МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗДОРНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАЗРАБОТКЕ ВЫЕМОК В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ВЛАЖНОСТЬЮ ВЫШЕ ОПТИМАЛЬНОЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭТИХ ГРУНТОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ВО II и III ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Москва 1988

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗДОРНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАЗРАБОТКЕ ВЫЕМОК В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ВЛАЖНОСТЬЮ ВЫШЕ ОПТИМАЛЬНОЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭТИХ ГРУНТОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ВО II и III ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Утверждены зам.директора Союздорнии
канд.техн.наук В.М.Юмашевым

Одобрены Главным техническим управлением
(письмо № 37-03-105/14 от 18.02.87г.)

МОСКВА 1988

УДК 624.131.22:625.731.4(083.131)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ВЫЕМОК В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ВЛАЖНОСТЬЮ ВЫШЕ ОПТИМАЛЬНОЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭТИХ ГРУНТОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ВО II И III ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ. Союздорнии. М. 1988.

Составлены на основе исследований Союздорнии, выполненных в целях комплексного подхода к проектированию и строительству автомобильных дорог с использованием глинистых грунтов, влажность которых выше оптимальной, для повышения качества и надежности строительства.

Приведены требования к назначению допустимых коэффициентов увлажнения глинистых грунтов при их использовании в насыпях. Даны рекомендации по инженерно-геологической оценке грунтов, залегающих в выемках. Рассмотрены требования к рабочей документации по проектированию выемок и насыпей из грунтов повышенной влажности. Разработаны принципы назначения конструкций земляного полотна из грунтов с влажностью выше оптимальной, а также приведены типовые и индивидуальные конструкции.

Для индивидуальных решений предложена комплексная оценка устойчивости и стабильности земляного полотна насыпей и выемок, на основе которой рекомендуется назначать конструктивные мероприятия для обеспечения надежности насыпей из грунтов повышенной влажности, а также допустимые коэффициенты увлажнения. Рассмотрены особенности организации и технологии сооружения земляного полотна из грунтов повышенной

влажности с учетом выбора машин и снижения их производительности; даны мелиоративные и конструктив - ные решения по осушению грунтов повышеннои влажности и переувлажненных.

Табл.20, рис.16.

© Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт, 1988

УДК 624.131.22:625.731.4(083.131)

Предисловие

Настоящие Методические рекомендации разработаны в соответствии с планом научно-исследовательских работ по теме ЗР-86-02.02 и предназначены для использования при проектировании и строительстве земляного полотна автомобильных дорог из местных глинистых грунтов с влажностью выше оптимальной во II и III дорожно-климатических зонах.

Методические рекомендации составлены на основе и в развитие СНиП 2.05.02-85 и СНиП 3.06.03-86 с учетом выполненных теоретических и экспериментальных работ, полевых обследований автомобильных дорог во II и III дорожно-климатических зонах, а также отечественного и зарубежного опыта строительства. В разработанный документ включены новые решения по инженерно-геологической оценке грунтов, залегающих в выемках; предложен комплексный подход к проектированию и назначению типовых и индивидуальных конструкций земляного полотна в зависимости от его типа, вида грунта и степени его влажности.

При разработке технологических решений приняты во внимание особенности подготовительных, основных и укрепительных работ при использовании существующего парка землеройно-транспортных и грунтоуплотняющих машин с учетом регламента их работы в зависимости от состава и степени влажности разрабатываемого в выемках грунта. Один из разделов посвящен современным способам осушения грунта.

Выполнение рекомендаций должно способствовать расширению возможностей сооружения надежного и стабильного земляного полотна из глинистых грунтов, влажность которых выше оптимальной. Экономический

эффект от применения предложенных рекомендаций составит до 100 тыс.руб. на 1 км дороги.

Методические рекомендации составили инж.Ю.М.Львович (руководитель работы) (разд.1-7), канд.техн.наук Э.М.Добров (разд.5), кандидаты технических наук Э.К.Кузахметова (разд.1,2,4-6, приложение), Р.Е.Чепланова (разд.5), Л.А.Марков (разд.6), Л.И.Семендяев (разд.5), Н.А.Иванов (разд.5), М.А.Либерман (разд.7), В.А.Смоленцева (разд.7) (Союздорнии); канд.техн. наук Ю.М.Васильев (разд.8) (*Ленинградский филиал* Союздорнии); д-р техн.наук М.Б.Корсунский (разд. 8), канд.техн.наук В.А.Семенов (разд.8), инж.А.А.Лебедев (разд.8) (Владимирский политехнический институт); канд.техн.наук В.Д.Браславский (разд.1,2,4) (ГПИ "Союздорпроект"); канд.техн.наук Е.В.Ширшов (разд. 8) (Архангельский политехнический институт).

Замечания и предложения по данной работе просьба направлять по адресу: 143900, Московская обл., г.Балашиха-6, Союздорнии.

1. Общие положения

1.1. Настоящие Методические рекомендации предназначены для применения при проектировании и строительстве земляного полотна из глинистых грунтов с влажностью выше оптимальной, получаемых при разработке выемок, и использовании этих грунтов для возведения насыпей во II и III дорожно-климатических зонах.

1.2. В Методических рекомендациях регламентируется использование грунтов с влажностью выше оптимальной и предлагаются конкретные конструктивные и технологические решения для условий типового и индивидуального проектирования.

1.3. Грунты, применяемые для устройства земляного полотна насыпей, по степени влажности разделяются на следующие разновидности: нормальной влажности (от 0,9 оптимальной до допустимой), повышенной влажности (от допустимой влажности до предельной), переувлажненные (влажность выше предельной).

Под предельной понимается такая влажность грунта, при которой еще может быть достигнут коэффициент уплотнения 0,9 при использовании современных средств уплотнения. Значения допустимой влажности грунта, при которой могут быть приняты типовые решения, приведены в табл.1.1.

1.4. В тех случаях, когда при проектировании и строительстве земляного полотна насыпей применяются индивидуальные решения согласно СНиП 2.05.02-85, допустимую влажность используемого в насыпи грунта устанавливают на основе комплексной оценки устойчивости и обеспечения стабильности земляного полотна (см. разд.5).

Таблица 1.1

Грунт	Допустимый коэффициент увлажнения грунта K_w при требуемом коэффициенте уплотнения K_y			
	более 1	1–0,98	0,95	0,9
Песок пылеватый, супесь легкая крупная	1,3	1,35	1,60	1,6
Супесь легкая и пылеватая	1,2	1,25	1,35	1,6
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий и легкий пылеватый	1,1	1,15	1,30	1,5
Суглинок тяжелый и тяжелый пылеватый, глина	1,0	1,05	1,20	1,3

Примечания: 1. При возведении насыпей из непылеватых песков в летних условиях допустимая влажность не ограничивается.

2. При возведении насыпей в зимних условиях допустимая влажность песков и непылеватых супесей не должна, как правило, превышать $1,3\ W_0$, супесей пылеватых и суглинков легких – $1,2\ W_0$, других связных грунтов – $1,1\ W_0$ (W_0 – оптимальная влажность грунта).

При этом определяемая расчетом допустимая влажность не должна превышать значений, приведенных в табл.1.1.

1.5. Влажность грунтов, уплотняемых только катками на пневматических шинах, не должна выходить за пределы значений, приведенных в табл.1.2.

При возведении насыпей в зимний период и их уплотнении только катками на пневматических шинах допустимая влажность песков, супесей и суглинков легких и легких пылеватых не должна, как правило, превышать 1,25–1,15. Использование суглинков тяжелых и глин с влажностью выше оптимальной во II дорожно-климатической зоне в зимний период не рекомендуется. Для южных и юго-западных районов III дорожно-клима-

Таблица 1.2

Грунт	Коэффициент увлажнения K_w при требуемом коэффициенте уплотнения $K_у$		
	1–0,98	0,95	0,9
Песок пылеватый, супесь легкая крупная	Не более 1,35	Не более 1,60	–
Супесь легкая и пылеватая	1,25	1,35	1,6
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий и легкий пылеватый	1,15	1,20	1,3
Суглинок тяжелый и тяжелый пылеватый, глина	1,05	1,10	1,2

тической зоны допустимая влажность указанных грунтов не должна превышать (1,05÷1,1) W_0 в зависимости от абсолютной отрицательной температуры воздуха и наличия атмосферных осадков.

1.6. Степень влажности грунта рекомендуется характеризовать коэффициентом увлажнения K_w, который представляет собой отношение фактической влажности грунта в источнике его получения или в теле насыпи $W_ф$ к оптимальной W_0:

$$K_w = \frac{W_ф}{W_0} . \qquad (1.1)$$

Для ориентировочного определения коэффициента увлажнения оптимальную влажность допускается устанавливать по выражению

$$W_0 = \alpha W_L , \qquad (1.2)$$

где α – коэффициент, равный для песков и супесей 0,75–0,7, суглинков – 0,6–0,55, глин – 0,5–0,45;

W_L – влажность на границе текучести, %.

При влажности грунта выше оптимальной максималь-

но возможную плотность грунта (при уплотнении катками на пневматических шинах) можно считать достигнутой при содержании воздуха в порах песков и супесей 6%, суглинков – 3%, глин – 4%.

При этом максимально возможную (при данной степени влажности) плотность сухого грунта ρ_d (г/см^3) ориентировочно рекомендуется определять по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho_s (1 - V_{возд})}{1 + (\rho_s W_e)\frac{1}{\rho_в}}, \qquad (1.3)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3;

$V_{возд}$ – содержание воздуха в грунте при максимальной плотности, доли единицы;

$\rho_в$ – плотность воды в грунте, г/см^3;

W_e – фактическая влажность грунта, доли единицы.

Для ориентировочных расчетов принимают следующие значения плотности частиц грунта и содержания воздуха в грунте (табл.1.3).

Таблица 1.3

Грунт	ρ_s, г/см^3	$V_{возд}$, доли единицы
Песок, супесь легкая и пылеватая	2,67	0,05–0,08
Супесь тяжелая, суглинок легкий	2,70	0,03–0,04
Суглинок тяжелый, глина	2,72	0,04–0,05

1.7. Расчетные значения плотности каждой разновидности грунтов с влажностью выше оптимальной в источнике их получения следует устанавливать путем их испытания в большом приборе стандартного уплотнения Союздорнии.

При определении параметров стандартного уплотнения испытания необходимо выполнять таким образом,чтобы полученные результаты позволяли построить кривую

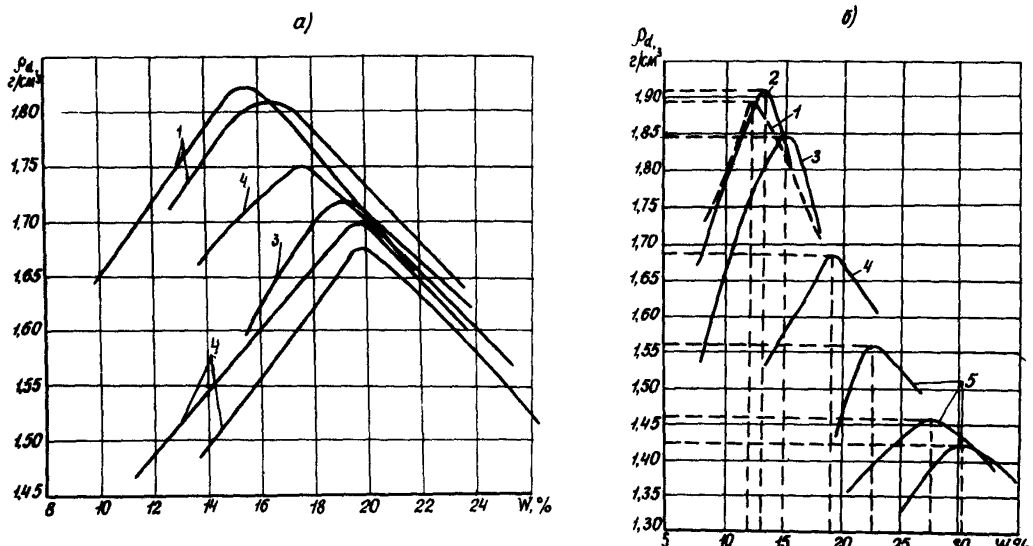

Рис.1.1. Кривые стандартного уплотнения грунтов четвертичного (а) и третичного (б) возраста: 1-суглинок легкий; 2-суглинок тяжелый; 3-суглинок тяжелый пылеватый; 4-глина пылеватая; 5-глина жирная

зависимости плотности сухого грунта от его влажности, особенно ее правую ветвь. При этом диапазон влажности испытуемого грунта должен соответствовать зафиксированным значениям влажности грунта W в источнике его получения (рис.1.1).

Выполненные таким образом испытания для конкретного грунта позволяют уточнить значения допустимой влажности, приведенные в табл.1.1.

1.8. Для комплексной оценки состояния глинистых грунтов, залегающих в выемках, помимо коэффициента увлажнения, рекомендуется использовать также коэффициент относительной влажности K_0 и коэффициент консистенции B:

$$K_0 = \frac{W_e}{W_T} \quad ; \quad B = \frac{W_e - W_p}{J_p} \quad , \qquad (1.4)$$

где W_T, W_p, J_p – соответственно границы и число пластичности.

1.9. При разработке в выемках грунтов с влажностью выше оптимальной и сооружении из них насыпей необходимо с учетом технико-экономического обоснования предусматривать конструктивные, технологические, организационные и мелиоративные мероприятия.

Комплекс этих мероприятий должен обеспечить устойчивость и стабильность земляного полотна, его конструктивных элементов и дорожной одежды в период строительства и эксплуатации автомобильной дороги.

2. Инженерно-геологическая оценка грунтов, залегающих в выемках

2.1. Инженерно-геологическую оценку глинистых грунтов, залегающих в выемках, следует выполнять в

целях определения целесообразности их использования в насыпях, установления показателей физико-механических свойств грунтов с естественной и искусственной структурой при зафиксированном диапазоне влажности, разработки проектных решений земляного полотна насыпей и выемок.

2.2. Для получения данных, необходимых для инженерно-геологической оценки грунтов, проводят бурение массива грунта в пределах будущей выемки. При этом устанавливают состав и состояние грунта, характер их изменения по глубине выемки; значения влажности и консистенции грунтов, их оптимальную влажность и максимальную плотность при стандартном уплотнении, склонность к набуханию и усадке; прочностные показатели, характеризующие сопротивляемость сдвигу грунта с искусственной структурой в расчетном диапазоне влажности (степени влажности грунта в источнике его получения).

На литологических буровых колонках отмечают уровни подземных вод. По полученным результатам оценивают залегающие на различных горизонтах грунты по степени их влажности в долях от оптимальной и влажности на границе текучести.

2.3. Если бурение производят в сухие периоды года, необходимо выполнять прогноз возможного повышения естественной влажности грунтов, залегающих на различных горизонтах выемки, вследствие изменения условий увлажнения в расчетные (осенний и весенний) периоды года, а также при разработке выемки. С этой целью анализируют гидрометеорологические данные, а также изменение показателей физических свойств образцов глинистых грунтов с естественной структурой после их полного водонасыщения. Для оценки степени изменения влажности необходимо лабораторным путем установить: влажность грунта на отдельных горизонтах выемки, его плотность, плотность частиц грунта, пори-

стость (коэффициент пористости)при естественной влажности и после полного водонасыщения. Лабораторными испытаниями определяют увеличение влажности и консистенцию после водонасыщения, степень влажности и относительную влажность в долях от оптимальной и влажности на границе текучести. В определенных случаях, в частности для дочетвертичных глинистых грунтов, необходимо выполнить испытания на свободное набухание и усадку образцов с естественной и искусственной структурой и установить влажность грунта после набухания.

2.4. В результате инженерно-геологической оценки должны быть получены следующие данные: геологические разрезы по оси выемки и ее бортам; эпюры изменения влажности по глубине выемки (фактические и прогнозируемые); наличие водоносных горизонтов и отметки их уровней; степень влажности и плотность грунта на различных горизонтах; прочностные характеристики грунтов с естественной структурой с их привязкой к установленному диапазону влажности, т.е. зависимость угла внутреннего трения φ_w, величины общего сцепления C_w и сцепления, обусловленного водно-коллоидными связями, Σ_w от влажности.

Полученные данные необходимы для оценки устойчивости откосов выемок и назначения комплекса противооползневых мероприятий.

2.5. Если на основе технико-экономического расчета принято решение использовать в насыпи грунты,разрабатываемые в выемке, необходимо оценивать рассматриваемый массив как источник получения грунта.

Для этой цели в массиве выемки выделяют зоны грунтов с различной степенью влажности, определяют границы и уровни их залегания, источники увлажнения и обусловливающие их факторы. Для обоснования выбора конструкций земляного полотна насыпей из грунтов выемки следует определять прочностные и деформатив-

ные характеристики грунта с искусственной структурой при диапазоне влажности, зафиксированном изысканиями в расчетный период или установленном путем прогноза.

2.6. В результате комплексной инженерно-геологической оценки грунтов, залегающих в выемках, должны быть получены данные:

позволяющие оценить устойчивость откосов выемки, назначить комплекс мероприятий по обеспечению их общей и местной устойчивости, запроектировать конструкцию рабочего слоя выемки, разработать проектные решения по понижению уровней подземных вод, в том числе в пределах рабочего слоя;

характеризующие выемку как источник получения грунта для сооружения земляного полотна насыпей различной высоты.

Для прогноза величины осадки грунта с влажностью выше оптимальной в насыпях высотой более 6 м дополнительно следует определять показатели сжимаемости.

Результаты инженерно-геологической оценки должны быть представлены в виде графиков и пояснительной записки, в которой необходимо указать целесообразность разработки выемки и возможность сооружения земляного полотна насыпи в зимний период.

3. Требования к рабочей документации при разработке выемок и сооружении насыпей

3.1. Рабочая документация должна включать подробную проработку проектных решений по всем видам конструкций земляного полотна при влажности грунтов выше оптимальной.

В зависимости от рабочей отметки и степени влажности грунтов документация должна содержать необхо-

димую информацию о типовых решениях, типовых решениях с индивидуальной привязкой и индивидуальных.

3.2. В рабочей документации по типовым решениям и решениям с индивидуальной привязкой должны быть указаны конструкции земляного полотна насыпей, рассчитанные для конкретных значений степени влажности грунта, разрабатываемого в выемках.

В рабочей документации по типовым решениям с индивидуальной привязкой должен быть приведен также специальный расчет, обосновывающий конструкции переходного слоя.

3.3. Рабочая документация по индивидуальным решениям должна содержать чертежи конструкций земляного полотна насыпей или выемок, обосновывающие расчеты устойчивости и стабильности, допустимые значения коэффициента увлажнения. Такая документация разрабатывается:

для выемок, вскрывающих водоносные горизонты или имеющих в основании водоносный горизонт, а также в глинистых грунтах с коэффициентом консистенции более 0,5;

для выемок с высотой откоса более 6 м в пылеватых грунтах в районах избыточного увлажнения (II дорожно-климатическая зона), а также в глинистых (дочетвертичных) грунтах, теряющих прочность и устойчивость в откосах под воздействием погодно-климатических факторов;

для выемок в набухающих и сильно усадочных глинистых грунтах при неблагоприятных условиях увлажнения;

насыпей высотой более 12 м из грунтов повышенной влажности;

насыпей высотой более 3 м из переувлажненных грунтов.

3.4. В рабочей документации по индивидуальным решениям земляного полотна должны быть приведены расчеты для обоснования:

рациональной конфигурации откосов;

конструкций рабочего слоя в комплексе с дорожной одеждой для получения наиболее экономичных решений в соответствии с п.6.21 СНиП 2.05.02-85;

конструкции дренирующего слоя с водоотводными и водосбросными элементами;

мероприятий по обеспечению общей и местной устойчивости откосов;

конечной величины осадки земляного полотна насыпей и основания и необходимого запаса грунта на осадку;

интенсивности осадки земляного полотна насыпи (и основания, если это определено инженерно-геологической оценкой);

допустимых коэффициентов увлажнения грунта рабочего слоя и земляного полотна насыпей с учетом времени их сооружения - в летний или зимний период;

мероприятий по уменьшению влажности грунта, снижению осадки и времени ее прохождения;

объемов переувлажненного грунта, предназначенных для вывозки в кавальер.

Все проектные решения должны быть учтены при разработке соответствующих разделов сметы строительства.

3.5. В рабочей документации по индивидуальным решениям в разделе "Проект производства работ" необходимо отразить особенности технологии и последовательность выполнения земляных работ, все виды предлагаемых конструктивных элементов, способы осушения грунтов.

3.6. Рабочая документация для конструкций земляного полотна из грунтов с влажностью выше оптимальной должна быть представлена в полном комплекте с взаимной увязкой всех намеченных конструктивных мероприятий и технологических решений.

3.7. В комплект рабочей документации необходимо

включать решения (в рабочих чертежах и пояснительной записке, смете) по охране и защите окружающей среды.

4. Принципы назначения конструкций земляного полотна из грунтов с влажностью выше оптимальной

4.1. Конструкции земляного полотна выемок и насыпей назначают в зависимости от рабочей отметки, рельефа местности, условий увлажнения верхней части земляного полотна с учетом состава и состояния залегающего в выемках грунта, который предусмотрено использовать в насыпи.

4.2. Конструкции насыпей с рабочей отметкой до 12м следует назначать по типовым решениям согласно СНиП 2.05.02-85, если коэффициент увлажнения K_w грунта в источнике его получения (в выемке) будет иметь следующие значения: для супесей легких и пылеватых – не более 1,2; супесей тяжелых пылеватых, суглинков легких и легких пылеватых – не более 1,15; суглинков тяжелых, тяжелых пылеватых и глин – не более 1,05.

Параметры таких насыпей принимают по рис.4.1.

При этом конструкцию, представленную на рис.4.1,а, рекомендуется применять на устойчивых и необводненных основаниях, на рис.4.1,б – на неустойчивых и обводненных основаниях, на рис.4.1,в – при дефиците дренирующих грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 0,5 м/сут.

Крутизну откосов назначают для насыпей высотой до 3 м на дорогах I-III категорий 1:4, до 2 м на дорогах IУ-У категорий – 1:3.

Для насыпей высотой от 3 до 12 м на автомобильных дорогах всех категорий крутизну откосов назначают следующим образом:

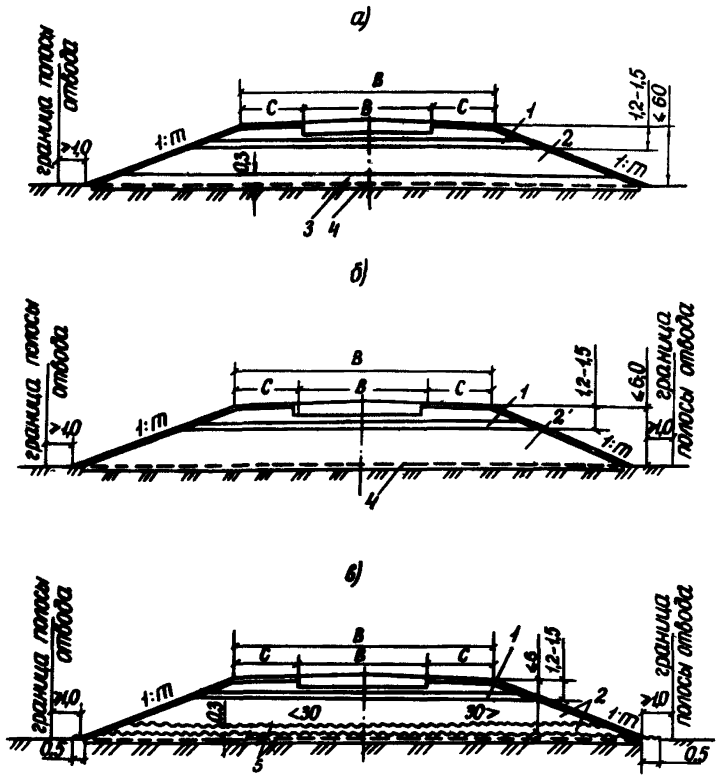

Рис.4.1. Конструкции насыпи высотой до 12 м при K_w не более 1,2 для супесей легких и пылеватых, не более 1,15 – для супесей тяжелых пылеватых, суглинков легких и легких пылеватых, не более 1,05 – для суглинков тяжелых, тяжелых пылеватых и глин: 1–переходный слой; 2–грунт повышенной влажности; 3–песчаный грунт с $K_w \geqslant 0,5$ м/сут; 4–снимаемый растительный грунт; 5–слой геотекстиля

для супесей легких и пылеватых, тяжелых пылеватых, суглинков легких и легких пылеватых – по СНиП 2.05.02-85, табл.23;

для суглинков тяжелых пылеватых, глин пылеватых и жирных при высоте насыпи от 3 до 6м – по СНиП 2.05.02-85, табл.23; от 6 до 12 м – по табл.4.1 настоящих Методических рекомендаций.

4.3. Переходный слой в конструкциях насыпей, который является дополнительным слоем между земляным полотном и основанием дорожной одежды (см.рис.4.1), устраивают только в случае производства основных работ по сооружению насыпей в зимнее время из суглинков тяжелых, тяжелых пылеватых и глин во II дорожно-климатической зоне для автомобильных дорог I–III категорий. Толщину переходного слоя назначают по расчету, но не менее 0,5 м для дорог I–II категорий и 0,3 м – III категории.

Переходный слой устраивают из песчаных или непылеватых супесчаных грунтов. Кроме того, возможны варианты устройства таких слоев из грунтов, улучшенных стабилизирующими или осушающими добавками.

4.4. Если степень влажности грунта в выемке в период разработки находится в пределах 1,25–1,35 для супесей легких и пылеватых, 1,15–1,2 – супесей тяжелых пылеватых, суглинков легких и легких пылеватых, 1,05–1,15 – для суглинков тяжелых и тяжелых пылеватых, а также глин, то конструкцию земляного полотна насыпи назначают по рис.4.2,а.

При использовании суглинков легких и легких пылеватых с $K_w = 1,2 \div 1,3$, суглинков тяжелых, тяжелых пылеватых и глин с $K_w = 1,15 \div 1,25$ конструкцию насыпи назначают по рис.4.2, б,в.

Крутизну откосов принимают: для насыпей до 3 м – согласно п.4.2; от 3 до 6 м – 1:1,75 для всех разновидностей супесей, 1:2 – для суглинка легкого пылеватого; для остальных грунтов, а также при высоте насыпи от 6 до 12 м – по табл.4.1.

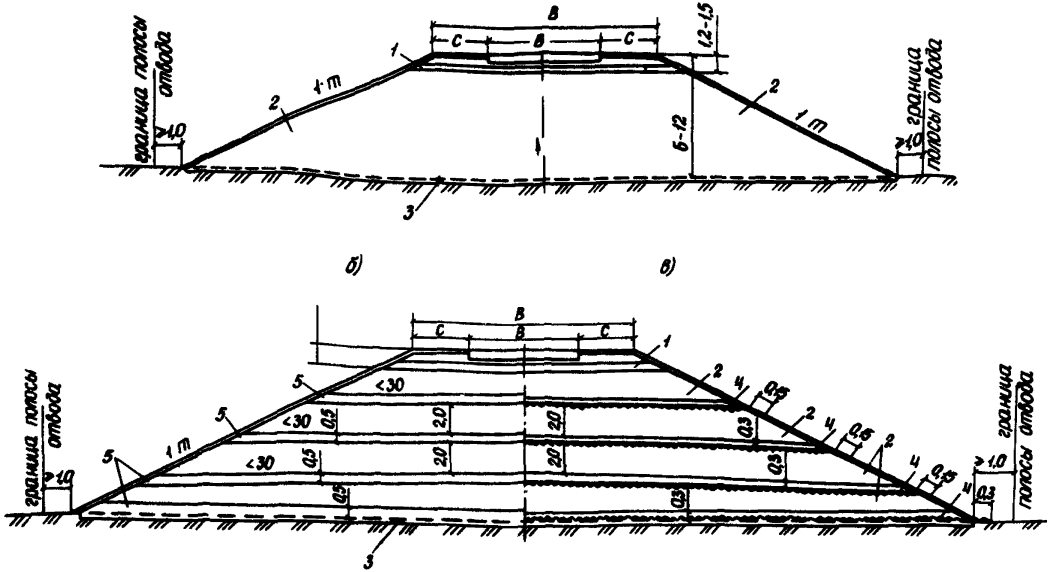

Рис.4.2. Конструкция насыпи высотой до 12м: а- K_w=1,25÷1,35 - для супесей легких и пылеватых, K_w=1,15÷1,2 - для супесей тяжелых пылеватых, суглинков легких и легких пылеватых, K_w=1,05÷1,15 - для суглинков тяжелых, тяжелых пылеватых и глин; б,в - K_w=1,2÷1,3 - для суглинков легких и легких пылеватых, K_w=1,15÷1,25 - для суглинков тяжелых, тяжелых пылеватых и глин: 1-переходный слой; 2-грунт повышенной влажности; 3-снимаемый растительный грунт; 4-слой геотекстиля; 5-песчаный слой

Таблица 4.1

Грунт	Крутизна откосов насыпи в зависимости от коэффициента увлажнения K_w						
	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35
Супесь легкая	1,50	1,50	1,50	1,75	2,0	2,5	2,5
Супесь пылеватая	1,75	1,75	1,75	2,0	2,5	2,5	2,5
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий	1,75	1,75	1,75	2,0	2,0	2,5	–
Суглинок легкий пылеватый	1,75	2,0	2,00	2,0	2,5	2,5	–
Суглинок тяжелый и тяжелый пылеватый	1,75	2,00	2,00	2,5	2,5	2,5	–
Глина пылеватая	1,75	1,75	2,00	2,5	2,5	–	–
Глина жирная	2,00	2,00	2,00	2,5	2,5	–	–

Толщину переходного слоя назначают по расчету на прочность дорожной одежды (по критерию сдвига) таким образом, чтобы общая толщина рабочего слоя была не более 1 м для супесей и суглинков легких и 1,5 м – для суглинков тяжелых, тяжелых пылеватых и глин во II дорожно-климатической зоне и соответственно 0,8 и 1,2 м в III дорожно-климатической зоне. Если толщина переходного слоя больше высоты насыпи или равна ей, использовать грунты влажностью выше оптимальной не допускается.

4.5. При сооружении насыпей из грунтов с влажностью, указанной в п.4.4, необходимо учесть их возможную осадку и предусмотреть отсыпку соответствующего дополнительного объема грунта.

Запас на осадку принимают для супесей легких и пылеватых 1,5–3% высоты насыпи, супесей тяжелых пылеватых, суглинков легких и легких пылеватых – 1–3%, суглинков тяжелых и тяжелых пылеватых, а также глин – 1–4%. Причем меньшие значения принимают для

грунтов с меньшим коэффициентом увлажнения, а большие - соответственно с большим.

4.6. При залегании в выемках грунтов, степень влажности которых выше предельной или близка к ней, конструкции насыпей назначают в соответствии с рис.4.1 и 4.2 при условии возможности доведения естественной влажности этих грунтов до допустимой. В противном случае грунты с предельной влажностью должны быть удалены в кавальер.

4.7. Конструкции земляного полотна в выемках назначают по индивидуальному проекту для всех случаев, указанных в п.3.3 настоящих Методических рекомендаций. В выемках необходимо предусматривать: укрепленные водоотводные канавы для регулирования стока поверхностных вод в пределах верхней части земляного полотна (рабочего слоя выемки); закюветные полки шириной не менее 3-3,5 м; подкюветные или закюветные перехватывающие дренажные системы для понижения уровня подземных вод, осушения или исключения возможности переувлажнения грунтов рабочего слоя выемки; перехватывающие, присыпные или горизонтальные дренажи в откосах; перехватывающие дренажные системы за пределами выемки; нагорные канавы; конструкции, обеспечивающие местную устойчивость от образования сплывов, оплывин, размывов.

4.8. При проектировании конструкций земляного полотна в выемках в глинистых грунтах, степень влажности которых в зоне рабочей отметки рабочего слоя равна или больше предельной (см.табл.1.1), следует предусматривать частичную или полную замену таких грунтов дренирующими непучинистыми. Замене подлежат грунты на глубине 1,5 м от поверхности покрытия во II дорожно-климатической зоне и 1,2 м - в III дорожно-климатической зоне на автомобильных дорогах I-III категорий. Для автомобильных дорог IУ-У категорий эта глубина может быть уменьшена на 25%.

5. Комплексная оценка устойчивости и стабильности земляного полотна при разработке индивидуальных конструкций насыпей и выемок

5.1. Для обоснования проектной конфигурации насыпей высотой более 12 м, определения допустимой влажности используемого для отсыпки грунта из выемки необходима комплексная оценка устойчивости и стабильности земляного полотна.

Расчеты осуществляют в такой последовательности:

оценивают устойчивость откосов по прочности и определяют рациональную конфигурацию конструкции при допустимой степени влажности используемого грунта;

определяют на основе реологического анализа длительную устойчивость откосов и выполняют прогноз деформаций ползучести;

для расчетной конфигурации насыпи устанавливают конечную величину осадки нестабильных слоев грунта повышенной влажности и время ее завершения.

5.2. Для оценки устойчивости откосов насыпей по прочности следует использовать метод круглоцилиндрической поверхности скольжения (КЦПС) в интерпретации Союздорнии с применением ЭВМ для массовых расчетов.

При залегании в основании грунтов повышенной влажности, переувлажненных или слабых необходимо оценивать устойчивость основания также методом КЦПС. Расчетная кривая должна при этом проходить в слабых грунтах основания.

Для выполнения расчетов устойчивости необходимы следующие данные: рабочие отметки насыпи по всей длине участка ее сооружения из грунтов выемки; диапазон

влажности разрабатываемых грунтов; зависимости прочностных характеристик грунта насыпи и ее основания $\varphi_w, C_w, \Sigma_w, C_c$ от влажности в зоне сдвига.

5.3. Расчет устойчивости выполняют для нескольких (не менее трех) рабочих отметок (высот насыпей) и нескольких заложений откосов. Рациональную конфигурацию откосов для каждой рабочей отметки определяют следующим образом. Рассчитывают общую устойчивость насыпи высотой H при нескольких заложениях откосов, принимаемых, например, по табл.4.1. Для каждого заложения и каждой i-й пары прочностных характеристик используемого грунта C_{wi} и $tg\,\varphi_{wi}$ или C_{ci} и $tg\,\varphi_{wi}$ определяют коэффициент устойчивости насыпи данной высоты. Причем каждая пара значений прочностных характеристик грунта должна соответствовать одному из значений влажности в расчетном диапазоне. По результатам расчета строят зависимости коэффициентов устойчивости K_1 (для C_{wi} и $tg\,\varphi_{wi}$) и K_2 (для C_{ci} и $tg\,\varphi_{wi}$) от влажности для конкретной рабочей отметки (высоты насыпи) H и различных заложений откоса m_i: $K=f(W)$ (рис.5.1).

Этот график может быть перестроен и представлен в виде зависимости коэффициента устойчивости от заложения откоса при различных значениях влажности и для конкретной высоты насыпи (рис.5.2).

5.4. Проектирование расчетной (по условию прочности - первое предельное состояние) конфигурации откосов насыпей при $H \geqslant 12$ м осуществляют следующим образом.

По оси абсцисс графика $K_1=f(W)$ откладывают расчетный, а также допустимый (см.табл.1.1) диапазоны влажности для данного грунта; по оси ординат - значение требуемого коэффициента устойчивости $K_{тр}$ (см.п.5.6). Через точку, соответствующую значению $K_{тр}$ на оси ординат, проводят прямую, параллельную оси абсцисс; точки пересечения с кривыми $K_1=f(W)$ при $m_i=const$ сносят на

ось абсцисс. Точки пересечения прямой, проведенной через точку, соответствующую $K_{тр}$, с кривыми для различных заложений откоса будут соответствовать их расчетным значениям, а величины абсцисс для этих точек - расчетному значению допустимой влажности грунта.

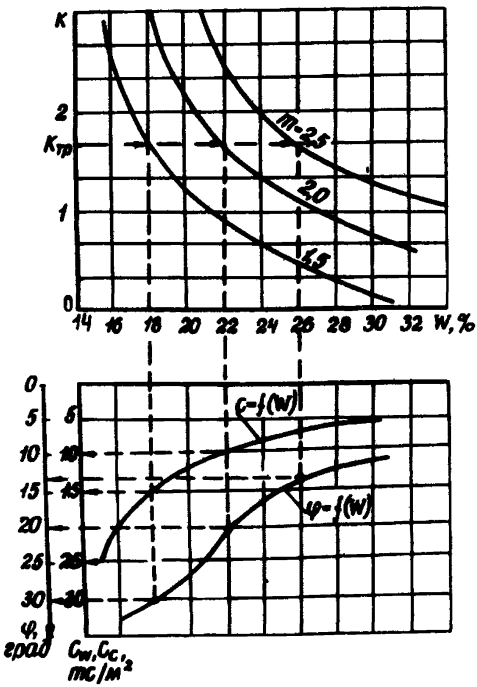

Рис.5.1. Зависимость прочностных характеристик грунта и коэффициента устойчивости откоса от влажности грунта

5.5. В диапазоне допустимых влажностей грунта при $K_1 = K_{тр}$ на основе построенных по результатам расчета графиков (см.рис.5.1, 5.2) для данной рабочей отметки насыпи получают несколько расчетных заложений откосов, каждое из которых соответствует определенному

допустимому (по степени влажности грунта) значению влажности.

Выбор заложения (крутизны) откоса для заданной рабочей отметки осуществляют в зависимости от степени влажности используемого грунта. Допустимая степень влажности конкретного грунта в конструкции насыпи определяется (при заданной высоте) максимально возможным заложением откосов по условиям размещения земляного полотна и полосы отвода, однако она не должна превышать значений, приведенных в табл.1.1.

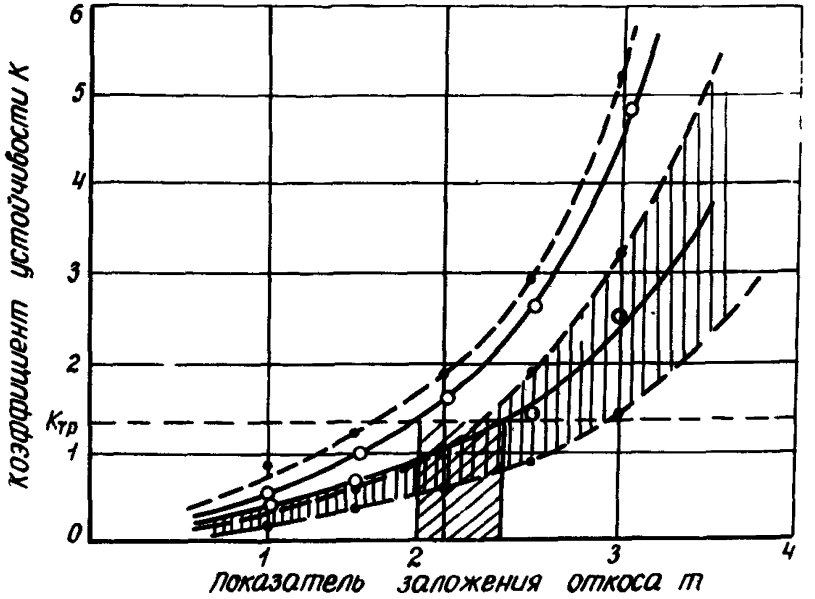

Рис.5.2. Зависимость коэффициента устойчивости насыпи высотой 20 м от показателя заложения откоса при различной влажности грунта: ——— при расчете устойчивости по K_1 ; – – – – то же, по K_2

Окончательный выбор расчетного заложения и допустимой степени влажности грунта следует осуществлять на основе технико-экономического обоснования.

5.6. Требуемый коэффициент устойчивости насыпи $K_{тр}$ по прочности (первое предельное состояние) следует определять по выражению

$$K_{тр} = \frac{K_н n_c n_o}{m_o}, \qquad (5.1)$$

где $K_н$ – коэффициент надежности по назначению сооружения (см.СНиП 2.02.01-83); $K_н = 1,25$ – для дорог I категории, $K_н = 1,15$ – для II и $K_н = 1,1$ – для III категории;

n_c – коэффициент сочетания нагрузок; $n_c = 1 \div 0,9$;

n_o – коэффициент перегрузки; $n_o = 1,1$ – для выемок, $n_o = 1,2$ – для насыпей;

m_o – коэффициент условий работы; $m_o = 0,9$ – для пылевато-глинистых грунтов в стабилизированном состоянии (выемки), $m_o = 0,85$ – в нестабилизированном состоянии.

5.7. При необходимости сооружения насыпей из суглинков тяжелых пылеватых и глин следует выполнить прогноз возможной потери устойчивости откосов во времени, уточнить параметры конструкции и диапазон допустимой влажности грунта.

С этой целью определяют коэффициент устойчивости по порогу ползучести (K_2) для запроектированной из условия прочности (K_1) конструкции насыпи. Расчетные значения $tg\varphi_w$ и C_c должны соответствовать установленному значению допустимой влажности.

Если $K_2 \geq 1$, то длительная устойчивость откосов насыпи обеспечена. При $K_2 < 1$ в откосах насыпи возможны деформации ползучести; в этом случае необходимо оценить их устойчивость при учете только остаточной прочности грунта (K_{ou}).

Расчет осуществляют по методу КЦПС, подставляя в формулу для определения коэффициента устойчивости значения параметров остаточной сдвиговой прочности $tg\varphi_n$ и Σ_w, соответствующие расчетной влажности. Если условие $K_{ou} \geq 1$ не удовлетворяется, то следует рассмотреть вопрос о снижении рабочей отметки насыпи, изме-

нении ее конфигурации или уменьшении допустимой влажности грунта.

5.8. В тех случаях, когда $K_z < 1$, но $K_{oy} \geq 1$, следует оценить величину деформации ползучести за период межремонтного срока службы дороги.

Прогнозируемое значение деформации опускания бровки Δz (м) определяют по зависимости

$$\Delta z = \frac{1}{m}\sqrt{\mathcal{D}t/\pi}\ , \qquad (5.2)$$

где m – крутизна откоса;

$\mathcal{D}$ – коэффициент деформируемости, $м^2/с$;

t – расчетный период, равный межремонтному сроку службы автомобильной дороги, с.

Коэффициент деформируемости рассчитывают по формуле

$$\mathcal{D} = \frac{3{,}7\rho g H\omega}{\eta_w \cdot 10^4}\ , \qquad (5.3)$$

где ρ – плотность грунта, $кг/м^3$;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$;

ω – единичное сечение площадью 1 $м^2$;

η_w – коэффициент вязкости грунта насыпи при допустимой влажности, установленной при оценке устойчивости откосов по прочности, Па·с.

Расчетные значения коэффициента вязкости, необходимые для определения коэффициента деформируемости $\mathcal{D}$, следует принимать: для четвертичных суглинков и глин – $1 \cdot 10^{13}$ Па·с, дочетвертичных суглинков – $1 \cdot 10^{12}$ Па·с, жирных глин – $1 \cdot 10^{11}$ Па·с.

5.9. Прогнозируемое значение Δz сравнивается с допустимыми значениями Δz_0 (табл.5.1), принимаемыми из условия нераспространения деформаций ползучести под дорожную одежду.

Таблица 5.1

Категория дороги	Крутизна откоса насыпи $1:m$	Допустимое значение Δz_0
I	1:1,5	16
	1:2,0	14
	1:3,0	12
II	1:1,5	23
	1:2,0	20
	1:3,0	18
III	1:1,5	29
	1:2,0	26
	1:3,0	23

Если $\Delta z < \Delta z_0$, то изменение отметки бровки удовлетворяет условиям эксплуатации насыпи, в частности безопасности движения.

В противном случае необходимо предусмотреть мероприятия, обеспечивающие нормальную эксплуатацию насыпи: уменьшение допустимой влажности грунта для данной конструкции насыпи; увеличение показателя крутизны откосов при ранее установленной допустимой влажности; применение специальных конструктивных элементов в виде армирующих грунтовых прослоек (см. разд.6).

5.10. При сооружении насыпей из глинистых грунтов (с влажностью выше оптимальной) дочетвертичного возраста (например, палеогеновых, неогеновых и т.п.) определяют коэффициент устойчивости K_2 откосов, используя только характеристики порога ползучести $tg\,\varphi_w$ и C_c.

Проектирование требуемого заложения осуществляется с учетом рекомендаций пп.5.3–5.5. Значение K_2 для принятой высоты и заложения, соответствующее допустимому коэффициенту увлажнения, не должно превышать единицы. Реологический анализ в этом случае не проводят.

5.11. После определения расчетной конфигурации насыпи оценивают осадку конечную и во времени. С этой целью выполняют расчет: величины конечной осадки, времени ее достижения; времени достижения заданной относительной деформации (например, соответствующей 80 или 90% конечной осадки), интенсивности уплотнения на заданный период времени, времени достижения допустимой интенсивности уплотнения для данного типа покрытия (в соответствии со СНиП 2.05.02-85, п.6.30), плотности грунта расчетного слоя, достигаемой в процессе его доуплотнения под нагрузкой от собственного веса и веса вышележащих слоев насыпи.

Полученные данные следует использовать для обоснования дополнительных объемов грунта (запас на осадку), времени устройства покрытия и оценки достигаемого коэффициента уплотнения в консолидируемой зоне.

5.12. Перед выполнением расчета осадки составляют расчетную схему, разделяя запроектированную конструкцию насыпи на две зоны - консолидируемую (активную) под нагрузкой от веса грунта вышележащих слоев h_a и неконсолидируемую (пассивную) h_n.

Мощность неконсолидируемой (пассивной) зоны устанавливают по формуле

$$h_n = \frac{P_0}{\gamma_w}, \qquad (5.4)$$

где P_0 - предельная (пороговая) нагрузка от собственного веса вышележащих слоев грунта, под воздействием которой происходит доуплотнение нижележащих слоев, МПа;

γ_w - удельный вес грунта насыпи, Н/см^3; $\gamma_w = \rho_s g$.

Для глинистых грунтов с влажностью $(1,1 \div 1,4)\, W_0$ и плотностью, соответствующей степени уплотнения $(0,8 \div 0,95)\, \rho_{d\,max}$, величина пороговой нагрузки составляет 0,025-0,1 МПа (0,25-1 кгс/см^2) ($\rho_{d\,max}$ - максимальная плотность сухого грунта).

Мощность консолидируемой (активной) зоны h_a устанавливают по разности общей высоты насыпи (ее рабочей отметки) и мощности пассивной зоны $h_п$:

$$h_a = H - h_п \quad , \qquad (5.5)$$

где H – высота насыпи, м (отсчет ведется от проектной отметки).

5.13. Для оценки величины доуплотнения слоев консолидируемой зоны выполняют расчет осадки.

Для этого выделяют в консолидируемой зоне расчетные слои грунта (рис.5.3) и устанавливают их мощность и показатели физико-механических свойств.

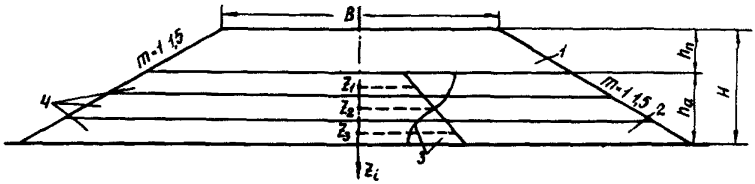

Рис.5.3. Расчетная схема для прогноза осадки: 1–неконсолидируемая (пассивная) зона насыпи $h_п$; 2–то же, консолидируемая (активная) h_a ; 3–нагрузка от веса грунта неконсолидируемой зоны и собственного веса грунта консолидируемой зоны; 4–расчетные слои; z_i – координата середины слоя

5.14. При сооружении насыпей из неоднородных по составу или состоянию грунтов величина конечной осадки определяется как сумма осадок нестабильных слоев в консолидируемой зоне, а время завершения ее интенсивной части – по наиболее неблагоприятному слою, исходя из условий увлажнения, дренирования, величины передаваемой на расчетный слой нагрузки и водопроницаемости грунта.

5.15. При использовании однородного грунта конечную осадку определяют путем суммирования осадок каждого расчетного слоя в консолидируемой зоне, а время осадки – также по наиболее неблагоприятному слою.

5.16. Расчетные слои в консолидируемой зоне насыпи устанавливают по условию однородности напряженно-деформированного состояния грунта. Для этого определяют нормальные напряжения:

на поверхности расчетного слоя, расположенного непосредственно под дорожной одеждой и переходным слоем ($h_{общ}$), - как распределенную нагрузку от их веса ($P = \gamma_w h_{общ}$);

на поверхности расчетного слоя, расположенного под неконсолидируемой зоной насыпи, - как распределенную нагрузку от веса всех остальных конструктивных слоев;

на поверхности последующих слоев - с учетом нагрузки от веса всех вышележащих слоев и веса дорожной одежды;

на подошве расчетного слоя - как сумму напряжений на поверхности слоя и нагрузки от собственного веса грунта расчетного слоя.

Для ориентировочных расчетов осадки расчетная нагрузка P для предварительно выделенных слоев может быть определена без учета изменения напряжений по высоте насыпи от веса вышележащих слоев по формуле

$$P = P_0 + \gamma_w z_i .$$

5.17. Для оценки степени однородности слоя на основе компрессионных зависимостей необходимо определить модули осадки, соответствующие максимальному и минимальному напряжениям в предварительно выделенном расчетном слое. Слой считается однородным, если найденные компрессионные параметры отличаются друг от друга не более чем на 10%.

5.18. Для расчета осадки грунта в консолидируемой зоне по результатам компрессионных испытаний для каждого расчетного слоя определяют модуль осадки грунта $e_{pzi} = \lambda_p \cdot 1000$ мм/м, где λ_p - относительная деформация, соответствующая расчетной нагрузке на данный слой (рис. 5.4).

Осадку грунта S (м) рассчитывают по формуле

$$S = 0{,}001 \sum_{1}^{n} e_{pzi} \cdot H_i , \qquad (5.6)$$

где e_{pzi} – модуль осадки грунта по компрессионной кривой, соответствующий расчетной нагрузке на глубине z_i для данного слоя, мм/м;

H_i – мощность расчетного слоя, м.

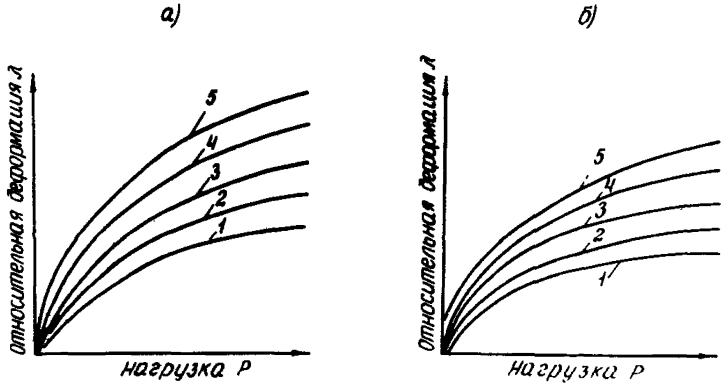

Рис.5.4. Зависимость относительной деформации образцов глинистых грунтов от нагрузки при коэффициенте увлажнения K_{w_1} (а) и $K_{w_2} < K_{w_1}$ (б): 1,2,3,4,5–при коэффициентах уплотнения соответственно $K_{y1} > K_{y2} > K_{y3} > K_{y4} > K_{y5}$

5.19. Для комплексной оценки времени достижения заданной относительной деформации и плотности грунта активной зоны следует учитывать, что в общем случае консолидация после мгновенной осадки имеет три стадии: дофильтрационную, фильтрационную и за счет ползучести скелета грунта (рис.5.5).

5.20. Расчетным слоем в насыпи для прогноза времени достижения заданной относительной деформации или завершения интенсивной части осадки назначается слой с наиболее невыгодными условиями для его консолидации, к которым относятся: наибольшие коэффициент увлажнения грунта, действующая нагрузка от веса

вышележащих слоев и удаление от дренирующего слоя.

5.21. В тех случаях, когда в результате предварительного анализа по указанным факторам сложно оценить расчетный слой для прогноза времени завершения

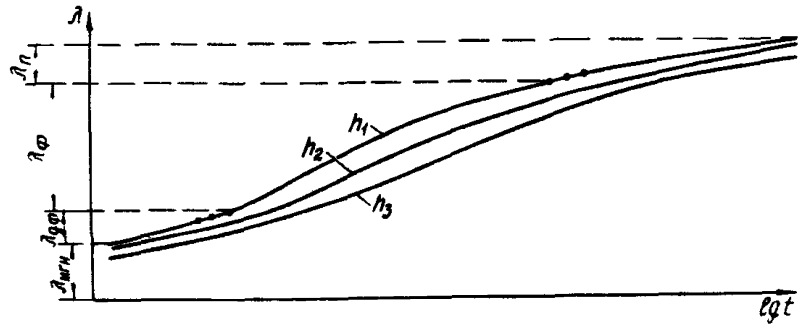

Рис.5.5. Зависимость изменения относительной деформации во времени образцов глинистых грунтов с различной высотой $h<h_2<h_3$

осадки, необходимо провести консолидационные испытания образцов с соответствующими плотностью и влажностью грунта для каждого слоя под нагрузкой, действующей на этот слой, в условиях компрессионного опыта (одномерной задачи).

5.22. По полученным опытным кривым консолидации для различных расчетных слоев насыпи оценивается характер протекания процесса консолидации.

В результате могут быть получены следующие варианты сочетания этапов консолидации на момент достижения заданной относительной деформации и предшествующих этапов для различных слоев:

1-й – $\lambda_i = \lambda_{мгн} + \lambda_{iqф}$;

2-и – $\lambda_i = \lambda_{мгн} + \lambda_{qф} + \lambda_{iф}$;

3-и – $\lambda_i = \lambda_{мгн} + \lambda_{qф} + \lambda_{in}$;

4-и – $\lambda_i = \lambda_{мгн} + \lambda_{qф} + \lambda_{ф} + \lambda_{in}$.

5.23. Если для слоев, наряду с остальными, будет получен 3-й или 4-й вариант кривой консолидации, то за расчетный принимается соответственно 3-й или 4-й вариант.

Если для слоев, наряду с остальными, будут получены и 3-й и 4-й варианты кривой консолидации, то оценивается интенсивность осадки по кривой консолидации на момент достижения заданной относительной деформации каждым слоем. В этом случае за расчетный принимается слой с наибольшей интенсивностью осадки, зависящей от вязкостных свойств грунта и величины действующей нагрузки.

Если для слоев будут получены 1-й и 2-й варианты кривой консолидации или только 2-й, то за расчетный следует принимать 2-й вариант. Скорость протекания консолидации в этом случае будет зависеть от водопроницаемости грунта, величины действующей нагрузки и пути фильтрации отжимаемой воды.

5.24. Путь фильтрации воды из расчетного слоя определяется в зависимости от условий фильтрации, предопределяемых расположением дренирующих слоев в насыпи.

Путь фильтрации воды для расчетного слоя равен его мощности, если слой находится между слоями дренирующего и недренирующего грунта, и половине его мощности, если он расположен между слоями дренирующего грунта.

В тех случаях, когда расчетный слой находится между слоями недренирующего грунта, путь фильтрации равен половине ширины большего основания слоя.

5.25. Заданную относительную деформацию $\lambda_{idф}$, достигаемую к моменту времени t, на стадии дофильтрационной консолидации определяют по формуле

$$\lambda_{idф} = \lambda_{мгн} + m_p \lg t \,, \qquad (5.7)$$

где $\lambda_{мгн}$ – мгновенная относительная осадка;

m_p – угловой коэффициент касательной к данной точке (на данный момент времени) кривой $\lambda = f(\lg t)$ в пределах логарифмического цикла;

$$m_p = \frac{\Delta\lambda}{\lg 10^{m+1} - \lg 10^{m}} \cdot \qquad (5.8)$$

5.26. На стадии фильтрационной консолидации время достижения заданной относительной деформации реального слоя $T_{\lambda i\varphi}$ определяется по формуле

$$T_{\lambda i\varphi} = t_{\lambda i\varphi}\left(\frac{H_\varphi}{h_\varphi}\right)^n, \qquad (5.9)$$

где $t_{\lambda i\varphi}$ – время достижения заданной относительной деформации образца, мин;

H_φ – путь фильтрации воды в расчетном слое, м;

h_φ – путь фильтрации воды из образца, см;

n – показатель степени консолидации (для глинистых грунтов с K_w =1,1÷1,4 ориентировочно может быть принят равным 1).

5.27. Прогноз осадки во времени, соответствующий последней стадии, осуществляют по формуле

$$\lambda_{in} = \lambda_\varphi + m''_p \lg \frac{t_{\lambda in}}{t_{\lambda\varphi}}, \qquad (5.10)$$

где λ_{in} – расчетная относительная деформация на стадии ползучести;

λ_φ – относительная деформация, соответствующая завершению фильтрационной консолидации;

m''_p – угловой коэффициент кривой консолидации;

$t_{\lambda in}$ – время достижения λ_{in};

$t_{\lambda\varphi}$ – время завершения фильтрационной консолидации.

5.28. Для оценки интенсивности (скорости) осадки

необходимо построить кривую осадки во времени реального слоя насыпи, используя формулы (5.7), (5.9) и (5.10).

Скорость консолидации на первой и последней стадиях следует определять соответственно по формулам:

$$V' = \frac{m_p}{2{,}3026\, t}; \qquad (5.11)$$

$$V'' = \frac{m_p}{2{,}3026 (t_n - t_\varphi)}; \qquad (5.12)$$

где $t < t_\varphi < t_n$.

Прогноз интенсивности уплотнения на стадии фильтрационной консолидации целесообразно осуществлять с помощью графиков; с этой целью кривую осадки реального слоя насыпи во времени необходимо перестроить в линейном масштабе $\lambda = f(t)$. На этот же график наносят график осадки с заданной скоростью, который представляет собой прямую. Абсцисса точки касания последней к кривой $\lambda = f(t)$ определяет момент времени, когда будет достигнута заданная скорость (интенсивность).

5.29. При оценке времени протекания процесса осадки следует учитывать, что дофильтрационная консолидация завершается, как правило, в период строительства; время завершения фильтрационной консолидации в зависимости от указанных выше факторов ориентировочно составляет от 6 мес до 1 года, а в ряде случаев – до 2–3 лет; консолидации ползучести – от 1 года до 5 лет и более.

5.30. Плотность сухого грунта ρ_d, достигаемую под действием той или иной нагрузки, т.е. на различных горизонтах, в заданный момент времени и коэффициент уплотнения K_y определяют по результатам компрессионных и консолидационных испытаний по формулам:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W};$$

$$K_y = \frac{\rho_d}{\rho_{d\,max}}.$$

5.31. Для предварительного прогноза осадки и времени ее завершения для суглинков тяжелых пылеватых и глин могут быть использованы данные соответственно табл.5.2 и 5.3.

Таблица 5.2

Коэффициент увлажнения K_w	Относительная деформация в консолидируемой зоне λ	Модуль осадки ℓ_p, мм/м	Начальный коэффициент уплотнения K_y	Нагрузка P, МПа	Ориентировочная мощность слоя над расчетным горизонтом $\bar{z}$, м
1,1-1,2	0,01-0,02	10-20	>0,90	<0,2	<10
1,1-1,2	0,02-0,05	20-50	<0,90	<0,2	<10
1,2-1,3	0,05-0,10	50-100	≅0,90	0,2-0,4	10-20
1,3	0,10-0,25	100-250	>0,90	0,2-0,4	10-20
1,3	0,20-0,25	200-250	<0,90	0,2-0,4	10-20

Таблица 5.3

Коэффициент увлажнения K_w	Нагрузка P, МПа	Ориентировочная мощность слоя над расчетным горизонтом $\bar{z}$, м	Время завершения интенсивной части осадки
1,1-1,2	0,1-0,3	5-15	Период строительства
1,2-1,9	До 0,2	До 10	До 6 мес
	0,2-0,4(0,6)	10-20(40)	8-10 мес
1,3-1,4	До 0,2	До 10	6-12 мес
	0,2-0,4(0,6)	10-20(40)	От 1 года до 2-3 лет

Примечания: 1. Значения начального коэффициента уплотнения K_y равны или близки к 0,9.
2. В скобках указаны максимальные значения.

5.32. Комплексная оценка устойчивости земляного полотна выемок должна включать: оценку общей и местной устойчивости откосов; оценку устойчивости к образованию выпора или выдавливания на уровне рабочей отметки или отметки отдельных ярусов в процессе разработки выемок; определение предельной крутизны откосов, которая может быть временно принята в процессе строительства в зависимости от сезона работ.

При выполнении оценочных расчетов необходимо учитывать влияние следующих факторов: наличия горизонтов (уровней) подземных вод (в том числе и верховодки в весенний период), попеременного промерзания-оттаивания и набухания-высушивания в поверхностных зонах на глубину не менее 2 м; глубины залегания слоев грунта с низкими прочностными характеристиками, их наклона к горизонту и т.п.

Оценку устойчивости однородных откосов выполняют по методу КЦПС (общая устойчивость) и по единичному элементу в пределах поверхностной зоны (местная устойчивость) при соответствующих расчетных значениях влажности и плотности грунта на установленных горизонтах. Для неоднородных по литологии и показателям физико-механических свойств грунтов откосов выемок оценку устойчивости выполняют комплексно, используя методы: КЦПС; горизонтальных сил для проверки возможности смещения отдельных блоков по слоям грунта с низкими прочностными характеристиками; равноустойчивого откоса; метод, основанный на оценке напряженного состояния в основании или на уровне отдельных ярусов при залегании на соответствующих горизонтах слабых глинистых грунтов, особенно дочетвертичного возраста. Крутизну откоса выемки, высоту ярусов, ширину полок устанавливают на основе анализа всех результатов оценочных расчетов. Для размещения водоотводных сооружений за пределами верхней бровки необходимо определять также ширину отсека обрушения по верху выемки.

6. Конструктивные мероприятия по обеспечению надежности насыпей из грунтов влажностью выше оптимальной

6.1. Конструктивные мероприятия по обеспечению надежности насыпей из грунтов влажностью выше оптимальной включают: устройство переходных слоев в верхней части насыпей для обеспечения расчетной прочности дорожной одежды; устройство прослоек в теле насыпей для повышения устойчивости откосов и снижения общей величины осадки, а также для обеспечения движения построечного транспорта; уположение откосов, в том числе создание откосов переменной крутизны; устройство берм в откосных частях.

6.2. Расчет толщины переходного слоя h_0 осуществляют по критерию сдвига в подстилающем грунте повышенной влажности согласно "Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа" ВСН 46-83 (Минтрансстрой. М., 1985). Переходный слой при этом принимают в качестве дополнительного слоя основания дорожной одежды. Он находится в пределах рабочего слоя насыпи или выемки.

6.3. Значения расчетной влажности $W_{расч}$ грунтов, уложенных в земляное полотно при $K_w > 1$, вычисляют по формуле

$$W_{расч} = (\bar{W} + \Delta)(1 + t_н \gamma), \qquad (6.1)$$

где $\bar{W}$ – среднее значение влажности грунта; принимается согласно табл.6 ВСН 46-83 с учетом табл.9 прил.2;

Δ – добавка, доли W_L, к среднему значению влажности, связанная с дополнительным зимним влагонакоплением в грунтах; принимается по табл.6.1;

$t_н$ – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от заданного уровня проектной надежности $K_н$ конструкции дорожной одежды (табл.6.2);

γ – коэффициент вариации влажности, равный 0,1.

Таблица 6.1

Грунт	Дорожно-климатическая зона	Добавка Δ к среднему значению влажности, доли W_h, при K_w		
		1,15	1,25	1,35
Супесь пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинок пылеватый	II_1	0,020	0,044	0,070
	II_2	0,015	0,037	0,055
	III	0,010	0,030	0,045
Суглинок легкий и тяжелый, глина	II_1	0,015	0,045	0,085
	II_2	0,011	0,035	0,065
	III	0,010	0,027	0,052

Таблица 6.2

$K_н$	0,60	0,85	0,90	0,95
$t_н$	0,26	1,06	1,32	1,71

6.4. Расчетные прочностные характеристики грунтов при расчетной влажности $W_{расч}$ принимают по табл. 10 прил.2 ВСН 46-83.

6.5. Для предварительного назначения толщины переходного слоя при расчетах используются ориентировочные данные, приведенные в табл.6.3.

6.6. Прослойки для повышения или обеспечения устойчивости откосов насыпей применяют в случае сооружения насыпей выше 12 м из суглинков тяжелых и пылеватых глин. Прослойки устраивают из песчаных или супесчаных грунтов.

Таблица 6.3

Дорожно-климатическая зона	Категория дороги	Толщина переходного слоя, см	
		Супесь пылеватая, суглинок	Суглинок тяжелый, глина
I_1	I–II	30/50	40/80
	III	25/30	30/50
II_2	I–II	25/40	30/50
	III	20/25	25/40
III	I–II	–/40	30/40
	III	–/20	20/30

Примечание. Над чертой приведены значения толщины слоя при $K_w = 1{,}25$, под чертой – при $K_w = 1{,}35$.

6.7. Расчет общей толщины армирующих прослоек, достаточной для обеспечения устойчивости откосов и стабильности земляного полотна, выполняют следующим образом.

Строят график зависимости $K = f(W)$ (см. рис. 5.1) при различных значениях крутизны откоса m_i насыпи высотой H. Если для расчетного значения m_i (при данной влажности грунта в выемке) не соблюдается условие $K = K_{тр}$, то следует запроектировать армирующие прослойки. Для этой цели на оси абсцисс этого же графика устанавливают значение влажности, которому соответствует при рассмотренных условиях значение $K_1 = K_{тр}$. По графику зависимости сцепления и угла внутреннего трения от влажности (см. рис. 5.1, б) находят расчетные значения $C_{тр}$ и $tg\,\varphi_{тр}$, которые соответствуют требуемому коэффициенту общей устойчивости откосов проверяемой конструкции насыпи.

Далее общую мощность армирующих прослоек Σh_i в теле насыпи высотой H и крутизной m_i устанавливают по рис. 6.1 или по формулам:

$$\Sigma h_i = \frac{C_{тр} - C_{гр}}{C_n - C_{гр}} H \; ; \qquad (6.2)$$

$$\Sigma h_i = \frac{tg\,\varphi_{тр} - tg\,\varphi_{гр}}{tg\,\varphi_n - tg\,\varphi_{гр}} H \; , \qquad (6.3)$$

где $tg\varphi_{гр}, C_{гр}, tg\varphi_{тр}, C_{тр}$ – расчетные и требуемые значения прочностных характеристик грунта при $K = K_{тр}$;

$tg\varphi_n, C_n$ – расчетные значения прочностных характеристик грунта прослоек;

$$\frac{C_{тр} - C_{гр}}{C_n - C_{гр}} = \beta_1 \; ;$$

$$\frac{tg\,\varphi_{тр} - tg\,\varphi_{гр}}{tg\,\varphi_n - tg\,\varphi_{гр}} = \beta_2$$

(см.рис.6.1).

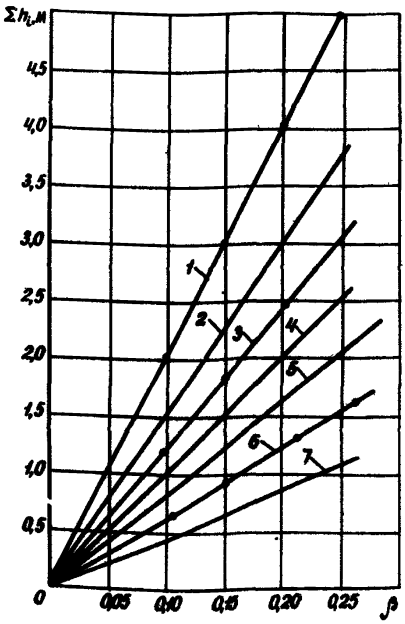

Рис.6.1. Зависимость суммарной толщины прослоек Σh_i от параметра β для насыпей различной высоты: 1–20 м; 2–15 м; 3–12 м; 4–10 м; 5–8 м; 6–6 м; 7–4 м

При устройстве слоев из супесчаных грунтов последовательно выполняют расчет по обеим формулам (6.2) и (6.3), а в качестве расчетных принимают бóльшие значения Σh_i. При использовании для прослоек песчаных грунтов для расчетов применяют формулу (6.3).

6.8. После определения расчетной суммарной толщины грунтовых армирующих прослоек устанавливают толщину отдельных слоев и их рациональное расположение в теле насыпи, используя метод КЦПС для многослойного откоса. При этом целесообразно применять ЭВМ и программы Союздорнии. Первоначальную толщину прослоек назначают 0,5–1,5 м, а расстояние между ними – 1–2 м.

Рациональное расположение прослоек в теле насыпи устанавливают на основе комплексных расчетов устойчивости, учитывая при этом изменение крутизны откоса и наличие берм.

Целесообразно назначать армирующие прослойки в нижней части насыпи. Толщина такой прослойки может быть определена следующим образом. На основе оценки общей устойчивости насыпи строится график зависимости коэффициента устойчивости от ее высоты при заданных допустимой влажности грунта и крутизне откоса. По графику определяют такую расчетную высоту $H_р$, при которой для указанных условий обеспечивается требование $K = K_{тр}$. Разность между расчетной и фактической высотой насыпи дает требуемую толщину прослойки в основании, которую располагают на 0,5–1 м выше уровня земли.

6.9. В целях усиления армирующих песчаных или супесчаных прослоек, а также исключения перемешивания их с грунтами повышенной влажности земляного полотна насыпи – тяжелыми суглинками и глинами – при коэффициенте их увлажнения 1,2 и более прослойки целесообразно устраивать в сочетании с геотекстильными

элементами. Геотекстильный материал размещают в основании грунтовых прослоек.

6.10. При назначении армирующих грунтовых прослоек и размещении их в активной зоне насыпи следует учитывать снижение общей величины осадки за счет уменьшения толщины расчетного слоя в активной зоне на толщину прослойки (см.разд.5).

6.11. Прослойки из песчаных и супесчаных грунтов могут выполнять только технологические функции – обеспечивать проезд построечного транспорта, предупреждать колееобразование и другие деформации от землеройно-транспортных машин. Толщину прослоек из суглинков тяжелых и глин при допустимых коэффициентах увлажнения назначают соответственно 0,5 и 0,3 м при условии их армирования геотекстильным материалом.

6.12. Необходимость устройства берм устанавливают расчетом по общей методике (см.разд.5). Расчетом обосновывают также расположение берм по высоте насыпи, их ширину и крутизну откосов разделяемых частей насыпи. Как правило, бермы целесообразно назначать в ее нижней, контрфорсной части в зависимости от рабочей отметки земляного полотна (рис.6.2).

При применении ЭВМ для массовых расчетов устойчивости получают зависимости $K_i=f(b)$ или $K_i=f(z_i)$ при заданных H_0 и m_i, где b и z_i – ширина бермы и горизонт ее расположения в конструкции; H_0 и m_i – высота и крутизна откоса между бермами. Для $K_i=K_{тр}$ определяют рациональную конфигурацию насыпи и допустимый коэффициент увлажнения.

При сооружении насыпи из глинистых грунтов дочетвертичного возраста расположение берм назначают также исходя из обеспечения местной устойчивости частей откосов между ними.

6.13. Для обеспечения местной устойчивости откосов насыпей их поверхность должна быть укреплена. В качестве основного способа укрепления следует исполь-

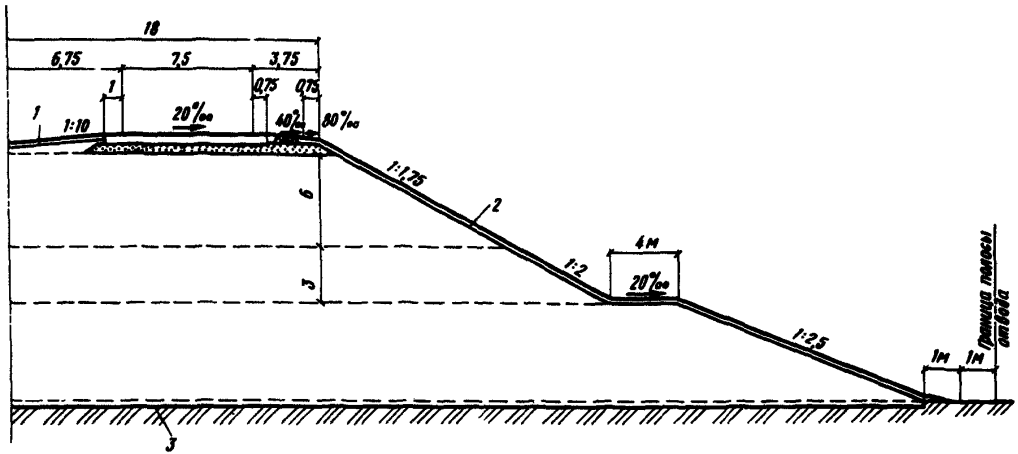

Рис.6.2. Конструкция насыпи с бермами: 1-растительный грунт (0,15 м); 2-засев трав по слою растительного грунта толщиной 0,15 м; 3-снимаемый растительный грунт

зовать гидропосев трав по растительному грунту толщиной не менее 0,2 м. При использовании глинистых грунтов дочетвертичного возраста следует устраивать защитные слои из непучинистых грунтов во II дорожно-климатической зоне и неусадочных - в III. Защитный слой устраивают толщиной от 0,3 до 1 м (в последнем случае для жирных глин дочетвертичного возраста). Для уменьшения толщины защитного слоя он может быть армирован геотекстильным материалом.

Укрепление гидропосевом трав в этом случае назначают по поверхности защитного слоя.

7. Особенности технологии и организации работ

7.1. При разработке технологии сооружения земляного полотна и выборе комплектов машин для рассматриваемых условий, наряду с требованиями основных нормативных документов по дорожному строительству, необходимо учитывать: наличие в источнике получения грунтов на различных горизонтах с различной степенью влажности от оптимальной до предельной, т.е. переувлажненных, удаляемых в большинстве случаев в кавальер; период разработки выемки и сооружения насыпи (сезон, условия работы в самом сезоне). При разработке технологии также устанавливают последовательность осуществления организационных, конструктивных и технологических мероприятий и опытным путем определяют эффективность предлагаемых в проекте технологий для фактических условий производства работ.

7.2. Организация разработки выемок из грунтов повышенной влажности и укладки их в насыпь должна включать два взаимоувязанных, но самостоятельных (с точки зрения технологии и механизации этих работ) процесса: сооружение земляного полотна и выполнение комплекса мероприятий, обеспечивающих его устойчивость и стабильность.

7.3. Выбор и назначение комплектов машин для выполнения основных земляных работ необходимо осуществлять на основе оптимизации плана перемещения грунта повышенной влажности, а также переувлажненного из выемок в насыпи или кавальеры с учетом: дорожно-климатической зоны строительства; сезона производства земляных работ; вида, состава и состояния грунта; необходимости выполнения специальных работ по его мелиорации; объемов земляных работ и характера их распределения по линейным и сосредоточенным объектам на конкретном участке строительства.

7.4. В проектах производства работ при использовании глинистых грунтов повышенной влажности с числом пластичности более 12 следует учитывать неизбежное снижение производительности землеройно-транспортных машин и возможности достижения норм плотности уплотняющей техникой в соответствии с табл.7.1-7.3.

7.5. Особенности технологии разработки выемок в грунтах влажностью выше оптимальной заключаются в следующем.

В период подготовительных работ, которые необходимо выполнять с опережением основных работ не менее чем на 3 мес в весенне-летний и 1-1,5 мес в осенне-зимний периоды, осуществляют строительство временных подъездных коммуникаций, временных водоотводных сооружений и дренажей несовершенного типа для перехвата подземных вод и осушения разрабатываемых горизонтов выемок.

Плодородный слой следует снимать только в весенне-летний период после оттаивания и схода снегового покрова с площадей, отводимых под земляное полотно насыпей и соответствующих ширине выемок поверху с учетом размещения водоотводных канав. Не следует снимать плодородный слой полностью со всей площади поверхности массива выемки или основания насыпи, чтобы не допустить дополнительного насыщения влагой за счет атмосферных осадков.

Таблица 7.1

Технологический процесс	Тип машины	Производительность[x] машин в зависимости от коэффициента увлажнения K_w			
		1,05	1,1	1,2	1,3
Подготовка дорожной полосы					
Снятие и перемещение плодородного слоя почвы на расстояние, м:					
до 80	Бульдозер на тракторе кл.тяги 10-15	0,95	0,90	0,80	0,65
300	Скрепер самоходный с ковшом вместимостью 8-10 м³	0,90	0,80	0,60	0,40
	Экскаватор с ковшом вместимостью 0,5-1 м³ и автомобиль-самосвал грузоподъемностью 8-12 т	0,95	0,90	0,75	0,60
Сооружение земляного полотна					
Разработка грунта в боковых резервах и мелких выемках с перемещением в насыпь высотой до 1,5 м на расстояние, м:					
до 80	Бульдозер на тракторе кл.тяги 10-15	0,95	0,85	0,75	0,60
800	Скрепер самоходный с ковшом вместимостью 8-10 м³	0,85	0,75	0,45	0,30

Продолжение табл.7.1

Технологический процесс	Тип машины	Производительность[x] машин в зависимости от коэффициента увлажнения Kw			
		1,05	1,1	1,2	1,3
Разработка грунта в выемках или притрассовых карьерах с перемещением в насыпь или кавальер на расстояние, м:					
300	Скрепер прицепной с ковшом вместимостью 4,5-8 м^3	0,95	0,80	0,60	0,40
600-1000	Скрепер самоходный с ковшом вместимостью 8-10 м^3	0,85	0,75	0,55	0,35
	Экскаватор с ковшом вместимостью 0,5-1м^3 и автомобиль-самосвал грузоподъемностью 10-12 т	0,90	0,85	0,68	0,50
свыше 1000	Экскаватор с ковшом вместимостью 0,5-1 м^3 и автомобиль-самосвал грузоподъемностью 8-12 т	0,90	0,85	0,70	0,55
Рыхление грунтов в выемках в зимнее время	Рыхлитель на тракторе кл.тяги 15-25	0,95	0,85	0,70	0,50
Устройство и содержание подъездных дорог и съездов	Автогрейдер средний, тяжелый	0,95	0,85	0,65	0,35

Разравнивание грунта в насыпях при послойной отсыпке	Автогрейдер средний, тяжелый	0,95	0,85	0,60	0,30
	Бульдозер кл.тяги 15	0,95	0,90	0,80	0,65
Уплотнение грунтов в насыпях земляного полотна слоем, см:					
20-25	Каток прицепной и полуприцепной на пневматических шинах массой 25 т	0,95	0,80	0,70	0,60
35-40	Каток самоходный с кулачковым вибровальцом массой 22 т	0,95	0,85	0,80	0,70
35-40 (в зимних условиях)	То же, с решетчатым вибровальцом	0,95	0,80	0,75	0,65
Отделочные и укрепительные работы, планировка поверхности земляного полотна и дна боковых и притрассовых резервов	Автогрейдер средний, тяжелый	0,95	0,85	0,60	0,30

x) Производительность машин указана в долях производительности при коэффициенте увлажнения грунта $K_w = 1$.

Таблица 7.2

Тип машины	Расстояние перемещения, м	Производительность машин, тыс.м³ в смену, в зависимости от коэффициента увлажнения K_w				
		1,0	1,05	1,1	1,2	1,3
Бульдозер гусеничный с отвалом:						
поворотным, кл.тяги 10	20	0,460	0,4370	0,4140	0,3680	0,2990
	40	0,160	0,1520	0,1440	0,1280	0,1040
	60	0,142	0,1349	0,1278	0,1136	0,0923
	80	0,130	0,1235	0,1170	0,1040	0,0845
неповоротным, кл.тяги 10	20	0,260	0,2470	0,2340	0,2080	0,1690
	40	0,140	0,1330	0,1260	0,1120	0,0910
	60	0,096	0,0912	0,0864	0,0768	0,0624
	80	0,074	0,0703	0,0666	0,0592	0,0481
неповоротным, кл.тяги 15	20	0,820	0,7790	0,7380	0,6560	0,5330
	40	0,480	0,4560	0,4320	0,3840	0,3120
	60	0,304	0,2888	0,2736	0,2432	0,1976
	80	0,230	0,2185	0,2070	0,1840	0,1495
Скрепер прицепной с ковшом вместимостью, м³:						
6	200	0,22	0,2090	0,176	0,132	0,088
	300	0,17	0,1615	0,136	0,102	0,069
10	300	0,27	0,2565	0,216	0,162	0,108
	400	0,23	0,2185	0,184	0,138	0,092
15	400	0,42	0,3990	0,336	0,252	–
	500	0,36	0,3420	0,288	0,216	–
	600	0,31	0,2945	0,248	0,186	–

Продолжение табл.7.2

Тип машины	Расстояние перемещения, м	Производительность машин, тыс.м^3 в смену, в зависимости от коэффициента увлажнения K_w				
		1,0	1,05	1,1	1,2	1,3
Скрепер самоходный с ковшом вместимостью, м^3:						
8 (типа Д-357II)	400	0,35	0,2975	0,2625	0,1575	0,1050
	600	0,30	0,2550	0,2250	0,1350	0,0900
	800	0,24	0,2040	0,1800	0,1080	0,0720
15 (типа Д3-115)	600	0,54	0,4590	0,4050	0,2970	-
	800	0,45	0,3825	0,3375	0,2475	-
	1000	0,41	0,3485	0,3075	0,2255	-
	1200	0,37	0,3145	0,2775	0,2035	-
Экскаватор с ковшом вместимостью 1,25 м^3 (Э-1252) и автомобиль-самосвал грузоподъемностью 12 т (КрАЗ-256Б)	1000	1,26	1,1340	1,0710	0,8820	0,6930
	2000	1,26	1,1340	1,0710	0,8820	0,6930
	4000	1,26	1,1340	1,0710	0,8820	0,6930
	6000	1,26	1,1340	1,0710	0,8820	0,6930
Экскаватор с ковшом вместимостью 1,6 м^3 (Э-1602) и автомобиль-самосвал грузоподъемностью 12 т (КрАЗ-256Б)	1000	1,40	1,2600	1,1900	0,9800	0,7700
	2000	1,40	1,2600	1,1900	0,9800	0,7700
	4000	1,40	1,2600	1,1900	0,9800	0,7700
	6000	1,40	1,2600	1,1900	0,9800	0,7700

Таблица 7.3

Тип машины	Тип грунта	Толщина слоя, см	Производительность машин, тыс.м^3 в смену, в зависимости от K_w				
			1	1,05	1,1	1,2	1,3
Каток прицепной и полуприцепной на пневматических шинах массой 25 т	Связный	20–25	0,9–1,0	0,95–1,14	0,80–0,96	0,70–0,84	0,60–0,72
	Несвязный	20–30	1,0–1,2	0,85–0,95	0,72–0,80	0,63–0,70	0,54–0,60
Каток прицепной кулачковый массой 9–18 т	Комковатый, связный	15–20	0,8–1,0	0,76–0,95	0,68–0,85	0,64–0,80	0,56–0,70
Каток прицепной решетчатый массой 25 т	То же	30–40	1,2–1,4	1,15–1,33	1,00–1,10	–	–

7.6. Снятие плодородного слоя почвы выполняют бульдозерами класса тяги 10–15. В тех случаях, когда проектом производства работ предусматривается вывоз плодородного слоя почвы для временного хранения или использования в сельском хозяйстве, рекомендуется применять экскаваторы с ковшом вместимостью 0,65 м^3 либо фронтальные погрузчики грузоподъемностью 2 т с автомобилями-самосвалами грузоподъемностью 10 т.

7.7. Технологию разработки выемки выбирают в зависимости от ее рабочей отметки, степени обводнения, наличия горизонтов подземных вод и характера их выклинивания в откосных частях. При наличии ярко выраженных уровней подземных вод постоянного действия и запроектированных в связи с этим траншейных дренажей разработка глубоких выемок производится поярусно. Причем разработку нижних ярусов следует начинать только после устройства дренажных конструкций всех типов и выполнения комплекса мероприятий по обеспечению местной устойчивости откосов.

7.8. Неглубокие, но обводненные или мокрые выемки необходимо разрабатывать после устройства дренажей для понижения горизонта подземных вод и осушения грунта в выемке.

7.9. При разработке выемок применяется преимущественно технология продольной транспортировки грунта в насыпи или кавальеры. Землеройно-транспортную технику следует выбирать в зависимости от установленных проектом расстояний транспортирования грунта, характера распределения грунтов повышенной влажности и переувлажненных по глубине выемки, сезона производства работ.

7.10. При разработке в выемках глинистых грунтов с влажностью выше оптимальной применяются известные типовые технологические схемы, предусматривающие использование прицепных и самоходных скреперов, экскаваторов с ковшом вместимостью 1,25 (Э-1252),

1,6 (Э-1602) и 2,5 м^3 (Э-2503) и автомобилей-самосвалов грузоподъемностью соответственно 6–12 (КрАЗ-256Б), 10 ("Татра") и 18 т (типа БелАЗ).

7.11. В зависимости от глубины залегания глинистых грунтов с влажностью выше оптимальной или предельной, а также дальности и назначения объекта для транспортировки грунта (насыпь, кавальер) в технологических схемах может быть предусмотрено использование либо одной из основных машин, либо нескольких в комплексе. Например, до отметки залегания грунтов повышенной влажности применяются скреперы, а далее, когда их работа становится неэффективной, – экскаваторы в комплексе с автомобилями-самосвалами.

7.12. Для сооружения земляного полотна насыпей из грунтов с допустимым коэффициентом увлажнения применяют типовые технологические схемы производства земляных работ, используя при этом те же машины, что и при разработке выемок. Технологические схемы включают следующие операции: перемещение грунта из источника его получения в насыпь, его разравнивание, уплотнение и планировку. Дополнительными являются операции по устройству переходного, конструктивных, технологических и защитных слоев на поверхности откосов и конструкций укрепления.

7.13. Перед укладкой геотекстильных прослоек подстилающий их глинистый грунт должен быть уплотнен и тщательно спланирован в продольном и поперечном направлениях. Не допускаются углубления в грунте, способствующие аккумуляции воды. После уплотнения и планировки грунта раскатывают рулоны геотекстиля с перекрытием полос внахлест на 10–15 см. Геотекстильный материал после укладки должен плотно прилегать к грунтовой поверхности и полностью соответствовать продольному и поперечному профилям земляного полотна.

Отсыпку слоев дренирующего или супесчаного грун-

та осуществляют по схеме "от себя". Разравнивание выполняют бульдозерами, уплотнение – виброкатками на всю толщину слоя. После уплотнения конструктивные или технологические слои планируют автогрейдером.

7.14. При работе в летний или весенне-осенний период, в сухую, солнечную и ветреную погоду во II и в большинстве случаев в III дорожно-климатических зонах необходимо предусматривать радиационное просушивание грунта перед его укладкой в насыпь, а также в слоях насыпи. С этой целью выполняют многократное (например, через каждые 2–3 ч или другие промежутки времени, устанавливаемые опытным путем) рыхление грунта плугом или рыхлителем с последующим распределением и уплотнением.

7.15. Машины для уплотнения, а также технологические параметры уплотняемых слоев грунта следует выбирать по табл.7.4.

Глинистые грунты с влажностью выше оптимальной следует уплотнять захватками 200–350 м, используя для этой цели сначала легкие катки или бульдозеры для прикатки (при их движении на первой передаче), а затем тяжелые массой 25 т. При уплотнении комковатых глинистых грунтов рекомендуется принять комплект машин, состоящий из кулачкового или решетчатого виброкатка и катка на пневматических шинах. Для достижения требуемой однородности уплотнения слоя из глинистых комковатых грунтов следует после уплотнения, подсушки и планировки производить его рыхление с помощью рыхлителей или специальных рабочих органов на автогрейдере, а затем повторить все технологические операции по разравниванию и уплотнению грунта. При наличии трамбующих машин их следует использовать в комплекте машин для уплотнения комковатых грунтов.

7.16. Необходимо учитывать, что в зависимости от

Таблица 7.4

Каток	Супесь легкая и пылеватая		Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий и легкий пылеватый		Суглинок тяжелый и тяжелый пылеватый, глина	
	$K_y=0,95$; $w=1,35w_0$	$K_y=0,9$ $w=1,6w_0$	$K_y=0,95$; $w=(1,2\div1,3)w_0$	$K_y=0,9$; $w=(1,4\div1,5)w_0$	$K_y=0,95$; $w=(1,1\div1,2)w_0$	$K_y=0,9$; $w=(1,2\div1,3)w_0$
Вибрационный прицепной массой, т:						
8	6–8 / 40–45	4–6 / 45–50	4–6 / 25–30	3–6 / 30–32	4–6 / 20–25	–
12	6–8 / 50–60	4–6 / 60–80	6–8 / 35–40	4–6 / 35–40	6–8 / 30–35	–
Вибрационный самоходный массой 22 т с вибровальцом:						
гладким	6–8 / 50–60	4–6 / 60–80	6–8 / 35–40	4–6 / 35–40	6–8 / 30–35	–
кулачковым	–	–	6–8 / 35–40	3–6 / 35–40	6–8 / 30–35	4–6 / 35–40
решетчатым	6–8 / 50–60	4–6 / 60–80	–	–	–	–
На пневматических шинах	10–12 / 30–35	6–10 / 30–35	12–16 / 25–30	10–16 / 20–25	12–20 / 20–23	12–16 / 20

Примечания: 1. Над чертой приведено число проходов катка, под чертой – толщина уплотняемого слоя, см.

2. Скорость катков при первых двух проходах следующая: вибрационных – 1–1,5 км/ч, на пневматических шинах – 2–2,5 км/ч; при последующих проходах – соответственно 2–3 и 5–8 км/ч.

3. Число проходов, скорость движения катков и толщина уплотняемого слоя уточняются в зависимости от вида и влажности грунта и требуемой плотности при пробном уплотнении.

степени влажности грунта при уплотнении тяжелых суглинков и глин могут быть достигнуты следующие значения плотности (табл.7.5).

Таблица 7.5

K_w	K_y
1-1,05	1,0-0,98
1,10-1,20	0,95
1,20-1,25	0,94-0,92
1,25-1,35	0,92-0,88

По данным стандартного уплотнения $K_y=f(K_w)$ и фактически установленной влажности грунта в источнике его получения следует предварительно определить максимально возможную достигаемую степень уплотнения K_y и принять на основе этих данных соответствующее решение о целесообразности использования грунта повышенной влажности на данном горизонте отсыпки.

7.17. При сооружении земляного полотна в зимнее время, если это предусмотрено проектом, уплотнение необходимо производить до начала смерзания грунта. При этом следует принимать во внимание, что промерзание верхней части уплотняемого слоя на 1 см резко снижает эффективность работы катка, а в некоторых случаях практически исключает возможность уплотнения. По этой причине при сооружении земляного полотна в зимний период целесообразно предусматривать применение решетчатых катков, а также рыхлителей для разрушения образующегося мерзлого слоя.

Длину технологической захватки необходимо принимать из условия обеспечения уплотнения грунта в талом состоянии.

При использовании вибрационных катков следует учитывать, что работа по замерзшему слою не допускается.

8. Способы осушения глинистых грунтов повышенной влажности

8.1. В тех случаях, когда влажность глинистых грунтов в источнике их получения превышает допустимую, для их осушения рекомендуется применять следующие способы: естественное просушивание грунта в летний и осенний периоды; осушение грунта неактивными добавками; осушение грунта активными добавками, в том числе специальными химическими соединениями; использование конструктивных решений.

Выбор способа осушения осуществляют в зависимости от конкретных климатических условий, сезона строительства, обеспечения соответствующими добавками, экономических и технологических факторов.

8.2. Возможность естественного (радиационного) просушивания грунта устанавливают непосредственно при разработке грунтов повышенной влажности в выемках и устройстве земляного полотна насыпей. Если климатические условия (температура, ветер, отсутствие атмосферных осадков) являются стабильными, то решение о подсушке грунта на конкретном участке принимается производителем работ.

Естественное подсушивание включает: подсушивание грунта в забое, например при работе экскаватора в отвал, и создание запаса подсушенного грунта перед его погрузкой в автотранспорт; распределение грунта тонкими слоями (толщиной не более 20 см); устройство технологических перерывов между укладкой, распределением грунта и его уплотнением.

При естественном подсушивании грунта в технологический цикл следует включать разработку грунта выемок экскаваторами с его погрузкой в автомобильный транспорт.

8.3. Для осушения грунта неактивными добавками применяют топливные золы, шлаки, отходы горнорудной промышленности. Влажность таких добавок W_g должна быть меньше оптимальной влажности W_0 получаемой смеси с используемым грунтом.

Требуемое отношение массы сухих добавок к массе влажного грунта n определяют по формуле

$$n = K_c = \frac{(W_0 - W_g)(W_e + 1)}{(W_e - 1)(W_g + 1)}, \qquad (8.1)$$

где K_c – коэффициент, учитывающий однородность смеси; для песков и легких супесей K_c =1,1, пылеватых и тяжелых пылеватых супесей, легких суглинков K_c = 1,3, тяжелых суглинков и глин K_c = 1,5.

8.4. Осушение грунтов повышенной влажности сухими материалами (добавками) рекомендуется осуществлять смешением на месте с отсыпкой грунта (влажного и сухого) из двух источников или чередовании е м слоев грунта повышенной влажности и добавки. Общая толщина таких слоев (суммарная мощность) устанавливается по формуле (8.1). При этом толщина сухих слоев должна быть не менее 0,3 м при укладке на грунты с коэффициентом увлажнения 1,1–1,15 и не менее 0,5м – с коэффициентом увлажнения 1,25–1,3.

8.5. При осушении грунта активными добавками (негашеной известью, цементом, золой уноса, гипсом, безводной кристаллической фосфорной кислотой и др.) следует учитывать, что наибольший эффект дает метод обработки ими грунта при сооружении насыпей из пылеватых песков, супесей, легких суглинков.

Указанный метод следует использовать прежде всего для осушения грунта верхней части земляного полотна.

Грунты с кислой реакцией (pH $\leqslant$ 6) или с большой

емкостью поглощения (более 20–30 мг/экв на 100 г) целесообразно обрабатывать негашеной известью, золами уноса, шлакоцементами и фосфатами. При этом в грунтах, обрабатываемых золами уноса, содержание легкорастворимых солей не должно превышать 3% (массы грунта) при сульфатном и 5% при хлоридном засолении.

8.6. Для обработки грунта повышенной влажности рекомендуется применять молотую гидрофобизированную негашеную известь с содержанием CaO и MgO не менее 50–60% (ГОСТ 9179–77). Перед употреблением следует проверять ее активность, особенно после длительного хранения (30–40 сут после помола). Негашеную известь с содержанием CaO и MgO менее 25–30% применять экономически нецелесообразно.

При осушении грунта цементами наибольший эффект дают цементы с повышенным содержанием CaO. Применение цементов марок ниже 50 не допускается.

При обработке грунта активными золами уноса последние должны иметь удельную поверхность не менее 1600 $см^2/г$ и количество свободной окиси кальция не менее 8%.

8.7. Требуемое количество негашеной извести или золы уноса (в пересчете на свободные CaO и MgO) D(%) следует определять в зависимости от содержания чистых CaO и MgO и активности материала по формуле

$$D=\frac{A\cdot 100}{Bk}, \qquad (8.2)$$

где A – требуемое количество $CaO+MgO$ (табл.8.1);

B – содержание свободных $CaO+MgO$ в извести или золе уноса, %;

k – коэффициент, равный для зол уноса 1,2, для сланцевых зол – 1,5, для извести – 1.

8.8. Количество портландцемента марки 300 принимают для легких суглинков и песков при коэффициенте

Таблица 8.1

Грунт	Количество активных зол уноса, извести, % (в пересчете на свободные $CaO+MgO$), при K_w		
	1,2	1,4	1,6
Песок пылеватый, супесь	–	0,5	1,0
Суглинок легкий	–	0,5	1,5
Суглинок тяжелый	1,0	2,0	4,0
Глина	1,5	3,0	–

увлажнения $K_w > 1,2 \div 1,5$ – 2,5%; для суглинков легких при $K_w = 1,2 \div 1,5$ – 0,5–3%; для суглинков тяжелых и пылеватых при $K_w = 1,2 \div 1,5$ – 1–5%; для глин при $K_w = 1,2 \div 1,35$ – 3–5%. В случае использования цементов низких марок их количество должно быть соответственно увеличено в 1,1–1,3 раза.

8.9. Для осушения грунтов с влажностью на 4–6% выше оптимальной рекомендуется применять гипс строительный, отвечающий требованиям ГОСТ 125–79.

8.10. Для улучшения показателей физико-механических свойств, определяющих липкость, а также для достижения требуемой плотности глинистых грунтов повышенной влажности и переувлажненных, рекомендуется применять химические добавки, имеющие кислую среду (pH ≤7): контакт Петрова; отходы, содержащие хлорное железо, и др. (*табл.*8.1–8.4). *Использование таких* добавок наиболее эффективно в грунтах с преобладанием монтмориллонита, гидрослюды и каолинита с числом пластичности 7–30.

8.11. Химические добавки при температуре 50 – 80°С вводятся из автогудронатора или другой емкости через распределительное устройство. Одновременно с введением добавки грунт перемешивают за 4 прохода дисковой бороны, перемещаемой трактором на гусеничном

Таблица 8.2

Добавка	Характеристика добавки	Нормативный документ
Сульфокислота на нефтяной основе (контакт Петрова (КП))	Состав: сульфокислота – 55%; минеральное масло – не более 3,7%; зола – не более 0,09%; серная кислота – не более 1,12%; $0 < pH < 8$	ОСТ 38-01116-76
Кислота соляная техническая (КСТ)	Отход производства силиконовых каучуков. Содержание основного вещества 24,5%. Оптовая цена 5 руб. за 1 т; $0,1 \leq pH < 8$	ТУ 38-103-141-72
Кислота уксусная (КУ)	Отход производства аспирина. Содержание основного вещества 75%. Оптовая цена 236 руб. за 1 т; $2,4 \leq pH < 8$	ТУ 6-14-607-71
Кислота серная отработанная (КСО)	Отход производства органических кубовых красителей. Содержание основного вещества 73-77%. Оптовая цена 7,5 руб. за 1 т; $1,5 \leq pH < 8$	ТУ 6-14-869-72
	Отход производства хлора, водорода и органических соединений. Содержание основного вещества не менее 72%. Оптовая цена 72 руб. за 1 т; $1,5 \leq pH < 8$	ТУ 6-01-208-68
Хлорное железо ($FeCl_3$)	Отход травления фильгированного гетинакса в радиоэлектронной промышленности. Концентрация не менее 60 г/л; $1,0 \leq pH < 8$	–

Хлорная медь ($CuCl_2$)	Отход травления фильгированного гетинакса в радиоэлектронной промышленности. Концентрация не менее 30 г/л; $0,5 \leqslant pH < 8$	–
Кислая вода (КВ)	Отход производства уксусного ангидрида в химической промышленности. Состав: ацетон – до 0,5%; уксусная кислота – до 5%. pH=3	–
Надемольная вода (НВ)	Отход производства фенольно-формальдегидных смол. Состав: фенол – 6%; формальдегид – до 3%; метанол – до 15%; pH = 4	–
Жидкий кубовый остаток (ЖКО)	Отход производства уксусного ангидрида. Состав: ацетон – 0,5– 50%; уксусная кислота – 5 – 55%; полимеры кетена – до 12%; pH = 3	–
Кислая промывная вода (КПВ)	Отход производства ацетатов целлюлозы в химической промышленности; pH = 2,5÷3,0	–

Таблица 8.3

Грунт	Химическая добавка	Содержание добавки, % массы смеси, в грунте	
		повышенной влажности	переувлажненном
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий и легкий пылеватый	КП, КСТ	0,5–1,0	2,0–3,0
	$CuCl_2$	0,5–1,0	2,0–3,0
	$FeCl_3$, КСО	0,5–1,5	2,5–3,5
	КВ, НВ, ЖКО, КПВ	1,0–2,0	2,5–5,0
Суглинок тяжелый и тяжелый пылеватый, глина	КП, КСТ	1,0–1,5	2,5–3,5
	$CuCl_2$	1,0–1,5	2,5–3,5
	$FeCl_3$, КСО	1,0–2,0	3,0–3,5
	КВ, НВ, ЖКО, КПВ	2,0–3,0	3,0–5,0

ходу. Поверхность грунта планируют с поперечным уклоном 40–60‰ для стока вод. Грунт выдерживается в неуплотненном состоянии 5–7 сут.

8.12. Уплотнение обработанного грунта производят катками на пневматических шинах массой 10–15 т в два этапа: сначала за 3–5 проходов с пониженным до 0,2–0,3 МПа давлением в шинах, затем – 3–5 проходов с давлением в шинах более 0,5 МПа. Толщину укладываемого слоя и требуемое число проходов катка определяют пробной укаткой.

Схема движения катков – от оси земляного полотна к бровкам с перекрытием следа на 20–30 см.

8.13. Контроль введения химических добавок осуществляют с помощью универсальной индикаторной бумаги (ТУ 6-09-1181-76) или pH-метра. Места измерений определяют случайным образом, по всей ширине земля-

Таблица 8.4

Физико-механические свойства грунта	Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий и легкий пылеватый		Суглинок тяжелый и тяжелый пылеватый, глина	
	обработанные добавкой, % массы смеси			
	(1÷3) КП	(1÷3) $FeCl_3$	(1÷3) КП	(1÷3) $FeCl_3$
Предел текучести W_L, %	14–27	15–30	24–35	28–43
Число пластичности J_p	2–7	2–11	⩾10	⩾11
Оптимальная влажность W_0, %	8–16	10–19	12–25	16–30
Плотность сухого грунта ρ_d, г/см³	1,68–1,85	1,6–1,7	1,60–1,74	1,22–1,65
Угол внутреннего трения φ, град	25–39	27–37	15–25	12–24
Сцепление C, МПа	0,01–0,04	0,01–0,035	0,035–0,02	0,03–0,04
Коэффициенты вариации:				
по углу внутреннего трения C_v^{φ}	0,127–0,166	0,130–0,215	0,088–0,133	0,11–0,19
по сцеплению C_v^c	0,144–0,224	0,156–0,230	0,111–0,190	0,16–0,21

Примечание. Однородность оценивается коэффициентами вариации по углу внутреннего трения (C_v^{φ}) и сцеплению (C_v^c).

ного полотна, из расчета 10 измерений на 100 м. Температуру вводимых добавок контролируют термометром.

8.14. Работы по осушению грунтов активными добавками, в том числе и специальными химическими, допускается производить до установления устойчивых отрицательных температур наружного воздуха. В проекте производства работ необходимо отразить принятый метод осушения грунта добавками, технологию производства работ и основные машины, используемые на операциях по введению добавок, распределению грунта и уплотнению сформированных смесей.

8.15. Для осушения и ускорения консолидации насыпей из грунтов повышенной влажности при соответствующем технико-экономическом обосновании можно устраивать горизонтальные прослойки или вертикальные дрены, а также комбинированные конструкции из песка с коэффициентом фильтрации не менее 0,5 м/сут. Толщины горизонтальных песчаных прослоек по условию поглощения воды из грунтов повышенной влажности, а также с учетом проходимости по ним построечного транспорта приведены в табл.8.5.

8.16. Для ускорения процесса осушения грунта с повышенной влажностью или переувлажненного за счет устройства горизонтальных дренирующих прослоек их следует чередовать со слоями переувлажненных грунтов, ориентировочные значения толщины которых приведены в табл.8.6.

8.17. Для осушения грунта в теле насыпи, помимо использования горизонтальных песчаных дрен, в особых случаях, установленных проектом с учетом конкретных условий, могут быть использованы вертикальные песчаные дрены отдельно или в сочетании с горизонтальными дренирующими слоями.

8.18. При конструировании земляного полотна из грунтов повышенной влажности с вертикальными песчаными дренами наряду с определением геометрических

Таблица 8.5

Грунт	Толщина песчаной прослойки м, при коэффициенте увлажнения грунта K_w			
	1,2	1,4	1,6	1,8
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий	0,2/0,3	0,4/0,5	0,5/0,6	0,6/0,7
Суглинок пылеватый, тяжелый	0,3/0,5	0,4/0,5	0,6/0,7	0,7/-
Глина песчанистая	0,3/0,6	0,4/0,6	0,6/0,8	0,8/-
Глина жирная	0,3/0,6	0,5/0,6	0,7/-	0,8/-

Примечания: 1. Над чертой даны значения для гусеничных и легких колесных катков, под чертой – для тяжелых колесных массой более 6–7 т.

2. При переувлажненных грунтах (K_w=1,6÷1,8) толщину прослойки устанавливают опытным путем. При этом в случае образования колеи глубиной более 10–12 см необходимо предусматривать прослойки из геотекстильных материалов.

Таблица 8.6

Грунт	Толщина слоя переувлажненного грунта, м, при коэффициенте увлажнения K_w		
	1,2–1,4	1,4–1,6	1,6–1,8
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий	2,0–1,8	1,8–1,4	1,4–1,2
Суглинок пылеватый,тяжелый	1,5–1,3	1,3–1,1	1,1–0,8
Глина песчанистая, жирная	1,2–0,8	1,0–0,8	До 0,8

характеристик (высота насыпи, крутизна откосов, уклоны поверхности земляного полотна, очертания и размеры боковых водоотводных канав и берм) устанавливают места расположения в теле насыпи вертикальных дрен и горизонтальных дренирующих слоев, размеры дрен и расстояния между ними. При этом учитывают степень влажности и физико-механические свойства

грунтов, возможность их отсыпки и уплотнения по типовой (традиционной) или специально разработанной для этой цели технологии.

8.19. В земляном полотне из связных грунтов повышенной влажности устраивают вертикальные песчаные дрены в виде сплошного цилиндра и цилиндрической трубы (рис.8.1).

На дорогах с двумя полосами движения вертикальные дрены устанавливают под крайними полосами наката и вблизи оси дороги по трем параллельным продольным рядам в шахматном порядке (рис.8.2). Диаметр дрен принимают 0,4–0,6 м в зависимости от размера рабочего органа буровых установок, выпускаемых промышленностью. Высота дрен зависит от высоты насыпи, толщины дорожной одежды и нижнего дренирующего слоя.

Расстояние между дренами в насыпи из связных грунтов 1,5–3 м. Оптимальное расстояние следует устанавливать расчетом на основе технико-экономического анализа конкурентоспособных вариантов.

Вертикальные дрены рекомендуется устраивать из однородного песка средней крупности или мелкого.

8.20. Для обеспечения надлежащего стока воды из вертикальных дрен в нижний горизонтальный дренирующий слой последний должен иметь толщину $h \geq h_{кап}$ (где $h_{кап}$ – высота капиллярного поднятия влаги в дренирующем материале), но не менее 0,5 м, поперечный уклон – 40-50‰.

Для отвода воды от земляного полотна следует предусмотреть устройство боковых канав.

8.21. При назначении вертикальных песчаных дрен следует учитывать, что начальная влажность грунта существенно влияет на интенсивность его осушения. Наиболее эффективно работают вертикальные песчаные дрены при влажности связного грунта с коэффициентом увлажнения 1,2–1,6.

Следует учитывать, что при коэффициенте увлажне-

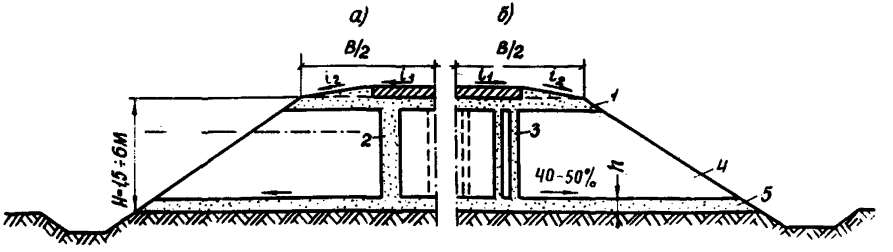

Рис.8.1. Схема конструкции земляного полотна с вертикальными песчаными дренами в виде сплошного цилиндра (а) и цилиндрической трубы (б): 1-верхний дренирующий слой; 2-песчаная дрена; 3-дрена с кольцевым сечением; 4-грунт земляного полотна; 5-нижний дренирующий слой; i_1 =20‰ ; i_2 =40‰

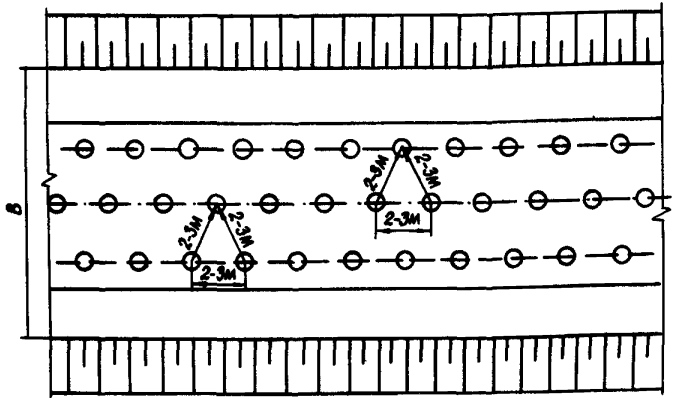

Рис.8.2. Схема расположения вертикальных песчаных дрен в земляном полотне двухполосных дорог

ния, равном и более 1,4, весьма затруднительно производить окончательное уплотнение грунта в процессе возведения земляного полотна, что не позволяет сразу после его сооружения устраивать дорожную одежду. Необходимо сделать технологический перерыв, в течение которого грунт осушается вертикальными песчаными дренами до допустимого значения влажности.

Оптимальную продолжительность технологическо г о перерыва определяют по номограмме рис.8.3 или формуле

$$I_{Uy} = \frac{W(x,t) - W_к}{W_н - W_к} = e^{-\beta\rho t} + 2\beta\sigma \sum_{m=1}^{4} \frac{\left[e^{-\beta\rho\sigma t} - e^{-\left(\frac{\pi(2m-1)}{2}\right)^2 \rho t}\right]}{\left(\frac{\pi(2m-1)}{2}\right)\left[\left(\frac{\pi(2m-1)}{2}\right)^2 - \beta\sigma\right]} \sin\frac{\pi(2m-1)x}{2L}, \quad (8.3)$$

где $W(x,t)$ – влажность грунта в любой точке на расстоянии x от центра междренной зоны в момент t;

$W_к$ – конечная влажность грунта, равная влажности на границе раскатывания $W_р$;

$W_н$ – начальная влажность грунта;

β – безразмерный коэффициент, зависящий от вида грунта;

$$\sigma = \frac{\rho_в}{\rho_d}; \quad \rho = \frac{K_w^o}{L^2},$$

K_w^o – коэффициент влагопроводности, $м^2$/сут;

L – половина расстояния между дренами.

8.22. С помощью номограммы рис.8.3 определяют время, необходимое для осушения грунта до заданной или конечной влажности (технологический перерыв) при

известном расстоянии между дренами, или расстояние между дренами при заданном технологическом перерыве.

Номограмма построена применительно к центру междренной зоны ($\frac{x}{L} = 1$), т.е. для наиболее отдаленных от вертикальных дрен точек.

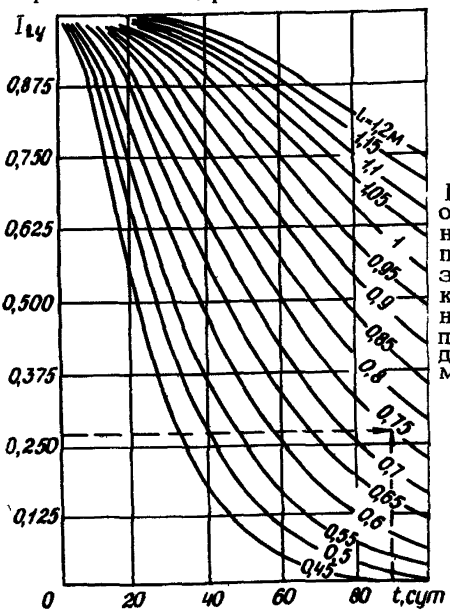

Рис.8.3. Номограмма для определения продолжительности технологического перерыва для осушения земляного полотна вертикальными песчаными дренами. Цифры на кривых – половина расстояния между вертикальными дренами

На рис.8.3 пунктиром показан пример определения расстояния между вертикальными дренами, необходимого для осушения грунта до заданной влажности $W(L,90) = 1,2\,W_0$ за 90 сут.

Грунт – тяжелый пылеватый суглинок $W_H = 25,3\%$, $W_k = W_p = 17\%$, $W_0 = 16\%$. Его необходимо осушить за 90 сут до $W(L,90) = 19,2\% = 1,2\,W_0$, т.е. до влажности, при которой может быть достигнут коэффициент уплотнения 0,95.

При указанных данных $I_{ty} = \frac{19,2-17}{25,3-17} = 0,265$. Отложив

I_{ly} = 0,265 на оси ординат, проводят из этой точки горизонтальную линию до пересечения с перпендикуляром к оси абсцисс, отсекающим на ней отрезок, соответствующий 90 сут. Как видно, горизонтальная линия и перпендикуляр пересекаются в точке l = 0,75 м. Таким образом, расстояние между дренами должно быть принято $2l$=2·0,75=1,5 м.

8.23. При проектировании земляного полотна из связных грунтов повышенной влажности с вертикальными песчаными дренами рекомендуется руководствоваться одной из следующих трех схем организации работ (рис.8.4). Первую схему (см.рис.8.4,а) применяют при перевозке песка по подъездным путям и складировании его на трассе или рядом с ней, вторую (см.рис.8.4,б)-

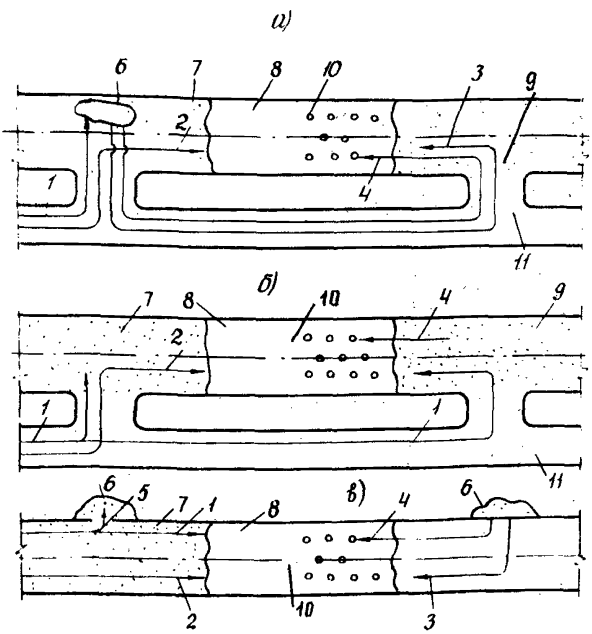

Рис.8.4. Схемы организации работ по устройству вертикальных песчаных дрен: 1-автовозка песка;2-то же, суглинка; 3-перевозка песка со склада автомобилями, скреперами; 4-то же, транспортными тележками (для дрен); 5-дополнительная подвозка песка на склад; 6-склад песка; 7-нижний дренирующий слой;8-суглинок; 9-верхний дренирующий слой; 10-вертикальные дрены; 11-подъездной путь

при перевозке по подъездным путям непосредственно на трассу без промежуточного складирования, третью (см.рис.8.4,в) – при отсутствии специальных подъездных путей, доставке песка автомобилями-самосвалами и складировании его непосредственно на трассе.

8.24. В общем случае насыпи с устройством вертикальных песчаных дрен необходимо сооружать в такой последовательности: подготовка основания под насыпь; доставка песка для нижнего горизонтального дренирующего слоя; разравнивание, профилирование и уплотнение песчаного слоя; отсыпка грунта повышенной влажности способом "в прижим" с последующей надвижкой его до проектной отметки; разравнивание, профилирование и предварительное уплотнение грунта в насыпи; выбуривание в насыпи вертикальных колодцев и заполнение их дренирующим материалом; разравнивание, предварительное уплотнение и профилирование грунтовой поверхности после устройства вертикальных дрен; отсыпка верхнего дренирующего слоя, его разравнивание и уплотнение; технологический перерыв; устройство дорожной одежды.

8.25. Для устройства вертикальных дрен в зависимости от условий проезда по насыпи могут быть использованы различные типы бурильно-крановых машин:

при затрудненном проезде – машина на гусеничном ходу БМ-305, а для засыпки вертикальных колодцев дрен песком – прицепная тракторная тележка (разбрасыватель минеральных удобрений РУМ-8);

при обеспечении возможности проезда по насыпи (например, в том случае, если сначала укладывается верхний дренирующий слой, а затем устраиваются дрены) – бурильно-крановая машина на пневмоколесном ходу типа БМ-302, а для засыпки их дренирующим материалом – пескоразбрасыватель КДМ-130 с переоборудованным рабочим органом.

Методика определения сдвиговых, компрессионных и консолидационных характеристик

Методика определения сдвиговых характеристик

Сопротивляемость грунта сдвигу S_{pw} (МПа, кгс/см^2) рассчитывают по формуле

$$S_{pw} = p \operatorname{tg} \varphi_w + \Sigma_w + C_c ,$$

где p – вертикальная нагрузка, МПа (кгс/см^2);

Σ_w и C_c – связность и структурное сцепление грунта, МПа (кгс/см^2).

Испытания проводят по методике быстрого сдвига на образцах с искусственной структурой (насыпи) и естественной (выемки). Скорость сдвига подбирают с таким расчетом, чтобы весь опыт длился не более 2 мин.

Величину нормальных напряжений необходимо подбирать таким образом, чтобы при проведении испытаний они не были меньше сопротивляемости грунта сдвигу при этих напряжениях. Рекомендуются следующие напряжения (нагрузки): 0,15, 0,25, 0,35 МПа (1,5; 2,5; 3,5 кгс/см^2).

Начальные плотность и влажность грунта должны охватывать диапазон изменения его плотности и влажности в различных конструктивных элементах земляного полотна.

Довести грунт до заданной плотности при одинаковой начальной влажности или до заданных плотности и влажности можно путем выдерживания образцов перед испытанием под различными нагрузками либо под одной

нагрузкой, но разное время в приборе предварительного уплотнения.

После сдвигового испытания образца из зоны сдвига отбирают часть грунта для определения контрольной влажности.

Для разделения полного сцепления C_w на восстанавливающуюся (Σ_w) и невосстанавливающуюся (C_c) части испытывают идентичные образцы методом "плашек".

Для этой цели образцы после сдвиговых испытаний разрезают на две половины (плашки) в зоне сдвига, соединяют их в сдвиговом приборе, прикладывают ту же нормальную нагрузку, которая была принята при предшествующем испытании, и производят сдвиг образца по фиксированной поверхности. Начальные плотность и влажность образцов грунта и нагрузка на них должны быть такие же, что и при основных испытаниях.

Результаты обрабатывают по методике плотности - влажности проф.Н.Н.Маслова.

Методика определения компрессионных характеристик

Перед установкой в прибор рабочего кольца его торцевую поверхность с двух сторон покрывают кружками фильтровальной бумаги для обеспечения двусторонней фильтрации или с одной стороны - резиновой прокладкой, с другой - фильтрационной бумагой для создания условий одномерной фильтрации.

Загружение образца грунта необходимо осуществлять ступенями: 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6 МПа (0,5; 1; 2; 4; 6 кгс/см^2). Каждую нагрузку выдерживают до условной стабилизации деформации образца, равной 0,02мм/сут.

Деформацию образца замеряют мессурами - индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

При методике испытаний, предусматривающей взвешивание образца после стабилизации деформации грунта под каждой ступенью нагрузки, из прибора быстро

извлекают рабочее кольцо с образцом и взвешивают его, определяя изменение массы (или массу отжатой воды). Затем образец вновь помещают в компрессионный прибор и уплотняют той же нагрузкой, после чего прикладывают следующую ступень нагрузки и выдерживают ее до завершения деформации, снова определяют деформацию образца и потерю массы и т.д.

Во время опыта следует одновременно регистрировать деформацию образца и время ее достижения для определения компрессионных и консолидационных характеристик испытываемого грунта.

По опытным данным рассчитывают относительную деформацию образца под каждой ступенью нагрузки и строят график зависимости $\lambda=f(p)$ и $\lambda=f(\lg t)$. Для определения пороговой нагрузки рассчитывают коэффициент пористости ε и строят график зависимости $\varepsilon=f(\lg p)$. Величина нагрузки, соответствующая точке перелома указанной зависимости, является начальной (пороговой).

Для возможности оценки величины и характера доуплотнения глинистых грунтов в насыпи (или в расчетных слоях) значения ступеней нагрузки в компрессионных испытаниях необходимо пересчитать на соответствующие толщины слоев насыпи по формуле $h=p/\gamma_w$, где p – нагрузка, МПа (кгс/см^2).

Далее по данным компрессионных испытаний определяют плотность сухого грунта по известной формуле $\rho_d=\frac{\rho}{1+w}$. На основе полученных значений строят эпюру изменения плотности сухого грунта по высоте насыпи, т.е. плотность, которая достигается в результате доуплотнения под статической нагрузкой в зависимости от рабочей отметки. При необходимости рассчитывают коэффициент уплотнения K_y.

Для определения влияния степени влажности глинистого грунта на его деформативные свойства зависимости $\lambda=f(P)$, полученные для образцов грунта с различ-

ной начальной влажностью (различными коэффициента - ми увлажнения), следует перестроить, представив их в виде зависимости относительной деформации образца грунта от начального коэффициента увлажнения при различных нагрузках (или по высоте насыпи) $\lambda = f(K_w)$.

При необходимости учета соотношения объемов компонентов (воды, воздуха) грунта в заданном объеме в зависимости от различных условий (степени влажности, действующей нагрузки и т.д.) их рассчитывают по результатам компрессионных испытаний:

масса сухого грунта:

$$m_г = \rho_d V_г ,$$

где $V_г$ - объем грунта;

масса воды:

$$m_в = W_н m_г ;$$

объем грунта:

$$V_г = m_г / \rho_s ;$$

объем воздуха:

$$V_{возд} = V_к - (V_г + V_в) ,$$

где $V_к$ - объем кольца;
$V_в$ - объем воды.

Методика определения консолидационных характеристик

В тех случаях, когда недостаточно данных совмещенных компрессионных и консолидационных испытаний, проводится дополнительная серия испытаний грунта на консолидацию.

Испытывают идентичные образцы различной высоты (при этом необходимо соблюдать их геометрическое подобие) или одинаковой высоты, но при разных условиях дренирования. Уплотняющая нагрузка в опыте должна соответствовать расчетной для данного слоя.

Деформацию образца следует фиксировать через определенные промежутки времени: 0,15′; 0,30′; 0,45′; 1′, 2′, 3′, 5′, 10′, 15′, 20′, 30′, 60′, 90′, 120′, 180′, 360′ и далее 3 раза в сутки до достижения условной стабилизации деформации образца.

В результате обработки опытных данных строят графики зависимости $\lambda = f(\lg t)$. По характеру полученных консолидационных кривых и их взаимному расположению определяют закономерности процесса уплотнения для данного конкретного случая и факторы, влияющие на скорость этого процесса.

Условия независимости интенсивности уплотнения от высоты образца на фильтрационной и вторичной стадиях уплотнения считаются достигнутыми в следующих случаях:

кривые консолидации образцов различной высоты (или одинаковой, но при разных условиях дренирования) совпадают;

расхождение в относительной деформации за одно и то же время по кривым консолидации указанных образцов не превышает точности измерения деформации;

кривые консолидации образцов с различными путями фильтрации параллельны.

Исходя из указанных условий, на полученной консолидационной зависимости $\lambda = f(\lg t)$ следует выделить участки дофильтрационной, фильтрационной консолидации и консолидации ползучести.

Переход первой стадии во вторую выражается в том, что экспериментальные точки выходят на криволинейный участок, при испытании образцов различной высоты кривые консолидации начинают расходиться. Пе-

реход второй стадии в последнюю характеризуется тем, что экспериментальные точки устойчиво ложатся на прямую линию (см.рис.5.5).

За консолидационный параметр на стадии дофильтрационной консолидации и консолидации ползучести принимают угловой коэффициент m_p, на стадии фильтрационной консолидации - показатель степени консолидации n.

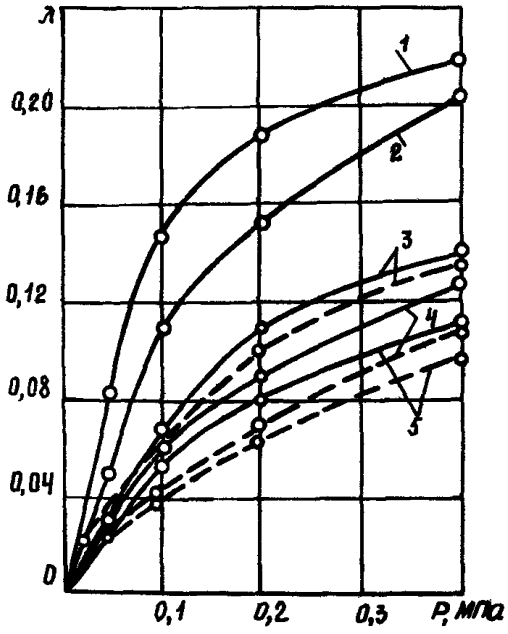

Рис.1. Зависимость относительной осадки от нагрузки при K_w=1,4 (——) и K_w=1,2 (– – –): 1– K_y=0,75; 2– K_y=0,8; 3– K_y=0,85; 4– K_y=0,9; 5– K_y=0,95

В качестве примера результатов обработки экспериментальных данных приведены компрессионные и консолидационные зависимости, полученные при испытании грунта с участка автомобильной дороги Серпухов–Тула с различными начальными значениями плотности и влажности (рис.1,2).

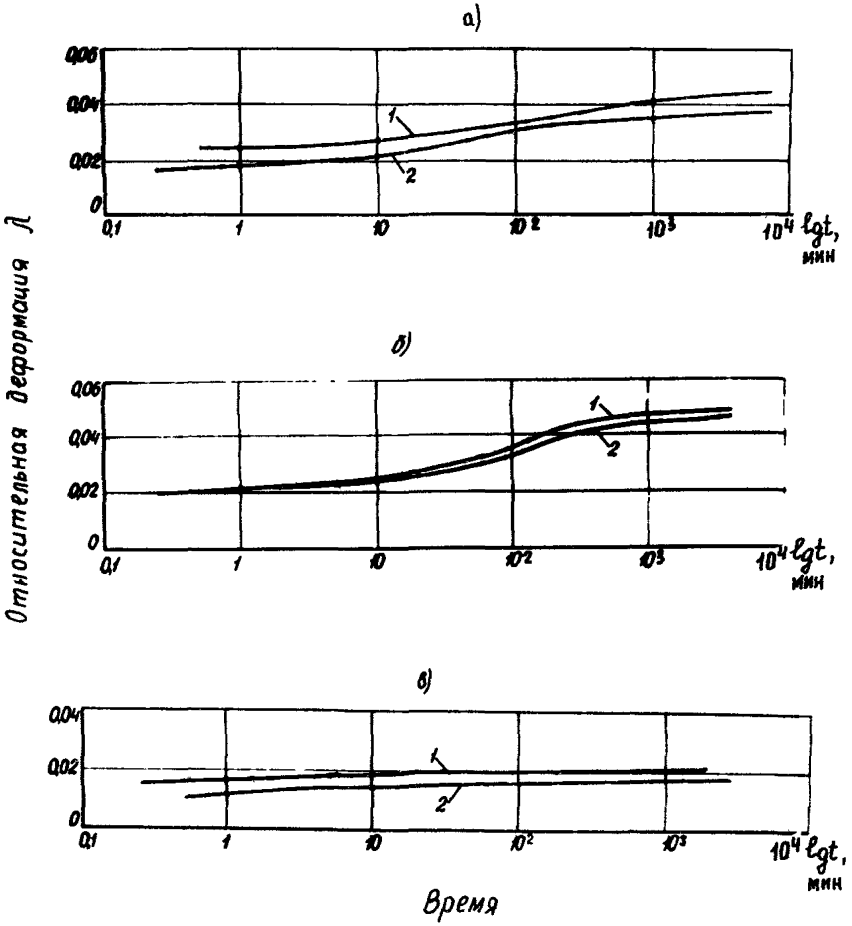

Рис.2. Зависимость относительной деформации от времени при $p_{упл} = 5$ МПа: а– K_w =1,4; $\rho_d/\rho_{d\,макс}$ =0,9; б– K_w =1,4; $\rho_d/\rho_{d\,макс}$ =0,95; в– K_w =1,2; $\rho_d/\rho_{d\,макс}$ =0,9; 1– $h_{обр}$=2 см; $h_{ф}$=1 см; 2– $h_{обр}$=2,5 см; $h_{ф}$ =2,5 см

Содержание

Предисловие 4

1. Общие положения 6

2. Инженерно-геологическая оценка грунтов, залегающих в выемках 11

3. Требования к рабочей документации при разработке выемок и сооружении насыпей 14

4. Принципы назначения конструкций земляного полотна из грунтов с влажностью выше оптимальной 17

5. Комплексная оценка устойчивости и стабильности земляного полотна при разработке индивидуальных конструкций насыпей и выемок 23

6. Конструктивные мероприятия по обеспечению надежности насыпей из грунтов влажностью выше оптимальной 40

7. Особенности технологии и организации работ 47

8. Способы осушения глинистых грунтов повышенной влажности 60

Приложение. Методика определения сдвиговых, компрессионных и консолидационных характеристик 76

ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. Зак. № 210 Тираж 2

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ВЫЕМОК В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ С ВЛАЖНОСТЬЮ ВЫШЕ ОПТИМАЛЬНОЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭТИХ ГРУНТОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ВО II И III ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Ответственный за выпуск инж.Е.И. Эппель

Редактор Л.В.Крылова
Технический редактор А.В.Евстигнеева
Корректоры М.Я.Жукова, И.А.Рубцова

Подписано к печати 27.11.87. Л 78394. Формат 60x84/16.
Печать офсетная. Бумага офсетная № 1. 4,5 уч.-изд.л.
4,8 печ.л. Тираж 1000 экз. Заказ 113-8. Цена 67 коп.

Участок оперативной полиграфии Союздорнии
143900, Московская обл., г.Балашиха-6, ш.Энтузиастов,79

gost.e-ecolog.ru