



Учредитель — ОАО «Российские железные дороги»

Научно-популярный
производственно-технический
журнал

Издается с января 1957 г.
(с 1936 г. по 1940 г. выходил
под названием «Путеец»)

Главный редактор И.Ю.КОВАЛЁВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.Г.АКОПЯН, В.М.БОГДАНОВ,
к.т.н., С.А.БОКАРЕВ, д.т.н.,
Е.Б.ВАСЮКЕВИЧ,
В.В.ВИНОГРАДОВ, д.т.н.,
В.Б.ВОРОБЬЁВ, к.т.н., В.Б.КОРЛЯ,
С.В.ЛЮБИМОВ — зам. главного
редактора, А.А.МАРКОВ, д.т.н.,
В.И.НОВАКОВИЧ, д.т.н.,
О.А.ПАШЕНЦЕВА, А.И.РАТНИКОВ,
С.А.РАБЧУК, В.Н.САЗОНОВ,
О.Б.СИМАКОВ, к.т.н., В.Ф.ТАРАБРИН,
к.т.н., Т.В.ШЕПИТЬКО, д.т.н.,
А.А.ШИШМАРЁВ

РЕДАКЦИЯ

Т.Н. ГОРЬКАНОВА, А.Г.КЕТКИНА,
О.С.КОРЧАГИНА, В.В.СТЕПАНОВ,
Е.Ю.СТЕПАНОВА, А.С. ЯНОВСКИЙ

**ОБЩЕСТВЕННЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

Л.В.БАРЫШЕВА, Я.Я.КЛИМ,
Ю.А.КЛЮШЕНКОВ, Б.С.СИДОРОВ,
В.Ф.СКУБАК, В.Н.ЧИКИН,
В.И.ШМАТОВ, А.П.ЯРИЗ

Телефоны:

(499)262-00-56; (499)262-67-33;
(495)673-47-78 (факс)

Адрес редакции

111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 34/2
Телеграфный адрес: Москва, РЖ Путь
e-mail: rph@inbox.ru
Электронная версия журнала: <http://elibrary.ru>
Аннотации статей: www.rzd-expo.ru

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-21830 от 07.09.2005

Рукописи не возвращаются.
При перепечатке материалов ссылка
на журнал обязательна.
Мнение редакции не всегда совпадает
с точкой зрения авторов

Сдано в набор 23.06.2014
Подписано в печать 28.07.2014
Формат 60x84 1/8. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 4,9. Уч.-изд. л. 8,47.
Заказ № 1528 от 28.07.14
Тираж 1868 экз.
Отпечатано в РПК «Траст»
115114, г. Москва, Дербеневская набережная,
д. 13/17, к. 1

В НОМЕРЕ

Техническая учеба

Савин А.В. — Участки переменной жесткости для
безбалластного пути 2

Конструкции и сооружения

Пассек В.В., Цуканов Н.А., Поз Г.М. и др. —
Деформации мостовых опор на замораживаемых
таликах 7

Аверьянов В.Н., Борткевич С.В., Дьяков В.Н. —
О применении выветривающихся пород для насыпей.... 12

Петряев А.В., Ганчиц В.В., Шулындин В.И. —
Снижение вибрации пути 15

Овчинников А.Н., Расулев А.Ф., Фазилова З.Т. —
Ремонтопригодность скреплений Pandrol Fastclip..... 18

Меркин В.Е., Космин В.В. — Принципы проектирования
тоннелей на ВСМ..... 20

Контроль и диагностика

Бондаренко А.А., Корся В.Б., Кочетков Ю.А. —
Наблюдения за объектами земляного полотна 22

Солодовников А.Б. — Диагностика земляного
полотна при развитии термокарста 26

Кулябко А.М. — «Левая, правая где сторона?» 30

Путевая техника

Кузнецов С.М., Глотов В.А., Зайцев А.В. — Модели
эксплуатации ВПР-02 и ВПРС-02 34

Из истории транспорта

Яновский А.С. — К столетию начала Первой мировой
войны..... 36

На обложке

Первая страница — На магистралях России
Фото С.В. Любимова

Вторая страница — С Днем железнодорожника!
Фото И.Ю. Ковалёва

О ПРИМЕНЕНИИ ВЫВЕТРИВАЮЩИХСЯ ПОРОД ДЛЯ НАСЫПЕЙ



В.Н. АВЕРЬЯНОВ, генеральный директор,
С.В. БОРТКЕВИЧ, главный инженер,
В.Н. ДЬЯКОВ, ведущий специалист
(ЗАО «ПИНИБ «ГИТЕСТ»)

Скальные и полускальные грунты, получаемые в результате разработки слабывветривающихся, выветривающихся и легковыветривающихся пород, по гранулометрическому составу согласно ГОСТ 25100—2011 «Грунты. Классификация» относятся к крупнообломочным с песчано-глинистым заполнителем, называемым мелкозёмом.

Сводом правил СП32-104-98 «Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм» допускается возведение насыпей из таких грунтов, однако требования к их гранулометрическому составу и плотности укладки не указываются. Отсюда, возникает необходимость изучать эти параметры для оптимизации технологии возведения земляного полотна с применением скальных и полускальных грунтов из выветривающихся пород.

В зависимости от степени дезинтегрированности, прочности и трещиноватости породы при ее разработке может быть получен грунт двух типов, принципиально отличающихся своим гранулометрическим составом:

I тип — грунт, состоящий из обломков различной крупности и плотности, поры между которыми не заполнены или частично заполнены мелкозёмом;

II тип — грунт, в котором меньшие по размеру фракции переполняют поры, образуемые большими фракциями. Количественно такой зерновой состав можно описать формулой [1]

$$\frac{d_i}{d_{\min}} \leq 1 + \left(\frac{P_i}{10} \right)^x \frac{\eta - 1}{5\eta}, \quad (1)$$

где d_i , P_i — соответственно диаметр и процентное содержание частиц в грунте меньше рассматриваемого диаметра; d_{\min} — минимальный диаметр частиц в грунте; $x = 1 + 1,28 \lg \eta$; η — коэффициент неоднородности грунта.

Переход грунта от I ко II типу происходит, когда содержание мелкозёма составляет около 35—40 %. Однако в результате неоднородности грунта возможно частичное образование контактов между крупными обломками.

В грунте I типа, суффозионном по своему составу и имеющем значительное количество свободных от

мелочи пор, обломки породы контактируют между собой, что затрудняет его уплотнение при возведении земляного полотна и вызывает разрушение обломков по мере увеличения нагрузки на грунт и его водонасыщения. Вследствие этого изменяются во времени физико-механические свойства и водопроницаемость грунта. Моделирование описанных процессов затруднено, поэтому степень изменения характеристик грунта при обводнении и под нагрузкой не может быть установлена достаточно достоверно, что заставляет отказаться от укладки грунта I типа в земляное полотно.

В грунте II типа несуффозионного состава все относительно крепкие крупные фракции разобщены мелкозёмом и, следовательно, не имеют между собой контактов, способных образовывать каркас. Физико-механические и фильтрационные свойства такого грунта определяются, в основном, свойствами мелкозёма. Исходя из этой особенности, его уплотнение в теле земляного полотна можно рассматривать так же, как и уплотнение скелетно-глинистого грунта в качественных насыпях [2]. В зависимости от намеченных проектом механических характеристик следует выбрать консистенцию мелкозёма и плотность в сухом состоянии ρ_{d_m} , обеспечивающую сохранение выбранной консистенции при полном водонасыщении грунта:

$$\rho_{d_m} \geq \frac{\rho_s}{1 + (\rho_s w / \rho_w)}, \quad (2)$$

где ρ_s и ρ_w — соответственно плотность частиц грунта и воды, т/м³; w — граничная влажность мелкозёма породы, характеризующая его консистенцию, доли единицы.

Плотность отдельных обломков породы должна быть равна или больше найденной таким образом плотности мелкозёма. В этом случае разуплотнение, а значит и изменение прочности этих обломков при эксплуатации земляного полотна будет возможно лишь до значений, характеризующих плотность укладки и прочность мелкозёма.

Обломки породы, имеющие меньшую плотность, должны быть разрушены в процессе подготовки или

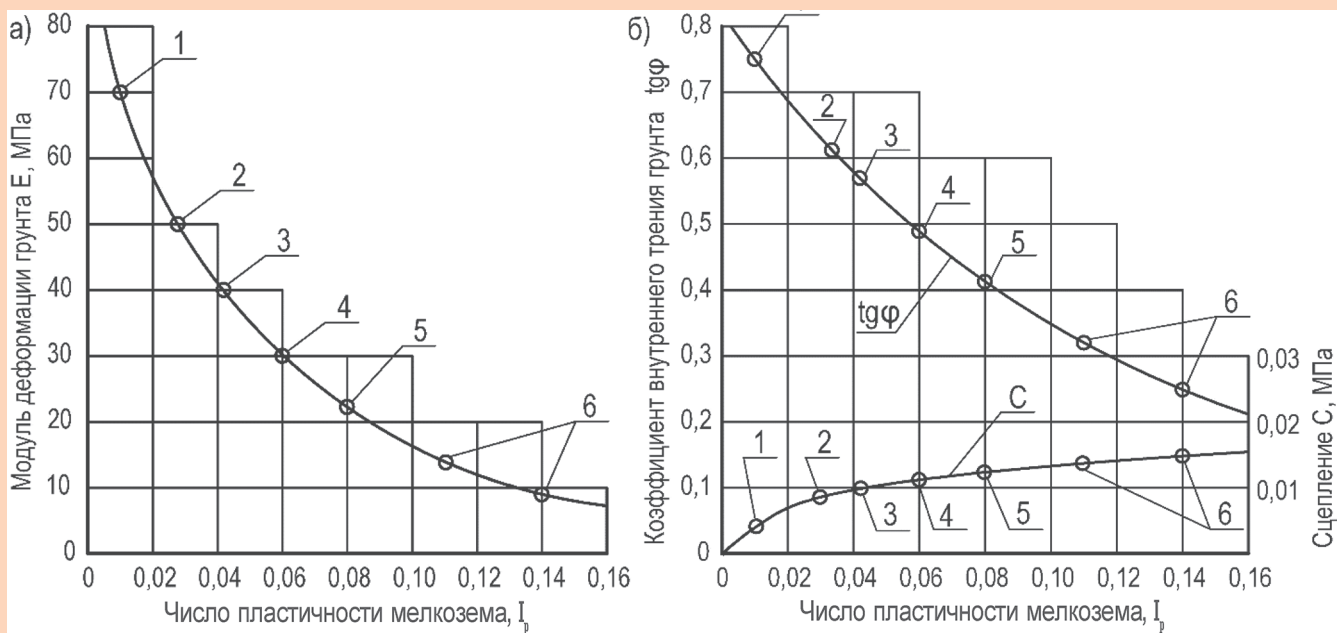


Рис 1. Зависимость модуля деформации (а), коэффициента внутреннего трения и сцепления (б) от пластичности мелкозёма для скальных и полускальных грунтов из выветривающихся карбонатных пород при содержании мелкозёма более 40—45 % и коэффициенте уплотнения $K_{com} \geq 0,97$:

1 — известняки и доломиты; 2 — доломиты мучнистые детритовые; 3 — доломиты мучнистые; 4 — мел доломитисто-глинистый; 5 — мел; 6 — мел глинистый

укладки грунта в земляное полотно. Требуемую плотность укладки и влажность грунта в целом можно рассчитать по известным формулам, используя фазовые характеристики мелкозёма и обломков породы, а также их весовое содержание в грунте. Метод лабораторного и производственного уплотнения грунта следует подбирать опытным путем, чтобы получить требуемую для него плотность и влажность.

Физико-механические характеристики грунта II типа при уплотнении зависят от пластичности мелкозёма. В качестве примера на рис. 1 показаны зависимости модуля деформации E , коэффициента внутреннего трения $tg\phi$ и сцепления C от пластичности мелкозёма I_p для скальных и полускальных грунтов из выветривающихся карбонатных пород при содержании мелкозёма более 40—50 % и коэффициенте уплотнения $K_{com} > 0,97$.

Грунт I типа, состоящий из слабых обломков породы, можно преобразовать во II тип, размельчив его дроблением и увлажнением. Если же в таком грунте содержатся крепкие крупные обломки, их можно отсортировать и использовать в пригрузке откосов земляного полотна.

Описанные приемы оптимизации технологии возведения качественных насыпей из скальных и полускальных выветривающихся пород опробованы на выщелоченных детритовых доломитах.

Грунт для опытной насыпи разрабатывали на двух участках. На одном слабые доломиты с плотностью скелета около $1,7 \text{ т/м}^3$ и влажностью $0,01—0,04$ переслаивались относительно крепкими пористыми известняками с плотностью $2,1 \text{ т/м}^3$ и такой же, как у

доломитов влажностью. В связи с этим потребовались буровзрывные работы.

Грунт с этого участка содержал значительное количество крупных включений размером до $1,5 \text{ м}$ и имел суффозионный состав (рис. 2, а), т.е. относился к I типу. Отделяя крупные обломки размером более 200 мм методом естественной сегрегации, такой грунт разделили на две части: обломки крупнее 200 мм и доломитово-известняковый грунт несуффозионного состава II типа с 35-процентным содержанием доломитовой муки, состоящей из песчано-глинистых фракций диаметром менее 1 мм (рис. 2, б).

На другом участке доломиты в естественной залежи представляли собой преимущественно слабую выщелоченную породу плотностью $1,6—2,0 \text{ т/м}^3$ и влажностью $0,0—0,09$. Породу разрабатывали без применения буровзрывных операций. Рыхление осуществляли послойно трехстоечным рыхлителем на базе трактора мощностью 185 МВт с одновременным увлажнением. После рыхления породы получали грунт II типа, состоящий из равномерно распределенных частиц диаметром $1—60 \text{ мм}$ и доломитовой муки (фракции диаметром менее 1 мм). Содержание водорастворимых солей и гипса в грунте не превышало 2% , кальцита — 3% .

Зерновой состав доломитового грунта, определенный промывкой грунта на колонке сит диаметром $80—0,1 \text{ мм}$ и дальнейшим ареометрическим анализом частиц диаметром менее $0,1 \text{ мм}$, представлен на рис. 3.

Доломитовая мука, являющаяся конечным продуктом физико-механического разрушения породы,

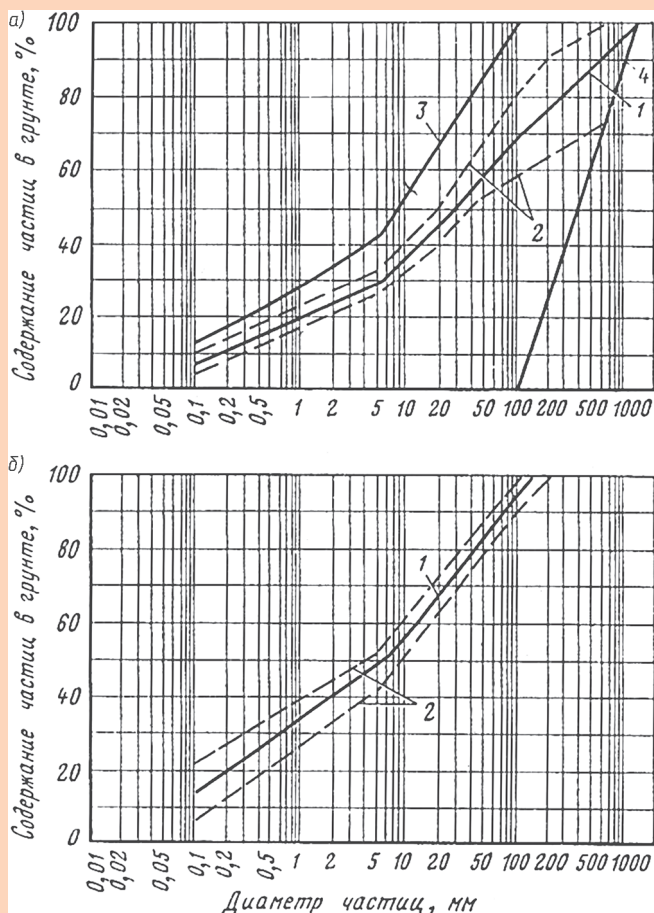


Рис 2. Гранулометрический состав доломитово-известнякового грунта, получаемого при разработке месторождения (а) и после обогащения методом естественной сегрегации (б):

1 — средний состав; 2 — граничные кривые; 3 и 4 — прогнозируемые составы, которые предполагалось получить обогащением грунта

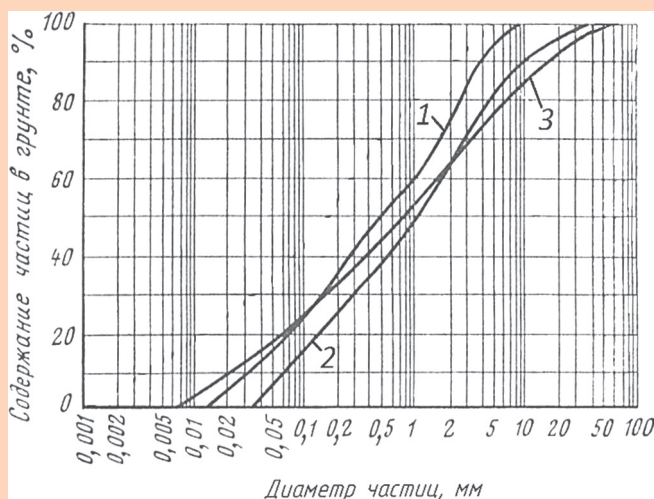


Рис 3. Гранулометрический состав доломитового грунта: 1—3 — характерные разновидности составов грунта, отобранного с различных участков месторождения

обладает малой пластичностью (0—0,04), практически не набухает и не дает усадки. Поэтому при недостаточной уплотненности в процессе водонасыщения она приобретает текучую консистенцию скачкообразно, так же, как супеси. В таком состоянии мука играет роль смазки между крупными фракциями, в результате чего водонасыщенный грунт при неблагоприятных условиях консолидации может перейти в состояние пльвуна.

При твердой консистенции и объемной массе скелета около 1,7 т/м³ доломитовая мука в водонасыщенном состоянии обладает довольно хорошими прочностными, деформационными и фильтрационными свойствами. По этой причине было принято решение укладывать доломитовый и доломитово-известняковый грунты в тело насыпи при влажности $w_0 = 0,15-0,18$, соответствующей твердой консистенции муки, и уплотнять его до получения плотности доломитовой муки в сухом состоянии ρ_{d_m} , определяемой по формуле (2):

$$\rho_{d_m} = \frac{\rho_s}{1 + (\rho_s w / \rho_w)} = 1,66 \div 1,75 \text{ (т/м}^3\text{)},$$

где $\rho_s = 2,85 \text{ т/м}^3$; $\rho_w = 1,0 \text{ т/м}^3$; $w = 0,22-0,25$ — влажность раскатывания доломитовой муки (по результатам стандартных испытаний).

Плотность укладки доломитового грунта ρ_d , обеспечивающая эти фазовые характеристики муки для реальных зерновых составов и плотности обломков породы 1,8—2,0 т/м³, составила 1,75—1,85 т/м³ при среднем значении 1,8 т/м³, а для доломитово-известнякового грунта, содержащего обломки плотностью 2,1 т/м³, плотность укладки оказалась 1,8—1,9 т/м³ при среднем значении 1,85 т/м³.

Лабораторное уплотнение грунта при различной влажности, выполненное по ГОСТ 22733—2002 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности» показало, что при $\rho_d \geq 1,80 \text{ т/м}^3$ для доломитового и $\rho_d \geq 1,85 \text{ т/м}^3$ для доломитово-известнякового грунта достигался коэффициент уплотнения $K_{com} \geq 0,97$.

Исследования на опытной насыпи позволили установить, что требуемая расчетом плотность сухого грунта обеспечивалась при укладке грунта влажностью $w_0 = 0,14-0,18$ слоями 30 см и уплотнении его пневмокатком (при давлении 0,4—0,6 МПа) за 9—10 ходок по следу или 5-тонным шиповым вибркатком при той же технологии укладки, а также пионерной отсыпкой грунта карьерной влажности в воду слоями 1 м при помощи 27-тонных автосамосвалов.

Как для доломитового, так и для доломитово-известнякового грунта угол внутреннего трения определяли при нормальных напряжениях до 1 МПа в сдвиговом приборе на водонасыщенных образцах грунта диаметром и высотой 30,5 см и плотностью сухого грунта 1,8—1,85 т/м³ по схеме ускоренного сдвига в воде. В итоге угол составил 31—35°. Это практически та же величина, которая была получена для доломитовой муки при плотности около 1,7 т/м³.

Наличие в грунте обломков породы выразилось, в основном (при сопоставлении с испытаниями доломитовой муки) в появлении сцепления 0,005—0,01 МПа, которое зависело от прочности обломков и уровня напряжений. Однако, предполагая возможность разуплотнения части обломков во времени до величин, характеризующих плотность и прочность доломитовой муки, при назначении расчетных параметров сцепление не учитывали.

Компрессионные испытания водонасыщенных образцов грунта при тех же напряжениях показали, что на каждой ступени нагрузки образцы уплотнялись практически мгновенно. За первую минуту после приложения очередной ступени нагрузки 0,2 МПа реализовалось до 80—90 % полной стабилизированной деформации, а через 30 мин — 90—100 %. Относительная осадка составила 2 %, т.е. несколько ниже относительной осадки доломитовой муки.

Выводы

1. При использовании в насыпи земляного полотна скальных и полускальных грунтов из выветривающихся пород для исключения возможности ухудшения во времени их физико-механических и фильтра-

ционных свойств рекомендуется выполнять следующие условия:

укладка грунта несугфозионного состава (содержание мелкозёма более 35—40 %);

уплотнение грунта при влажности, соответствующей твердой или тугопластичной консистенции мелкозёма, до значений, которые обеспечивают сохранение этой консистенции при водонасыщении грунта при эксплуатации земляного полотна;

разрушение обломков породы, имеющих плотность ниже плотности мелкозёма.

2. Расчетные показатели физико-механических и фильтрационных свойств скальных грунтов из выветривающихся пород целесообразно определять в лаборатории на водонасыщенных образцах мелкозёма.

Список литературы

1. Павич М.П. Способ определения несугфозионных гранулометрических составов грунта / Известия Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники, 1961. Т. 68.

2. Борткевич С.В. Основные требования к качеству скелетно-глинистых ядер каменно-земляных плотин / С.В. Борткевич // Гидротехническое строительство. — 1973. — № 8.