имеет сравнительно низкую плотность и высокий коэффициент фильтраций. Применимость этих грунтов для реконструкции дамб шламоохранилищ можно обеспечить путем их модификации, т. е. найти такой оптимальный гранулометрический состав, который позволил бы улучшить названные выше показатели грунтов. Применяя теорию Граафа, такой оптимальный состав был найден. Согласно этой теории зернистые материалы укладываются наиболее плотно, если соотношение между частицами различного диаметра соответствует следующей параболической зависимости:

$$F(D_i) = \left(\frac{D_i}{D_{\max}} \right)^\nu,$$

где $F(D_i)$ – функция распределения в объеме частиц (зерен), меньших или равных D_i ; D_{\max} – максимальный размер частиц (зерен) в объеме; ν – показатель степени, равный 0,333 для наиболее плотной структуры зернистого материала.

Следовательно, при $\nu = 0,333$ грунт имеет наилучшие прочностные характеристики, наименьшие влагопоглощательную способность и коэффициент фильтрации. Именно такой грунт предпочтителен для строительства земляных дамб.

В доказательство сказанного были проведены исследования с грунтами, добытыми в карьере «Метявичи», шламоохранилища «Томилава гора», дна Солигорского водохранилища. Средние значения содержания фракций этих грунтов по результатам измерений в полевых условиях приведены в табл. 1. В этой же таблице даны оптимальные гранулометрические составы для $D_{\max} = 10$ мм и $D_{\max} = 5$ мм.

Средние значения содержания фракций грунтов

	Гранулометрический состав, %							
	>10	10...5	5...2	2...1	1...0,5	0,5...0,25	0,25...0,1	<0,1
Карьер «Метявичи»	2,1	2,8	5	10,1	23,8	19,0	33,4	3,8
Шламоохранилище «Томилава гора»	–	1	4,6	6	9,6	30,2	28,5	21,1
Дно Солигорского водоема	0,5	1	6,2	7,6	11,4	34,7	25	13,6
Оптимальный состав (№ 1) для $D_{\max} = 10$ мм	–	21	8	8	9	12	21	21
Оптимальный состав (№ 2) для $D_{\max} = 5$ мм	–	–	26	15	13	9	10	27

На рис. 2 показаны графики функций распределения естественных грунтов, используемых для строительства и реконструкции дамб, а также наиболее плотный грунт для $D_{\max} = 10, 15, 20, 40$ мм.

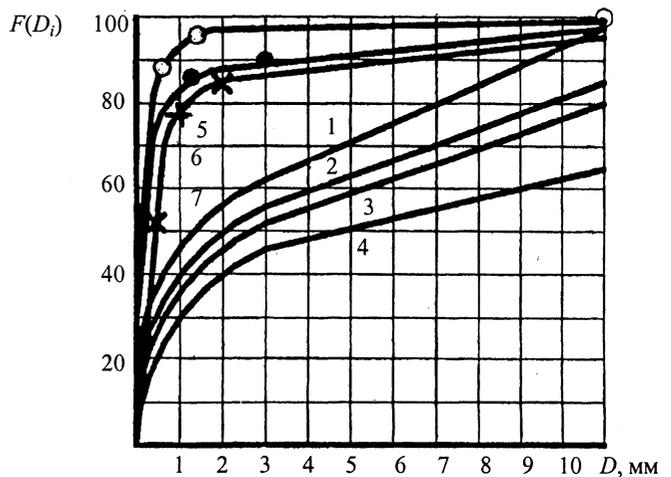


Рис. 2. Функция распределения гранулометрического состава грунтов содержания частиц 1...0,25 мм: 1 – $D_{\max} = 10$ мм; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 40 мм; 5 – —X— карьер; 6 – —o— шламоохранилище; 7 – —●— дно водохранилища

Сравнительный анализ естественных грунтов и грунтов оптимального состава показывает, что фракционный состав первых далеко не оптимальный, а возможность модификации естественных грунтов, используемых для строительства и реконструкции дамб, состоит в увеличении содержания фракций 10...5 мм при

одновременном снижении содержания частиц 1...0,25 мм.

Анализируя изменение контрольной функции распределения фракций грунта (рис. 2), приходим к выводу, что с увеличением максимального размера частиц содержание мелких фракций снижается. Характер зависимостей $F(D)$ от D_{max} (рис. 3) позволяет допустить, что $\frac{dF(D)}{dD_{max}} = -kF(D)$, где k – коэффициент пропорциональности.

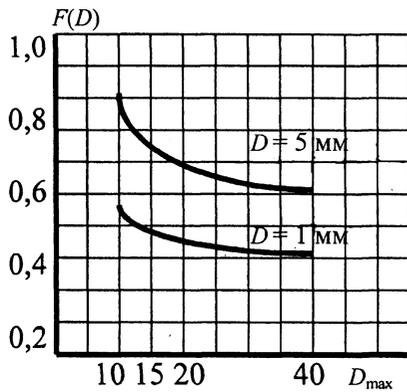


Рис. 3. Влияние максимального размера фракций на значение функции распределения

Решением уравнения служит формула

$$\ln F(D) = -kD_{max} + C.$$

Пользуясь формулой $F(D) = e^{c-kD_{max}}$, можно для заданного D_{max} определить содержание той или иной фракции из условия соответствия состава грунта формуле Граафа, т. е. условия наиболее плотной упаковки частиц. Коэффициенты c и k находим методом средних. В результате расчетов получены формулы для определения содержания фракций $D = 1; 2; 5$ мм в зависимости от $D_{max} \in [10; 40]$:

$$D = 1 \text{ мм} - F(D_1) = \exp(-0,6 + 0,016D_{max});$$

$$D = 2 \text{ мм} - F(D_2) = \exp(-0,91 + 0,016D_{max});$$

$$D = 5 \text{ мм} - F(D_5) = \exp(-0,08 + 0,016D_{max}).$$

Таким образом, существуют объективные предпосылки для создания модификационного

грунта смешиванием грунтов, добытых из ложа водохранилища, шламохранилища и карьера.

В целях проверки правильности выбора были скомпонованы два состава грунтов с оптимальным содержанием частиц по массе. В качестве сравнения исследовались грунты ложа и берега водохранилища, а также грунт со средними показателями состава. Интегральные кривые гранулометрического состава этих грунтов показаны на рис. 4. На этом же рисунке для сравнения показаны интегральные кривые минеральных грунтов, рекомендуемых для строительства и реконструкции земляных дамб согласно СНиП 2.06.05–84. Видно, что грунты оптимального состава находятся в пределах I и II групп. Это говорит о возможности использования грунтов оптимального (модификационного) состава в качестве строительного материала при сооружении дамб.

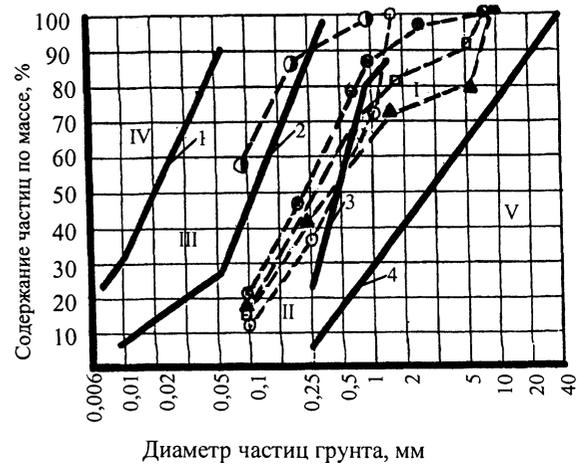


Рис. 4. Группы грунтов, используемых для намыва дамб: — СНиП 2.06.05–84: 1 – суглинки и глины; 2 – супеси; 3 – песок; 4 – песчано-гравийные грунты; - - - - - исследуемые грунты: ▲ – оптимального зернового состава 1; ○ – то же 2; ⊙ – берег водохранилища; ⊙ – ложа водохранилища; □ – со средними показателями зернового состава

Для грунтов, отобранных в ложе и на берегу водохранилища, готовились оптимальные составы – № 1 при $D_{max} = 10$ мм из грунта ложа и № 2 при $D_{max} = 5$ мм из грунта берега. При этом по известным методикам для всех грунтов определялись коэффициент фильтрации, плотность и средневзвешенный диаметр зерен грунта в естественном состоянии и модификационного. Эти же показатели определялись для

грунта со средними величинами состава. Результаты исследований приведены в табл. 2. Из таблицы видно, что модификация грунта ложа водохранилища позволила снизить коэффициент фильтрации с 5,56 до 0,65 м/сут, т. е. примерно в 8 раз, а грунта берега – с 28,0 до 12,9 м/сут, т. е. более, чем в 2 раза. Плотность грунта при этом возросла в первом случае с 1,60 до 1,71 г/см³, во втором – с 1,53 до 1,78 г/см³. Средневзвешенный диаметр зерен грунта ложа водохранилища увеличился примерно в 3 раза – с 0,72 до 2,14 мм.

В то же время грунт со средними показателями состава имел коэффициент фильтрации 1,37 м/сут, плотность – 1,71 г/см³, средневзвешенный диаметр зерен – 1,67 мм.

Таблица 2

Показатели	Место отбора проб				
	Ложе водохранилища	Грунт со средними показателями состава	Оптимальный состав № 1 ($D_{max} = 10$ мм)	Берег водохранилища	Оптимальный состав № 2 ($D_{max} = 5$ мм)
Коэффициент фильтрации, м/сут	5,56	1,37	0,65	28,0	12,9
Плотность, г/см ³	1,60	1,71	1,82	1,53	1,78
Средневзвешенный диаметр зерен, мм	0,72	1,67	2,14	–	–

Проведенные исследования подтверждают теорию Граафа, позволяющую путем смешивания создавать грунт с более низкими фильтрационными способностями и более высокой плотностью.

Следует отметить, что при модификации грунта, используемого для строительства и реконструкции дамб, необходимо учитывать отмыв и сброс мелких частиц грунта при работе земснаряда. Этот процесс технологически неизбежен при намыве как однородных, так и неоднородных дамб. При этом происходит сброс не только глинистых и пылеватых частиц, но и мелких песчинок. Приведенный расчет нормы отмыва для наиболее характерных грунтов ло-

жа Солигорского водохранилища песка среднего составил 5 %, а для песка мелкого – 7 %.

Грунты ложа водохранилища имеют большую разнородность, так как коэффициент разнородности $k_{60,10} = d_{60} : d_{10}$, где d_{60} , d_{10} – диаметр фракций грунта, масса которых вместе с массой более мелких фракций составляет соответственно 60 и 10 % массы всего грунта, значительно превышает величину 2,5. Поэтому при строительстве и реконструкции дамб с применением гидронамыва необходимо учитывать фракционирование грунта в теле дамбы, которое проявляется в раскладке зерен грунта разной крупности по длине намыва. При этом происходит постепенное уменьшение крупности грунта по мере удаления от выпуска пульпы из распределительного пульпопровода.

Различные зоны неоднородных земляных дамб намываются грунтами различного зернового состава. Поэтому на основании расчетов средневзвешенной крупности грунта оптимального состава, найденного по теории Граафа, построены графики определенного зернового состава, намываемого в боковую и центральную дамбы (рис. 5).

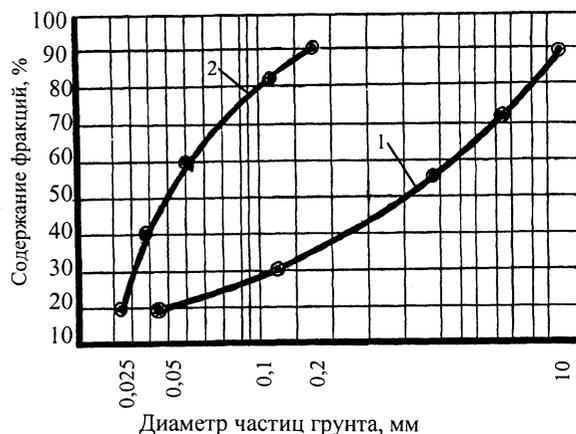


Рис. 5. Графики осредненного зернового состава намываемого грунта: 1 – боковая; 2 – центральная зоны дамбы

Можно видеть, что для намыва боковых зерен дамбы пригодны грунты более крупного зернового состава и с более высоким коэффициентом разнородности по сравнению с зерновым составом грунтов, намываемых в центральную зону дамбы. Такое фракционирование грунтов при строительстве и реконструкции дамбы технологически исполнимо.