ОДМ 218.2.068-2016

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЧЕТУ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ РАСЧЁТАХ ПРОЧНОСТИ, УСТОЙЧИВОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО

(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН ООО «ГЕОПРОЕКТ» г. Санкт-Петербург

2 ВНЕСЕН Управлением строительства и проектирования автомобильных дорог Федерального дорожного агентства

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 27.04.2016 № 663-р

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения ... 1

2 Нормативные ссылки ... 2

3 Термины и определения ... 3

4 Общие положения ... 6

5 Рекомендации по прогнозированию уровня динамического воздействия транспортных средств на грунты земляного полотна и показателей их механических свойств ... 8

6 Рекомендации по определению показателей чувствительности механических свойств грунтов к действию динамической транспортной нагрузки ... 16

7 Методические рекомендации по расчету устойчивости откосов земляного полотна с учетом динамического воздействия от транспортных средств ... 20

7.1 Общие сведения по расчету устойчивости откосов земляного полотна с учетом динамического воздействия от транспортных средств ... 20

7.2 Расчет по схеме обрушения со срезом и вращением ... 24

7.3 Расчет по схеме скольжения и оползня-сдвига (ломаная поверхность скольжения) ... 26

7.4 Расчет по схеме скола при потере несущей способности основания (расчет на выдавливание) ... 29

8 Методические рекомендации по учету динамического воздействия при расчетах деформативности земляного полотна ... 32

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 ... 36

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 ... 45

Библиография ... 51

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЧЕТУ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ РАСЧЕТАХ ПРОЧНОСТИ, УСТОЙЧИВОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

1 Область применения

1.1 Отраслевой дорожный методический документ (далее ОДМ) «Рекомендации по учету динамического воздействия от современных транспортных средств при расчетах прочности, устойчивости и деформативности земляного полотна» является актом рекомендательного характера в дорожном хозяйстве.

1.2 Настоящий ОДМ устанавливает методические рекомендации и указания по расчету земляного полотна по первой и второй группам предельных состояний с учетом влияния динамического воздействия от современных транспортных средств на прочностные и деформативные характеристики грунтов.

1.3 ОДМ содержит рекомендации по лабораторному определению показателей чувствительности механических свойств грунтов земляного полотна и его основания к действию динамической нагрузки от современных транспортных средств.

1.4 Рекомендации настоящего ОДМ применяются при выполнении расчетов по прочности, устойчивости и деформативности земляного полотна автомобильных дорог при индивидуальном проектировании.

1.5 Рекомендации ОДМ не распространяются на районы вечной мерзлоты и карста.

1.6 Настоящий ОДМ предназначен для использования органами управления автомобильных дорог и организациями, выполняющими работы по расчету, проектированию и строительству земляного полотна автомо-

бильных дорог общего пользования, а также автомобильных дорог промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

Технический регламент Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011), утвержденный Решением Комиссии Таможенного союза 18.10.2011 № 827

ГОСТ 1.5-2001 Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению

ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация

ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава

ГОСТ 20522-2012 - Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний

ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик

ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ Р 52748-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения

ГОСТ Р 52399-2005. Геометрические элементы автомобильных дорог

ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований

СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия

СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96

СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.

СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*

СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85

СП 45.13330.2012 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87

ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд

Примечание - При пользовании настоящим ОДМ следует проверить действие ссылочных стандартов по указателю "Национальные стандарты" и по соответствующим информационным указателям. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящими рекомендациями следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом.

3 Термины и определения

В настоящем методическом документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **армированный грунт:** Массив грунта, в котором размещены армирующие элементы, обеспечивающие устойчивость массива за счет деформирования этих элементов, сил трения по поверхности их взаимодействия с грунтом, а также за счет других механизмов взаимодействия с грунтом.

3.2 **армирующий элемент:** Составная часть армированного грунта, обеспечивающего восприятие повышенных сжимающих и (или) растягивающих напряжений.

3.3 **высота насыпи**: Расстояние по вертикали от естественного уровня земли до низа дорожной одежды, определяемое по оси земляного полотна.

3.4 **высота откоса**: Расстояние по вертикали от верхней бровки откоса до нижней бровки.

3.5 **геосинтетические материалы (геосинтетики):** Общий термин, характеризующий материалы, один из компонентов которых изготовлен из синтетического или натурального полимера в виде полотна, полоски или

трехмерной структуры, используемой в контакте с грунтом и (или) другими материалами; материалы используются в геотехнических и гражданских строительных сооружениях.

3.6 **динамическое воздействие на грунты земляного полотна**: Воздействие от движущихся транспортных средств, проявляющееся в виде пульсирующих нагрузок (пульсации напряжений) в грунтах земляного полотна, вызывающих появление колебаний, распространяющихся и затухающих как в земляном полотне, так и за его пределами.

3.7 **земляное полотно**: Геотехническая конструкция, выполняемая в виде насыпей, выемок или полунасыпей - полувыемок, служащая для обеспечения проектного пространственного расположения проезжей части дороги и в качестве грунтового основания (подстилающего грунта) конструкции дорожной одежды.

3.8 **категория автомобильной дороги**: Критерий, характеризующий значение автомобильной дороги в общей транспортной сети страны и определяемый интенсивностью движения на ней. В соответствии с категорией назначаются все технические параметры дороги.

3.9 **коэффициент виброразрушения грунта:** показатель, характеризующий интенсивность снижения прочностных характеристик грунта при действии динамической нагрузки.

3.10 **коэффициент вибродеформирования грунта:** показатель, характеризующий интенсивность снижения деформативных характеристик грунта при действии динамической нагрузки.

3.11 **показатели чувствительности механических свойств грунтов к действию динамической нагрузки**: Показатели, определяющие величину максимального снижения прочностных и деформативных свойств грунта при действии динамической нагрузки от транспортных средств.

3.12 **потеря местной устойчивости:** Разрыв, смещение отдельных участков или элементов сооружения, деформация локального характера сверх допустимой величины.

3.13 **потеря общей устойчивости:** Невозможность сооружения противостоять действию сил, стремящихся вывести его из состояния равновесия, потеря формы, перемещения или деформация всего сооружения сверх допустимой величины.

3.14 **предельное состояние сооружения:** Состояние сооружения, при котором оно перестает удовлетворять эксплуатационным требованиям, т.е. либо теряет способность сопротивляться внешним воздействиям, либо получает недопустимую деформацию или местное повреждение.

3.15 **результирующая амплитуда колебаний:** амплитуда колебаний, определяемая путем сложения амплитуд смещений в трех взаимноперпендикулярных плоскостях по правилу векторной суммы.

3.16 **реконструкция дороги**: Комплекс работ, при выполнении которых осуществляется изменение параметров автомобильной дороги, ее участков, ведущее к изменению класса и (или) категории автомобильной дороги либо влекущее за собой изменение границы полосы отвода автомобильной дороги.

3.17 **слабые грунты**: Связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания при испытании прибором вращательного среза менее 0,075 МПа, удельное сопротивление статическому зондированию конусом с углом при вершине 30° менее 0,02 МПа или модуль осадки при нагрузке 0,25 МПа более 50 мм/м (модуль деформации ниже 5 МПа). При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам следует относить: торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции более 0,5, иольдиевые глины, грунты мокрых солончаков.

3.18 **слабые основания**: Основания насыпи, в которых в пределах активной зоны имеются слои слабых грунтов мощностью более 0,5 м.

3.19 **трудные условия (проектирования):** Сложные топографические, инженерно-геологические, планировочные, местные условия, когда применение основных норм проектирования вызывает значительное увеличение объема строительно-монтажных работ.

3.20 **ширина земляного полотна**: Расстояние между бровками земляного полотна.

4 Общие положения

4.1 Земляное полотно автомобильных дорог общего пользования следует проектировать из условия безопасного и бесперебойного движения транспортных средств в соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011), утвержденного Решением Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 № 827.

4.2 При проектировании земляного полотна необходимо обеспечить требуемый уровень надежности по прочности, устойчивости и деформативности земляного полотна при воздействии установленных внешних и внутренних нагрузок.

4.3 Прочность, устойчивость и заданная деформативность земляного полотна автомобильной дороги обеспечивается за счет применения:

– межгосударственных и национальных стандартов, обеспечивающих выполнение требований технических регламентов, в том числе Таможенного союза;

– широко апробированных и не требующих дополнительного обоснования специальными расчетами типовых решений, отвечающих требованиям СП 34.13330.2012;

– индивидуальных конструктивных решений, требующих обоснования специальными расчетами (в том числе типовых решений, требующих индивидуальной привязки).

Индивидуальные решения, а также индивидуальную привязку типовых решений следует применять в случаях, регламентируемых СП 34.13330.2012.

4.4 Расчеты земляного полотна автомобильных дорог при индивидуальном проектировании для обеспечения требований Технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011) должны выполняться с учетом динамических нагрузок от транспортных средств.

4.5 Расчеты земляного полотна следует осуществлять по двум группам предельных состояний: первой – по несущей способности и второй – по деформативности.

К первой группе предельных состояний относятся состояния, приводящие земляное полотно и его основание к полной непригодности к эксплуатации и вызванные потерей устойчивости откосов и несущей способности земляного полотна или его основания.

Ко второй группе предельных состояний относятся состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию земляного полотна вследствие недопустимых остаточных или упругих деформаций.

4.6 Основной идеей, заложенной в основу методического документа, является требование к проектированию земляного полотна с целью недопущения достижения предельных состояний сооружения в процессе эксплуатации с учетом исключения влияния неблагоприятных условий гидрологического режима.

4.7 Расчеты земляного полотна должны осуществляться на основе достоверных результатов инженерно-геологических, инженерно-геодезических, инженерно-гидрометеорологических и гидрологических изысканий. При необходимости в трудных условиях дополнительно следует выполнять гидрогеологические, инженерно-сейсмологические и другие виды изысканий.

4.8 Влияние транспортной нагрузки на прочность, устойчивость и

деформативность земляного полотна автомобильных дорог должно учитываться:

– в виде дополнительной статической нагрузки на поверхности земляного полотна;

– в виде дополнительного динамического воздействия, возникающего, распространяющегося и затухающего в грунтах земляного полотна и его основания, приводящего к снижению расчетных значений прочностных и деформативных свойств грунтов.

4.9 Статические нормативные и расчетные характеристики грунтов для расчетов земляного полотна должны определяться в соответствии с ГОСТ 20522-2012.

4.10 При учете динамических нагрузок в расчетах прочности, устойчивости и деформативности земляного полотна автомобильных дорог следует задаваться нормативными нагрузками и расчетными схемами нагружения в соответствии с ГОСТ Р 52748-2007.

5 Рекомендации по прогнозированию уровня динамического воздействия транспортных средств на грунты земляного полотна и показателей их механических свойств

5.1 Изменение механических свойств грунтов земляного полотна и его основания к действию динамических нагрузок от транспортных средств с достаточной для практических целей точностью учитывается снижением прочностных и деформативных характеристик.

5.2 Для грунтов земляного полотна автомобильных дорог динамическое воздействие следует измерять расчетной амплитудой результирующих колебаний, возникающих при движении транспортных средств с максимально допускаемой скоростью.

5.3 Расчетную результирующую амплитуду колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы,

A_o, следует определять в соответствии с данными таблиц 1-4.

Т а б л и ц а 1 – Расчетные амплитуды колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы для расчетов прочности и устойчивости земляного полотна автомобильных дорог всех категорий (нормативная нагрузка НК, класс нагрузки – 8,3 в соответствии с ГОСТ Р 52748-2007)

Средневзвешенное значение модуля упругости грунтов земляного полотна, $E_{ср}$, МПа	Расчетная амплитуда колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы, A_o, мкм						
	Толщины дорожной одежды, м						
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,00	1,10
20	200	163	156	116	111	100	89
40	122	100	95	78	72	65	56
60	93	74	73	59	53	48	43
80	78	62	59	49	47	40	36
100	66	53	50	42	41	34	32
120	59	46	45	37	36	30	27

Т а б л и ц а 2 – Расчетные амплитуды колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы для расчетов деформативности земляного полотна автомобильных дорог категорий IA, IБ, IВ, II (нормативная нагрузка АК, класс нагрузки – 11,5 в соответствии с ГОСТ Р 52748-2007)

Средневзвешенное значение модуля упругости грунтов земляного полотна, $E_{ср}$, МПа	Расчетная амплитуда колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы, A_o, мкм						
	Толщины дорожной одежды, м						
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,00	1,10
20	154	125	120	89	86	77	69
40	94	77	73	60	56	50	43
60	71	57	56	46	41	37	33
80	60	48	45	38	36	31	28
100	51	41	38	33	32	26	24
120	46	36	34	28	27	23	21

Т а б л и ц а 3 – Расчетные амплитуды колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы для расчетов деформативности земляного полотна автомобильных дорог категорий III и IV (нормативная нагрузка АК, класс

нагрузки – 10 в соответствии с ГОСТ Р 52748-2007)

Средневзвешенное значение модуля упругости грунтов земляного полотна, $E_{ср}$, МПа	Расчетная амплитуда колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы, A_o, мкм			
	Толщины дорожной одежды, м			
	0,5	0,6	0,7	0,8
20	134	109	104	77
40	82	67	63	52
60	62	50	49	40
80	52	42	39	33
100	44	36	33	28
120	40	31	30	25

Т а б л и ц а 4 – Расчетные амплитуды колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы для расчетов деформативности земляного полотна автомобильных дорог V категории (нормативная нагрузка АК, класс нагрузки – 6 в соответствии с ГОСТ Р 52748-2007)

Средневзвешенное значение модуля упругости грунтов земляного полотна, $E_{ср}$, МПа	Расчетная амплитуда колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы, A_o, мкм			
	Толщины дорожной одежды, м			
	0,5	0,6	0,7	0,8
20	80	65	63	46
40	49	40	38	31
60	37	30	29	24
80	31	25	24	20
100	26	21	20	17
120	24	19	18	15

5.4 Средневзвешенные значения модуля упругости грунтов земляного полотна, $E_{ср}$, определяются зависимостью:

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2 + \cdots + E_n \cdot h_n}{3{,}0 - h_{\text{до}}} \qquad (5.1)$$

где

E_1, E_2, $\ldots E_n$ – модули упругости выделенных разнородных слоев грунта в

пределах 3,0 м по глубине, считая от уровня бровки земляного полотна;

h_1, h_2, ...h_n – толщины выделенных разнородных слоев грунта в пределах глубины (3,0 - $h_{до}$), считая от подошвы дорожной одежды, м;

3,0 – глубина от уровня бровки земляного полотна, на которые распространяются динамические воздействия, м.

5.5 При реконструкции автомобильных дорог при насыпях высотой менее 3,0 м, опирающихся на слабые основания, расчетные амплитуды колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы рекомендуется определять по данным непосредственных замеров. Замеры производятся сейсмодатчиками, устанавливаемыми у края дорожной одежды на уровне ее подошвы.

5.6 Распространение колебаний в теле земляного полотна и за его пределами происходит одновременно в вертикальном и горизонтальном направлениях. Расчетные амплитуды колебаний грунтов в любой точке земляного полотна и его основания определяются по формуле:

$$A_{zy} = A_o \cdot e^{z \cdot lg\delta_1 - f(y)\cdot\delta_2' - f'(y)\cdot\delta_2'' + \delta_3 \cdot h_i} \qquad (5.2)$$

где

A_{zy} – результирующая амплитуда колебаний грунта в точке на глубине *z, м* от уровня подошвы дорожной одежды и на расстоянии *y, м* от оси земляного полотна, *мкм*;

A_o – результирующая амплитуда колебаний грунтов основной под слоем дорожной одежды в пределах ее ширины, *мкм*;

$$f(y) = \begin{cases} 9{,}0 & \text{при } y > b_{до} + 9{,}0 \\ (y - b_{до}) & \text{при } b_{до} < y \le b_{до} + 9{,}0 \\ 0 & \text{при } y \le b_{до} \end{cases} \qquad (5.3)$$

$$f'(y) = \begin{cases} (y - b_{до}) & \text{при } b_{до} < y \\ 0 & \text{при } y \le b_{до} \end{cases}$$

$$h_i = \begin{cases} 0 & \text{при } y \le 0{,}5 \cdot B \\ (y - 0{,}5 \cdot B) \cdot tg\alpha & \text{при } 0{,}5 \cdot B < y \le H_{\text{нв}} \cdot tg\alpha + 0{,}5 \cdot B \\ 0 & \text{при } y > H_{\text{нв}} \cdot tg\alpha + 0{,}5 \cdot B \end{cases} \quad (5.4)$$

$b_{\text{до}}$ – полуширина дорожного покрытия поверху, м

9,0 – размер зоны интенсивного затухания колебаний в поперечном оси дороги направлении, считая от края дорожной одежды, м;

B – ширина земляного полотна поверху, м;

$H_{\text{нв}}$ - высота откоса насыпи или выемки, м;

α - угол наклона откоса насыпи или выемки, определяемый крутизной заложения;

δ_1 – коэффициент затухания колебаний в вертикальной плоскости, 1/м;

δ_2', δ_2'' – коэффициенты затухания колебаний в горизонтальной плоскости, 1/м;

δ_3 – коэффициент затухания колебаний в откосной части, 1/м, определяется формулой:

$$\delta_3 = \frac{lg\delta_1}{1{,}5 \cdot ctg\alpha} \quad (5.5)$$

Коэффициенты затухания колебаний следует определять по данным таблицы 5.

Таблица 5 – Коэффициенты затухания колебаний в грунтах земляного полотна и за его пределами

Наименование грунта	Показатель текучести, I_L	Коэффициенты затухания колебаний, 1/м			
		в вертикальной плоскости, δ_1		в горизонтальной плоскости	
		выемка	насыпь	δ_2'	δ_2''
Пески	-	0,18 - 0,21	0,22 - 0,24	0,10	0,008
Супеси	< 0,0	0,21 – 0,24	0,23 – 0,26	0,105	0,008
	0-1,0	0,25 – 0,36	0,27 – 0,32	0,083	0,005
Суглинки	0-0,25	0,27 – 0,31	0,30 – 0,32	0,084	0,004
	0,25 – 0,50	0,32 – 0,33	0,33 – 0,35	0,078	0,002
Глина	0-0,25	0,24 – 0,27	0,26 – 0,29	0,096	0,006
	0,25-0,50	0,28 – 0,30	0,30 – 0,32	0,085	0,005

Примечание. Грунтам с повышенной влажностью соответствуют большие значения коэффициента δ_1. Для промежуточных значений показателя текучести коэффициенты определяются интерполяцией.

5.7 Параметры, характеризующие сопротивление сдвигу, а также деформативные свойства грунтов при динамическом воздействии, в зависимости от расчетной амплитуды колебаний определяются соотношениями:

$$C_{\text{дн}} = C_{\text{ст}}\left[(1 - K_C) + K_C \cdot e^{-K\cdot(A - A_{\text{н}})}\right] \quad (5.6)$$

$$\varphi_{\text{дн}} = \varphi_{\text{ст}}\left[\left(1 - K_\varphi\right) + K_\varphi \cdot e^{-K\cdot A}\right] \quad (5.7)$$

$$E_{\text{дн}} = E_{\text{ст}}\left[(1 - K_E) + K_E \cdot e^{-K'\cdot(A - A_{\text{н}})}\right] \quad (5.8)$$

$$E_{\text{у-дн}} = E_{\text{у-ст}}\left[\left(1 - K_{E-\text{у}}\right) + K_{E-\text{у}} \cdot e^{-K'\cdot(A - A_{\text{н}})}\right] \quad (5.9)$$

где

K_C – максимальное относительное снижение удельного сцепления грунта при действии транспортной динамической нагрузки;

K_φ – максимальное относительное снижение угла внутреннего трения грунта при действии транспортной динамической нагрузки;

K_E – максимальное относительное снижение модуля деформации грунта при действии транспортной динамической нагрузки;

$K_{E\text{у}}$ – максимальное относительное снижение модуля упругости грунта при действии транспортной динамической нагрузки;

$C_{\text{ст}}$, $\varphi_{\text{ст}}$, $E_{\text{ст}}$, $E_{\text{у-ст}}$ – расчетные значения удельного сцепления, угла внутреннего трения, модуля деформации и модуля упругости грунта при статических нагрузках;

$C_{\text{дн}}$, $\varphi_{\text{дн}}$, $E_{\text{дн}}$, $E_{\text{у-дн}}$ – расчетные значения удельного сцепления, угла внутреннего трения, модуля деформации и модуля упругости грунта при динамическом воздействии;

A – амплитуда колебаний, мкм, определяемая по формуле (5.2);

$A_{\text{н}}$ - амплитуда колебаний, вызывающая снижение механических характеристик грунтов не более чем на 3-5%. В расчетах допускается принимать 10 мкм;

K, K' – соответственно коэффициенты виброразрушения и вибродеформирования при испытании грунтов в условиях трехосного сжатия, могут приниматься в соответствии с таблицами 6-7.

Таблица 6 – Коэффициенты виброразрушения и вибродеформирования глинистых грунтов

Показатели	Наименование грунта							
	Супеси с J_L		Суглинки с J_L			Глины с J_L		
	< 0.0	0,0-0,6	0-0,15	0,16-0,45	>0,45	0-0,15	0,16-0,45	>0,45
K	0,006	0,025	0,006	0,011	0,02	0,005	0,010	0,015
K'	0,007	0,02	0,008	0,012	0,015	0,010	0,012	0,018

Таблица 7 – Коэффициенты виброразрушения и вибродеформирования песчаных грунтов

Показатели	Наименование грунта		
	Пески гравелистые, крупные, средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
	$S_r \leq 0{,}8$	$S_r \leq 0{,}8$	$S_r \leq 0{,}8$
K	0,006	0,012	0,019
K'	0,005	0,013	0,022

5.8 Основными показателями, определяющими чувствительность механических свойств грунтов земляного полотна и его основания к действию динамических транспортных нагрузок, являются:

– максимальное относительное снижение удельного сцепления грунта при действии транспортной динамической нагрузки, K_C;

– максимальное относительное снижение угла внутреннего трения грунта при действии транспортной динамической нагрузки, K_φ;

– максимальное относительное снижение модуля деформации грунта при действии транспортной динамической нагрузки, K_E;

– максимальное относительное снижение модуля упругости грунта при

действии транспортной динамической нагрузки, $K_{Eу}$.

5.9 Показатели, приведенные в п. 5.8, следует, как правило, определять по результатам непосредственных испытаний грунтов в лабораторных условиях по формулам:

$$K_C = \frac{C_{ст-n} - C_{дн}^{min}}{C_{ст-n}} \quad (5.10)$$

$$K_\varphi = \frac{\varphi_{ст-n} - \varphi_{дн}^{min}}{\varphi_{ст-n}} \quad (5.11)$$

$$K_E = \frac{E_{ст-n} - E_{дн}^{min}}{E_{ст-n}} \quad (5.12)$$

$$K_{Eу} = \frac{E_{у-ст-n} - E_{у-дн}^{min}}{E_{у-ст-n}} \quad (5.13)$$

где

$C_{ст-n}$, $\varphi_{ст-n}$, $E_{ст-n}$, $E_{у-ст-n}$ – нормативные значения удельного сцепления, угла внутреннего трения, модуля деформации и модуля упругости грунта при статических испытаниях, выполняемых в соответствии с рекомендациями ГОСТ 12248-2010;

$C_{дн}^{min}$, $\varphi_{дн}^{min}$, $E_{дн}^{min}$, $E_{у-дн}^{min}$ – минимальные значения удельного сцепления, угла внутреннего трения, модуля деформации и модуля упругости грунта, определенные при действии вибродинамической нагрузки. Рекомендации по определению данных показателей приведены в разделе 6.

5.10 Допускается на стадии разработки проектной документации для предварительных расчетов при отсутствии или недостаточности опытных данных использовать показатели K_C, K_φ, K_E и $K_{Eу}$, приведенные в таблицах 8-9.

Т а б л и ц а 8 – Показатели чувствительности механических свойств глинистых грунтов к динамическому воздействию

Показатели	Наименование грунта							
	Супеси с J_L		Суглинки с J_L			Глины с J_L		
	< 0.0	0,0-0,6	0-0,15	0,16-0,45	>0,45	0-0,15	0,16-0,45	>0,45
K_C	0,10	0,60	0,20	0,50	0,15	0,15	0,55	0,13
K_φ	0,07	0,40	0,10	0,40	0,08	0,09	0,45	0,10
K_E	0,35	0,85	0,25	0,65	0,35	0,20	0,60	0,35
K_{Ey}	0,15	0,35	0,15	0,25	0,20	0,12	0,24	0,18

Т а б л и ц а 9 – Показатели чувствительности механических свойств песчаных грунтов к динамическому воздействию

Показатели	Наименование грунта		
	Пески гравелистые, крупные, средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
	$S_r \leq 0{,}8$	$S_r \leq 0{,}8$	$S_r \leq 0{,}8$
K_C	0,10	0,20	0,30
K_φ	0,15	0,18	0,20
K_E	0,25	0,40	0,55
K_{Ey}	0,10	0,18	0,25

6 Рекомендации по определению показателей чувствительности механических свойств грунтов к действию динамической транспортной нагрузки

6.1 Настоящий раздел содержит рекомендации по лабораторному определению характеристик прочности и деформируемости дисперсных грунтов, а также показателей их чувствительности при действии динамических нагрузок от транспортных средств.

6.2 Лабораторное определение характеристик прочности и деформируемости дисперсных грунтов рекомендуется выполнять в приборах трехосного сжатия, дающих возможность бокового расширения образца грунта в условиях трехосного осесимметричного статического нагружения при $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$, а также позволяющих моделировать динамическое воздействие на образец испытываемого грунта (вибростабилометрах), где σ_1– максимальное главное вертикальное напряжение; σ_2, σ_3 – минимальные, главные горизонтальные напряжения.

6.3 Для испытываемых грунтов должны быть определены физические характеристики по ГОСТ 5180-84: влажность, плотность, плотность частиц, влажности на границах текучести и раскатывания, гранулометрический состав грунтов по ГОСТ 12536-79, а также вычислены плотность сухого грунта, коэффициент пористости, коэффициент водонасыщения, число пластичности и показатель текучести (для связных дисперсных грунтов).

6.4 Конструкция вибростабилометра должна удовлетворять следующим требованиям:

– максимальное снижение влияния сил трения грунта о жесткие поверхности частей прибора;

– возможность независимого регулирования двух главных напряжений;

– максимальное снижение влияния макро- и микронеровностей торцов образца на результаты экспериментов;

– исключение возможности появления местных напряжений в грунте образца в местах его контакта с нагрузочными устройствами;

– возможность развития осевой деформации образца не менее, чем на 25% его первоначальной высоты;

– возможность создания в камере вибростабилометра регулируемого динамического воздействия на испытываемый образец грунта за счет пульсации бокового давления в диапазоне до $2\Delta\sigma_3 = 0{,}08$ МПа (где $\Delta\sigma_3$ - амплитуда

пульсации бокового давления в камере прибора) с частотой до 60 Гц;

– возможность регистрации колебаний минеральных частиц грунта непосредственно в приборе;

– точность замеров деформаций образцов не менее ±0,01 мм.

6.5 При подготовке и проведении испытаний, при обработке результатов следует руководствоваться требованиями ГОСТ 12248-2010, а также рекомендаций, изложенных ниже.

6.6 Для определения показателей относительного снижения удельного сцепления и угла внутреннего трения грунта при действии динамической нагрузки необходимо:

– определить эти показатели при действии статической нагрузки;

– определить прочностные показатели при действии максимальной динамической нагрузки;

– по формулам (5.10) и (5.11) вычислить показатели K_C и K_φ.

6.7 Определение прочностных свойств грунта в приборе трехосного сжатия при действии статической нагрузки следует выполнять в полном соответствии с рекомендациями ГОСТ 12248-2010.

6.8 Определение минимальных значений прочностных характеристик грунта при действии динамической нагрузки следует производить при значениях пульсации боковых напряжений $2\Delta\sigma_3 = 0{,}07 - 0{,}08$ МПа в частотном диапазоне 10-30 Гц.

6.9 Учитывая характер работы грунтов земляного полотна, воспринимающего постоянную нагрузку от собственного веса дорожной одежды, а также непродолжительный период действия динамической нагрузки от транспортного средства при затрудненном дренировании воды определение прочностных характеристик грунтов, как при действии статической нагрузки, так и при действии динамической нагрузки, следует выполнять по схеме консолидировано-недренированного испытания.

6.10 Значения прочностных характеристик грунта, как при действии

статических, так и при действии максимальных динамических нагрузок должны определяться не менее чем для трех идентичных образцов исследуемого грунта при различных значениях всестороннего давления на образец.

Значения величин всестороннего давления в камере прибора трехосного сжатия рекомендуется принимать с учетом расчетных нагрузок. При отсутствии указанных данных значения величин всестороннего бытового давления могут быть приняты: 0,02; 0,04 и 0,06 МПа.

6.11 Для определения показателей относительного снижения характеристик деформативности грунта при действии динамической нагрузки необходимо:

– определить эти показатели при действии статической нагрузки;

– определить деформативные характеристики при действии максимальной динамической нагрузки;

– по формулам (5.12) и (5.13) вычислить показатели K_E и K_{E_y}.

6.12 Определение деформативных свойств грунта в приборе трехосного сжатия при действии статической нагрузки следует выполнять в соответствии с рекомендациями ГОСТ 12248-2010.

6.13 Определение минимальных значений деформативных характеристик грунта при действии динамической нагрузки следует производить при значениях пульсации боковых напряжений $2\Delta\sigma_3 = 0{,}07 - 0{,}08$ МПа в частотном диапазоне 10-30 Гц.

6.14 Определение прочностных характеристик грунтов, как при действии статической нагрузки, так и при действии динамической нагрузки, следует выполнять по схеме консолидированно-дренированного испытания при постоянном и непрерывном действии динамической нагрузки в течение всего эксперимента.

6.15 Модуль упругости грунта вычисляют по разгрузочной ветви зависимости относительной деформации образца от величины вертикальных напряжений.

7 Методические рекомендации по расчету устойчивости откосов земляного полотна с учетом динамического воздействия от транспортных средств

7.1 Общие сведения по расчету устойчивости откосов земляного полотна с учетом динамического воздействия от транспортных средств

7.1.1 Методические рекомендации распространяются на откосы, сложенные глинистыми, песчаными, гравелистыми и щебенистыми непросадочными грунтами. При этом предполагается, что в основании откосов также залегают непросадочные и не вечномерзлые грунты.

7.1.2 Расчетная схема и метод расчета выбираются в каждом случае индивидуально. При их выборе необходимо учитывать возможность многообразия форм проявления нарушения устойчивости откосов. Выбранная расчетная схема должна соответствовать наиболее вероятной для данного случая форме нарушения устойчивости откоса, определяемой инженерно-геологическими особенностями и особенностями условий работы откоса.

7.1.3 В тех случаях, когда трудно заранее достоверно определить наиболее вероятную форму нарушения устойчивости откоса, необходимо провести комплексные расчеты, исходя из двух или нескольких наиболее вероятных схем.

7.1.4 Расчеты устойчивости откосов насыпей и выемок необходимо проводить для расчетных поперечных профилей. В качестве расчетных принимаются поперечники с наиболее неблагоприятным сочетанием различных факторов, таких, как высота и крутизна откоса, величина сдвиговых характеристик грунтов, мощность и расположение слабых прослоек, наклон слоев, наличие выклинивающихся грунтовых вод или подтоплений и т.п.

7.1.5 Расчеты устойчивости выполняются для условий плоской задачи, т.е. для элемента откоса протяженностью (вдоль трассы) 1 м.

7.1.6 Для проведения расчета устойчивости при действии динамических нагрузок необходимы:

– данные по общим инженерно-геологическим условиям района строительства;

– заданное очертание откоса;

– геотехнический разрез по расчетному поперечнику;

– расчетные значения физико-механических характеристик грунтов, слагающих откос и его основание;

– значения показателей чувствительности механических свойств грунтов к действию динамической нагрузки;

– параметры динамического воздействия транспортных средств на грунты земляного полотна;

– гидрогеологические данные;

– расчетные временные нагрузки.

7.1.7 Степень достоверности расчета определяется правильностью выбора расчетной схемы и расчетных значений сдвиговых характеристик грунтов откоса и его основания.

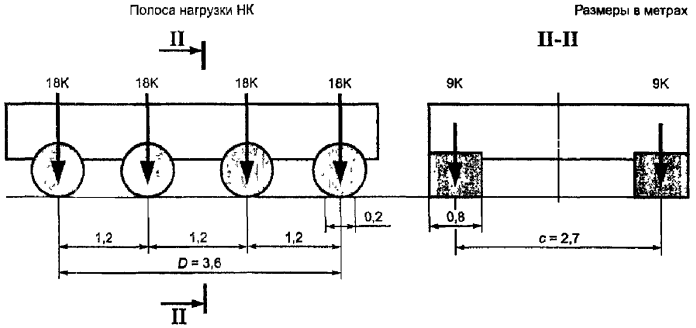
7.1.8 При расчете устойчивости откосов земляного полотна автомобильных дорог учитываются возникающие в откосе или в его основании усилия:

– от собственного веса грунтовой толщи;

– от воздействия временной подвижной нагрузки (для насыпей);

– в результате фильтрации грунтовых вод, подтопления или затопления насыпи водой, а также дополнительные усилия, возникающие в результате сейсмических явлений.

7.1.9 При расчете устойчивости откосов насыпи в качестве временной подвижной нагрузки в соответствии с ГОСТ Р 52748-2007 принимают нормативную нагрузку НК, представленной в виде одиночной четырехосной тележки с нагрузкой на каждую ось 18К (кН) (рисунок 1).



Р и с у н о к 1 – Схема нормативной нагрузки НК
для расчета устойчивости откосов насыпи

7.1.10 Класс нагрузки К следует принимать для автомобильных дорог всех категорий – 8,3.

7.1.11 Учет временной подвижной нагрузки осуществляется путем приведения ее к эквивалентному слою грунта земляного полотна. Толщину эквивалентного слоя грунта $H_э$, м, вычисляют по формуле (7.1).

$$H_э = \frac{4 \cdot 18K}{(D + 0{,}2) \cdot (c + 0{,}8) \cdot \rho_{гр}} \qquad (7.1)$$

где

$18K$ – нормативная осевая нагрузка НК, кН;

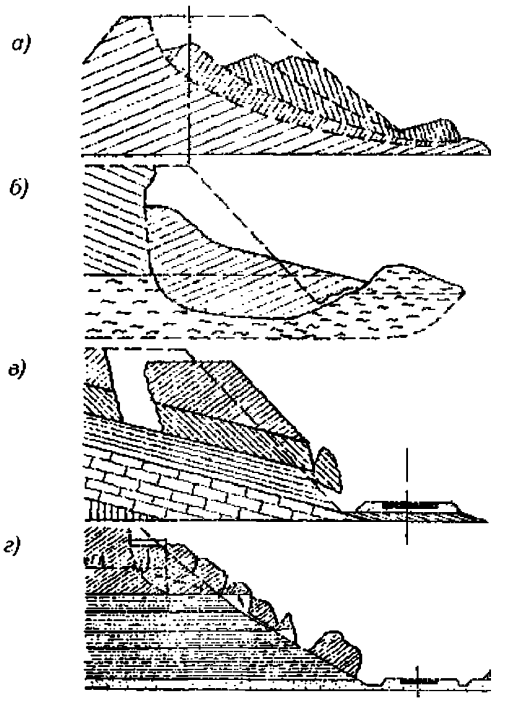
D – база нормативной нагрузки НК, м (рис. 7.1);

c – колея нормативной нагрузки НК, м (рис. 7.1);

$\rho_{гр}$ – плотность грунта, кН/м^3.

7.1.12 Эквивалентный слой грунта располагается по всей ширине земляного полотна. Вдоль земляного полотна эквивалентный слой грунта распространяется на неограниченную длину.

7.1.13 При выборе расчетной схемы и метода расчета устойчивости проектируемого или существующего откоса необходимо учитывать возможность различных форм нарушения общей устойчивости откоса (см. табл. 10 и рисунок 2).



Р и с у н о к 2 – Основные формы нарушения общей устойчивости откосов:
а - обрушение со срезом и вращением;
б - скол при потере несущей способности основания; *в* - скольжение; *г* - оползень-сдвиг

Т а б л и ц а 10 - Основные формы нарушения общей устойчивости откосов автодорожных и железнодорожных насыпей и выемок

Формы нарушения общей устойчивости	Характер деформации	Характерные особенности строения толщи откоса
Обрушение со срезом и вращением	Перемещение части откоса в результате среза по критической поверхности, обычно близкой по форме к круглоцилиндрической, с некоторым поворотом вокруг горизонтальной оси	Откосы, сложенные глинистыми грунтами, с достаточно однородным строением
Скол при потере несущей способности основания	Вертикальное перемещение (опускание) с боковым движением части откоса в результате выдавливания или выноса грунта неустойчивых слоев, залегающих в толще откоса или в его основании	Наличие в толще откоса или его основании низкопрочных грунтов, способных выдавливаться под воздействием вышележащих слоев; наличие гидродинамически неустойчивых песков-плывунов; наличие гидронестойких пород (каменная соль, гипс и т.п.) или резко просадочных пород и т.п.
Скольжение	Сдвиг части откоса по наклонным плоскостям напластований, древних смещений и т.п.	Наличие ясно выраженной, определяемой геологическим строением толщи поверхности скольжения со значительным углом падения в сторону откоса
Оползень-сдвиг	Почти горизонтальное перемещение части откоса под воздействием бокового давления земляных масс (распора) и фильтрационного давления по слабой прослойке или по увлажненной поверхности подстилающего глинистого пласта при горизонтальном его залегании	Наличие слоистого строения толщи с увлажненными мягкими пластичными глинистыми прослойками, залегающими горизонтально или с малым падением

7.1.14 Для определения коэффициента устойчивости выделенный

сползающий массив грунта, ограниченный поверхностью скольжения, разделяют вертикальными сечениями на ряд блоков. Ширину блоков не следует принимать более 2 - 3 м.

7.2 Расчет по схеме обрушения со срезом и вращением

7.2.1 Для оценки устойчивости откосов, предполагая, что нарушение устойчивости откоса может произойти в форме обрушения со срезом и вращением, следует использовать метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения в модификации К. Терцаги.

7.2.2 Степень устойчивости откоса оценивается по величине коэффициента запаса устойчивости, определяемого по отношению момента удерживающих сил, $M_{уд}$, к моменту сдвигающих сил, $M_{сдв}$, относительно центра наиболее опасной дуги скольжения:

$$K = \frac{M_{уд}}{M_{сдв}} \qquad (7.2)$$

7.2.3 Для определения коэффициента устойчивости выделенный сползающий массив грунта, ограниченный кривой скольжения, разделяют вертикальными сечениями на ряд блоков. Границы блоков назначают в местах перелома линии откоса, в местах пересечения границ различных слоев откоса с поверхностью скольжения и т.п.

7.2.4 При определении сил, действующих на каждый выделенный блок, учитывают действие динамической транспортной нагрузки. Порядок определения сил следующий:

– определяют средневзвешенное значение модуля упругости грунтов земляного полотна, $E_{ср}$, (МПа) по формуле (5.1);

– по данным таблиц 1-4 или с учетом рекомендаций п. 5.5 определяют расчетную результирующую амплитуду колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы, A_o, (мкм);

– находят силу Q, кН (т), приложенную в центре тяжести блока, рав-

ную собственному весу блока;

– с учетом рекомендаций, изложенных в п. 5.6, вычисляют амплитуду колебаний грунта, A_{zy}, (мкм) в каждом блоке, при этом координаты z (м) и y (м) в формуле (5.2) определяют как координаты точек средин дуг, стягивающих границы блоков по кривой скольжения;

– пользуясь указаниями п.п. 5.7 – 5.10, находят по формулам (5.6) – (5.7) значения удельного сцепления, $C_{\text{дн}}$, и угла внутреннего трения грунта, $\varphi_{\text{дн}}$, при действии динамической нагрузки;

– вычисляют реакцию грунта на поверхности скольжения, которая состоит из силы трения ($N \cdot tg\varphi_{\text{дн}}$), прямо пропорциональной нормальному давлению, и силы сцепления ($C_{\text{дн}} \cdot l$), где

$\varphi_{\text{дн}}$ – расчетное значение угла внутреннего трения грунта при динамическом воздействии, град;

$C_{\text{дн}}$ – расчетное значение удельного сцепления грунта при динамическом воздействии, кПа (т/м^2);

l – длина отрезка дуги скольжения в пределах данного блока, м;

$N = Q \cdot cos\alpha$ – нормальная составляющая веса блока Q;

α – угол наклона поверхности скольжения блока к горизонту, град.;

– вычисляют сдвигающую силу $T = Q \cdot sin\alpha$, кПа (т).

7.2.5 Определяют коэффициент устойчивости откоса для принятой поверхности скольжения по формуле (7.3)

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{R}(N_i \cdot tg\varphi_{i-\text{дн}} + C_{i-\text{дн}} \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^{R} T_i} \qquad (7.3)$$

где

i – номер рассматриваемого блока;

R – количество блоков.

Пример расчета устойчивости откоса насыпи при действии динамической транспортной нагрузки приведен в рекомендуемом приложении 1.

7.2.6 Центр наиболее опасной кривой обрушения, отвечающей мини-

мальному коэффициенту устойчивости, определяется известным порядком (способом последовательных приближений, способом Ямба и др.), с использованием рекомендаций, изложенных, например, в [1].

7.3 Расчет по схеме скольжения и оползня-сдвига (ломаная поверхность скольжения)

7.3.1 Для оценки устойчивости откосов, предполагая, что нарушение устойчивости может произойти в форме скольжения или оползня-сдвига, рекомендуется использовать метод профессора Г.М. Шахунянца.

7.3.2 При применении данного метода коэффициент устойчивости при действии динамической транспортной нагрузки определяется по формуле (7.4).

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{R}(N_i \cdot tg\varphi_{i-\text{дн}} + C_{i-\text{дн}} \cdot l_i + T_{i-\text{уд}})\dfrac{cos\varphi_{i-\text{дн}}}{cos(\alpha_i - \varphi_{i-\text{дн}})}}{\sum_{i=1}^{R} T_{i-\text{сдв}}\dfrac{cos\varphi_{i-\text{дн}}}{cos(\alpha_i - \varphi_{i-\text{дн}})}} \qquad (7.4)$$

где

$T_{i-\text{уд}}$ и $T_{i-\text{сдв}}$ - сдвигающие силы соответственно в пассивной и активной зонах.

Все остальные обозначения аналогичны формуле (7.3).

7.3.3 Расчет выполняется в следующей последовательности:

– на рассматриваемом поперечнике намечают возможные варианты поверхности скольжения;

– каждый ограниченный предполагаемой поверхностью скольжения отсек разбивают на отдельные блоки вертикальными плоскостями, проведенными в местах перелома поверхности скольжения так, чтобы в пределах каждого блока по его основанию статические сдвиговые характеристики грунтов были одинаковы;

– определяют средневзвешенное значение модуля упругости грунтов земляного полотна, $E_{ср}$, (МПа) по формуле (5.1);

– по данным таблиц 1-4 или с учетом рекомендаций п. 5.5 определяют расчетную результирующую амплитуду колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы, A_o, (мкм);

– определяются величины нормальной N_i и тангенциальной T_i составляющих силы веса по блокам;

– разделяют по блокам силы T_i на удерживающие, $T_{i-уд}$, и сдвигающие, $T_{i-сдв}$;

– с учетом рекомендаций, изложенных в п. 5.6, вычисляют амплитуду колебаний грунта, A_{zy}, (мкм) в каждом блоке, при этом координаты z (м) и y (м) в формуле (5.2) определяют как координаты точек средин дуг, стягивающих границы отсеков по кривой скольжения;

– пользуясь указаниями п.п. 5.7 – 5.10, находят по формулам (5.6) – (5.7) значения удельного сцепления, $C_{дн}$, и угла внутреннего трения грунта, $\varphi_{дн}$, при действии динамической нагрузки;

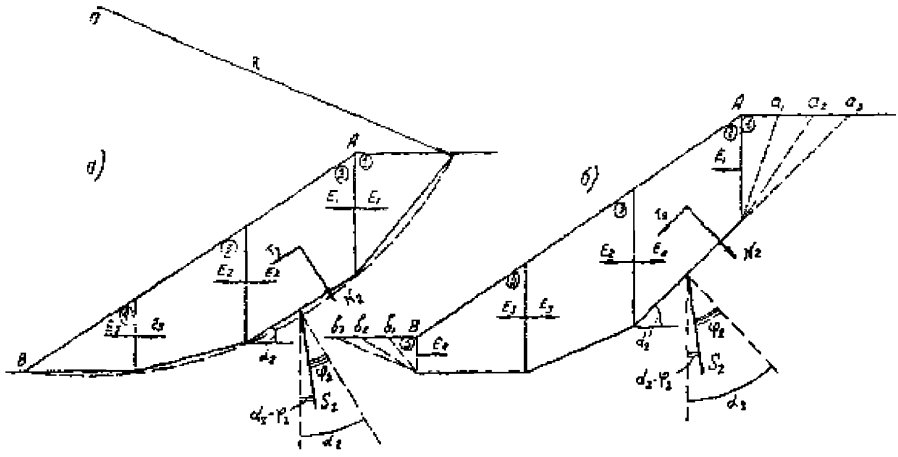
– вычисляют составляющую $N_i \cdot tg\varphi_{i-дн}$ и силу сцепления $(C_{i-дн} \cdot l_i)$ в каждом блоке;

– вычисляется коэффициент устойчивости всего отсека обрушения по формуле (7.4).

– сравнением результатов расчета, полученных по рассмотренным вариантам, устанавливается значение минимального коэффициента устойчивости и соответствующее ему положение критической поверхности скольжения.

7.3.4 Если кривая скольжения на концевых участках (в пределах первого и последнего блоков (рис. 3) не предопределена геологическим строением рассматриваемого массива, то ее критическое положение устанавливается подбором.

В первом и последнем блоках намечается несколько возможных положений поверхности скольжения под разными углами наклона к горизонту α (рисунок 3).



Р и с у н о к 3 – Расчетная схема к определению устойчивости по методу профессора Г.М. Шахунянца:
а – поверхность скольжения проходит через подошву откоса;
б – поверхность скольжения проходит через основание откоса

По каждому из намеченных вариантов вычисляются величины E горизонтальной силы взаимодействия между соседними блоками.

Величина E_1, действующая между 1-м и 2-м блоками, вычисляется по формуле:

$$E_1 = \frac{\left(K \cdot T_{1-\text{сдв}} - N_1 \cdot tg\varphi_{1-\text{дн}} - C_{1-\text{дн}} \cdot l_1\right) \cdot cos\varphi_{1-\text{дн}}}{cos\left(\alpha_1 - \varphi_{1-\text{дн}}\right)} \qquad (7.5)$$

Величину E_{m-1}, действующую между последним и предпоследним блоками, следует определять с учетом возможных различных направлений поверхности скольжения в пределах последнего блока:

а) при восходящем, по отношению к горизонту, направлении поверхности скольжения:

$$E_{m-1} = \frac{\left(N_m \cdot tg\varphi_{m-\text{дн}} + C_{m-\text{дн}} \cdot l_m + T_{m-\text{уд}}\right) \cdot cos\varphi_{m-\text{дн}}}{cos\left(\alpha_m - \varphi_{m-\text{дн}}\right)} \qquad (7.6)$$

б) при нисходящем ее направлении:

$$E_{m-1} = \frac{\left(N_m \cdot tg\varphi_{m-\text{дн}} + C_{m-\text{дн}} \cdot l_m - K_{\text{тр}} \cdot T_{m-\text{сдв}}\right) \cdot cos\varphi_{m-\text{дн}}}{cos\left(\alpha_m - \varphi_{m-\text{дн}}\right)} \qquad (7.7)$$

где $K_{тр}$ – требуемый коэффициент устойчивости откоса, определяемый действующими нормативными документами.

Сопоставляя полученные результаты, за расчетное в первом блоке следует принимать то положение поверхности скольжения, которому соответствует наибольшее значение E_1, а в последнем - то, которое дает минимальное значение E_{m-1}.

7.4 Расчет по схеме скола при потере несущей способности основания (расчет на выдавливание)

7.4.1 Для оценки устойчивости откоса, предполагая нарушение его устойчивости в форме скола при потере несущей способности основания, вызванного выдавливанием грунта следует использовать метод Союздорнии [2], с учетом снижения прочностных характеристик грунтов основания земляного полотна под действием динамической нагрузки от транспортных средств.

Метод основан на недопущении развития в основании откоса зон, в которых нарушено условие предельного равновесия.

7.4.2 Динамическую нагрузку от транспортных средств, влияющую на снижение прочностных характеристик грунтов основания земляного полотна в расчетах устойчивости по рассматриваемой схеме рекомендуется учитывать при суммарной толщине насыпи и дорожной одежды 3,0 м и менее.

При большей толщине в расчетах могут использоваться значения прочностных характеристик грунтов основания без учета их снижения под действием динамической нагрузки от транспортных средств.

7.4.3 В расчетах прочности слабого основания допускается не учитывать снижение прочностных характеристик грунтов основания земляного полотна под действием динамической нагрузки в период сооружения земляного полотна.

7.4.4 Степень устойчивости откоса по этому методу оценивается по величине коэффициента безопасности, $K_{без}$:

$$K_{\text{без}} = K_{\text{стаб}}^{min} \quad (7.8)$$

где

$K_{\text{стаб}}^{min}$ - минимальное значение коэффициента стабильности из полученных для различных горизонтов грунтовой толщи, слагающих основание откоса.

Устойчивость откоса считается обеспеченной при условии $K_{\text{без}} \geq 1{,}0$.

7.4.5 Коэффициент стабильности для заданного горизонта устанавливается по формуле:

$$K_{\text{стаб}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_o} \quad (7.9)$$

где

P_o - проектная нагрузка на основание, кПа (т/м^2), $P_o = \rho_{\text{ср}} \cdot H$;

$\rho_{\text{ср}}$- средневзвешенная плотность грунта откоса, кН/м^3 (т/м^3);

H - высота откоса, м.

7.4.6 Безопасная нагрузка для данного горизонта определяется по формуле:

$$P_{\text{без}} = \frac{C_{\text{дн}} + \rho \cdot z \cdot tg\varphi_{\text{дн}}}{\beta_{\text{дн}}} \quad (7.10)$$

где

$\varphi_{\text{дн}}$ – минимальное расчетное значение угла внутреннего трения грунта при динамическом воздействии на данном горизонте, град;

$C_{\text{дн}}$ – минимальное расчетное значение удельного сцепления грунта при динамическом воздействии на данном горизонте, кПа (т/м^2);

ρ - средняя плотность грунта, расположенного выше рассматриваемого горизонта (до уровня подошвы откоса), кН/м^3 (т/м^3).

z - глубина расположения данного горизонта от уровня подошвы откоса, м;

$\beta_{\text{дн}}$ - величина касательных напряжений в наиболее опасной точке и на наиболее опасной площадке для данного горизонта, выраженная в долях

от напряжений на поверхности основания откоса.

7.4.7 Минимальные расчетные значения прочностных характеристик грунта при действии динамической нагрузки для рассматриваемого горизонта устанавливают по формулам (5.6) – (5.7), а расчетную амплитуду колебаний по формуле (7.11)

$$A_z = A_o \cdot e^{z_1 \cdot lg\delta_1} \qquad (7.11)$$

где A_z – амплитуда колебаний грунта на рассматриваемом горизонте, расположенного на глубине z от уровня подошвы откоса;

z_1 – расстояние до рассматриваемого горизонта от подошвы дорожного покрытия, м;

$$z_1 = z + H - h_{до} \qquad (7.12)$$

где H - высота откоса, м;

$h_{до}$ - толщина дорожной одежды, м.

Остальные параметры, входящие в формулу (7.11) устанавливаются в соответствии с рекомендациями раздела 5 настоящего ОДМ.

7.4.8 Величина $\beta_{дн}$ является функцией очертания расчетной эпюры нагрузки на основание от веса грунта откоса (крутизна и высота откосов, ширина земляного полотна), величины угла внутреннего трения грунта при действии динамической нагрузки, рассматриваемого горизонта и относительной глубины расположения этого горизонта. При определении величины $\beta_{дн}$ следует руководствоваться рекомендациями, изложенными в [2].

8 Методические рекомендации по учету динамического воздействия при расчетах деформативности земляного полотна

8.1 Влияние динамической транспортной нагрузки на величины остаточных деформаций земляного полотна, связанных с доуплотнением насыпных грунтов не учитываются.

8.2 При опирании насыпей на слабых основаниях влиянием динамической подвижной нагрузки на уплотнение слабого грунта можно пренебречь при высоте насыпи более 3,0 м.

При высоте насыпей менее 3,0 м, опирающихся на слабые основания, в том числе в период строительства, для учета подвижной транспортной нагрузки на доуплотнение слабых грунтов, при расчете осадок основания следует руководствоваться рекомендациями, приведенными в [2].

8.3 Снижение деформативных свойств грунтов земляного полотна при движении транспортных средств рекомендуется учитывать при расчете дорожных одежд нежесткого типа по допускаемому прогибу.

8.4 При оценке прочности конструкции по допускаемому упругому прогибу коэффициент прочности в общем виде определяют по формуле:

$$K_{\text{пр}} = \frac{E_{\text{об}}^{\text{тр}}}{E_{\text{об}}} \qquad (8.1)$$

где $E_{\text{об}}^{\text{тр}}$ – требуемый общий модуль упругости конструкции, определяемый при расчетной нагрузке;

$E_{\text{об}}$ – расчетный общий модуль упругости конструкции, определяемый при расчетной нагрузке.

8.5 Для обеспечения заданной надежности (обеспеченности по прочности) коэффициент прочности проектируемой конструкции не должен быть ниже минимального требуемого значения, определяемого по табл. 3.1 ОДН 218.046-01.

8.6 Конструкция дорожной одежды в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по величине упругого прогиба при условии:

$$E_{\text{об}} > E_{min} \cdot K_{\text{пр}}^{\text{тр}} \qquad (8.2)$$

где $E_{об}$ - общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;

E_{min} - минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа, определяется с учетом рекомендаций и требований ОДН 218.046-01;

$K_{пр}^{тр}$ - требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности (п. 3.6 и табл. 3.1 ОДН 218.046-01).

8.7 Расчетные значения модулей упругости материалов дорожной одежды допускается принимать в соответствии с указаниями Приложений 2 и 3 ОДН 218.046-01.

8.8 Расчетные значения модулей упругости грунтов рабочего слоя и нижележащих грунтов земляного полотна при действии статической нагрузки допускается принимать в соответствии с таблицей 11.

8.9 Влияние динамической транспортной нагрузки на деформативные характеристики материалов дорожной одежды не учитывается.

8.10 При определении общего модуля упругости на поверхности подстилающего слоя необходимо учитывать снижение модуля упругости грунтов земляного полотна при действии динамической нагрузки.

8.11 Расчет по допустимому упругому прогибу (по требуемому модулю упругости) ведут в следующей последовательности:

1. Определяют требуемый минимальный общий модуль упругости конструкции.

2. Назначают модули упругости материалов и грунтов, а также предварительно толщины слоев дорожной конструкции.

Таблица 11 - Нормативные значения модулей упругости грунтов

Грунт	Модули упругости при относительной влажности в долях от влажности на пределе текучести, $W/W_т$, МПа									
	0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Пески:										
крупные	130									
средней крупности	120									

мелкие	100									
однородные	75									
пылеватые	96	90	84	78	72	60	60	54	48	43
Супеси:										
легкая	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
пылеватая, тяжелая пылеватая	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
легкая крупная	65									
Суглинки:										
легкий, тяжелый	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
легкий пылеватый, тяжелый пылеватый	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
Глины	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23

3. Определяют толщину слоя грунта ниже подошвы дорожной одежды, в пределах которой проявляется влияние динамической нагрузки на деформативные характеристики грунта по формуле:

$$H = 3{,}0 - h_{\text{до}} \qquad (8.3)$$

где H – зона влияния динамической нагрузки на механические свойства грунтов земляного полотна, м;

$h_{до}$ – суммарная толщина дорожной одежды, м.

4. Рассматриваемую толщу мощностью H, разбивают на слои грунта. Мощность слоев следует принимать 0,3 – 0,5 м, а также назначать с учетом границ расположения разнородных грунтов.

5. Производят определение средневзвешенного модуля упругости с учетом действия динамической нагрузки на поверхности подстилающего слоя по формуле:

$$E_{\text{у-дн}} = \frac{E_{1-\text{дн}} \cdot h_1 + E_{2-\text{дн}} \cdot h_2 + \cdots + E_{n-\text{дн}} \cdot h_n}{3{,}0 - h_{\text{до}}} \qquad (8.4)$$

где $E_{i-\text{дн}}$ - динамические модули упругости грунта в каждом рассматриваемом слое, МПа.

Алгоритм расчета следующий:

– исходя из предварительно принятой конструкции дорожной одежды определяют средневзвешенное значение модуля упругости грунтов земляного полотна, $E_{ср}$, (МПа) по формуле (5.1);

– по данным таблиц 1-4 или с учетом рекомендаций п. 5.5 определяют расчетную результирующую амплитуду колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы, A_o, (мкм);

– определяют расчетную амплитуду колебаний в центре каждого выделенного слоя по формуле (5.2), принимая $y = b_{до}$ и $h_i = 0$.

– по формуле (5.9) вычисляют модули упругости грунта в каждом выделенном слое;

– по формуле (8.4) находят динамический модуль упругости на поверхности подстилающего слоя.

– дальнейший расчет дорожной одежды выполняют в соответствии с требованиями и рекомендациями ОДН 218.046-01.

Пример расчета приведен в рекомендуемом приложении 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Пример расчета устойчивости откосов земляного полотна автомобильной дороги при действии динамической транспортной нагрузки и снижения под ее влиянием прочностных свойств грунтов

Исходные данные:

– дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской области;

– категория автомобильной дороги - II;

– грунт рабочего слоя земляного полотна - супесь пылеватая пластичная;

– грунт земляного полотна ниже рабочего слоя – суглинки легкие полутвердые;

– в основании насыпи залегает суглинок тяжелый тугопластичный;

– высота насыпи составляет 14,0 м;

– толщина дорожной одежды - 0,60 м;

– схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.

Расчетные характеристики грунтов земляного полотна при действии статической нагрузки приведены в таблице П.1.1.

В этой же таблице приведены основные динамические характеристики грунтов земляного полотна и его основания, определенные по таблицам 6, 8 настоящего ОДМ.

1. Поперечное сечение проектируемой насыпи приведено на рис. П.1.1.

2. При расчете устойчивости откосов насыпи в качестве временной подвижной нагрузки в соответствии с ГОСТ Р 52748-2007 принимаем нормативную нагрузку НК, представленной в виде одиночной четырехосной тележки с нагрузкой на каждую ось 18К (кН) (рис. 1).

3. Класс нагрузки К принимается – 8,3.

4. Таким образом, нагрузка на поверхность земляного полотна соста-

вит:

$$P_{\text{тр}} = \frac{4 \cdot 18K}{(D + 0{,}2) \cdot (c + 0{,}8)} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 8{,}3}{3{,}8 \cdot 3{,}5} = 45 \text{ кН/м}^2 = 4{,}5 \text{ т/м}^2$$

5. Учет временной подвижной нагрузки осуществляется путем приведения ее к эквивалентному слою грунта земляного полотна. Толщину эквивалентного слоя грунта $H_э$, м, вычисляем по формуле (7.1).

$$H_э = \frac{4 \cdot 18K}{(D + 0{,}2) \cdot (c + 0{,}8) \cdot \rho_{\text{гр}}} = \frac{4{,}5}{1{,}9} = 2{,}4 \text{ м}$$

6. Эквивалентный слой грунта располагаем по всей ширине земляного полотна. Вдоль земляного полотна эквивалентный слой грунта распространяется на неограниченную длину.

7. Определяют толщину слоя грунта ниже подошвы дорожной одежды, в пределах которой проявляется влияние динамической нагрузки на прочностные характеристики грунта по формуле (8.3):

$$H = 3{,}0 - h_{\text{до}}$$

где H – зона влияния динамической нагрузки на механические свойства грунтов земляного полотна, м;

$h_{до}$ – суммарная толщина дорожной одежды, м.

$$H = 3{,}0 - 0{,}60 = 2{,}4 \text{ м}$$

8. При принятой конструкции дорожной одежды определяем средневзвешенное значение модуля упругости грунтов земляного полотна, $E_{ср}$, (МПа) по формуле (5.1):

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2 + \cdots + E_n \cdot h_n}{3{,}0 - h_{\text{до}}} = \frac{46 \cdot 0{,}9 + 34 \cdot 1{,}5}{3{,}0 - 0{,}60} = 39 \text{ МПа}$$

Таблица - П.1.1

Наименование грунта	Плотность грунта	Показатель текучести	Удельное сцепление	Угол внутреннего трения	Показатель относительного снижения сцепления	Показатель относительного снижения угла внутр. трения	Коэффициент виброразрушения	Модуль упругости грунта
	ρ_I, т/м^3	I_L	C_I, т/м^2	φ_I, град.	K_C	K_φ	K	E, МПа
Супесь пылеватая пластичная, насыпная (1)	1,90	0,20	1,5	25	0,60	0,40	0,02	46
Суглинок легкий, полутвердый, насыпной (2)	2,00	0,22	2,2	23	0,50	0,40	0,012	34
Суглинок тяжелый тугопластичный (3)	2,10	0,46	1,8	20	0,50	0,40	0,012	23

9. По данным таблицы 2 определяют расчетную результирующую амплитуду колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы, $A_o = 103$ мкм.

10. Строим кривую обрушения, базируясь на известных рекомендациях.

11. Разбиваем сползающий массив (отсек) на блоки (рис. П.1.1).

12. Находим силы Q, кН (т), приложенную в центре тяжести каждого блока, равную собственному весу блока; нормальную составляющую силы собственного веса, N, кН (т), и тангенциальную составляющую силы собственного веса, T, кН (т). Результаты расчета сведены в таблицу П.1.2.

13. С учетом рекомендаций, изложенных в п. 5.6, вычисляют амплитуду колебаний грунта, A_{zy}, (мкм) в каждом блоке, при этом координаты z (м) и y (м) в формуле (5.2) определяем как координаты точек средин дуг, стягивающих границы блоков по кривой скольжения.

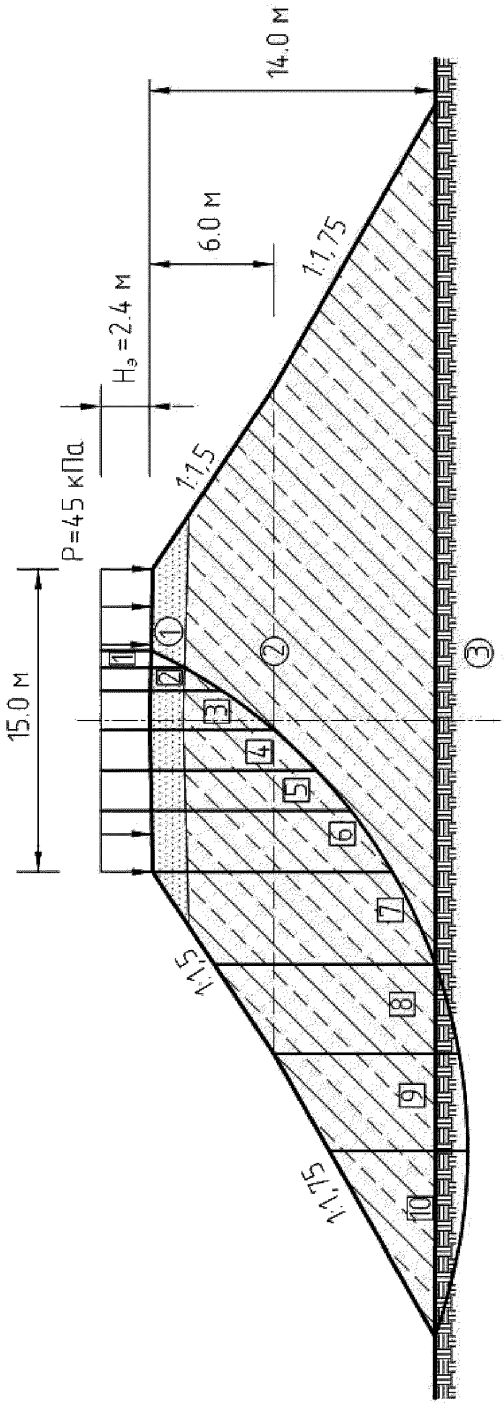


Рисунок П.1.1 – Расчетная схема к определению коэффициента устойчивости откоса насыпи

Например в блоке № 1:

$\delta_1 = 0{,}32$ 1/м; $\delta_2' = 0{,}83$ 1/м; $\delta_2'' = 0{,}004$ 1/м

$\alpha = 31^o$; $\delta_3 = \frac{-0{,}49}{1{,}5 \cdot 1{,}66} = -0{,}20$ 1/м;

$f(y) = 0$; $f'(y) = 0$; $h_i = 0$ м

Тогда:

$A_{zy} = 103 \cdot e^{0{,}20 \cdot lg 0.32} = 92$ мкм.

Все остальные расчеты сведены в таблицу П.1.2.

14. Пользуясь указаниями п.п. 5.7 – 5.10, находим по формулам (5.6) – (5.7) значения удельного сцепления, $C_{\text{дн}}$, и угла внутреннего трения грунта, $\varphi_{\text{дн}}$, при действии динамической нагрузки (таблица П.1.2);

15. Вычисляем реакцию грунта на поверхности скольжения, которая состоит из силы трения ($N \cdot tg\varphi_{\text{дн}}$), прямо пропорциональной нормальному давлению, и силы сцепления ($C_{\text{дн}} \cdot l$) (таблица П.1.2).

16. Определяем коэффициент устойчивости откоса при действии динамической нагрузки для принятой поверхности скольжения по формуле

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{R}(N_i \cdot tg\varphi_{i-\text{дн}} + C_{i-\text{дн}} \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^{R} T_i} = \frac{182{,}55 + 70{,}52}{200{,}45} = 1{,}26$$

Вывод: при требуемом коэффициенте устойчивости 1,30 условие устойчивости не обеспечивается, так как расчетный коэффициент устойчивости меньше требуемого.

Для сравнения в таблице П.1.3 приведен аналогичный расчет при действии статической нагрузки (без учета снижения прочностных характеристик грунтов под действием динамической нагрузки).

Результаты расчета показали, что расчетный коэффициент устойчивости составляет 1,31, что больше требуемого. Следовательно, устойчивость откоса по принятой кривой обрушения обеспечивается.

Т а б л и ц а - П.1.2 Результаты расчета коэффициента устойчивости откоса насыпи (рис. П.1.1) при действии динамической нагрузки и снижении под ее влиянием прочностных характеристик грунтов земляного полотна

№ блока	Угол наклона поверхности скольжения к горизонту, α, град	Площади, м^2			Веса, тонн			Вес блока, Q_i, тонн	N_i, тонн	T_i, тонн	K_C	K_φ	K	Амплитуда колебаний в блоке,
		Супесь пластичная	Суглинок полутвердый	Суглинок тугопластичный	Супесь пластичная	Суглинок полутвердый	Суглинок тугопластичный							
		ω_1	ω_2	ω_3	q_1	q_2	q_3							A_{ZY}, мкм
1	63	2,82	-	-	5,36	-	-	5,36	2,43	4,77	0,60	0,40	0,02	92
2	58	4,70	1,09	-	8,93	2,18	-	11,11	5,89	9,42	0,50	0,40	0,012	49
3	53	7,90	6,18	-	15,01	12,36	-	27,37	16,47	21,86	0,50	0,40	0,012	39
4	46	8,13	11,02	-	15,45	22,04	-	37,49	26,04	26,97	0,50	0,40	0,012	28
5	41	8,49	14,71	-	16,13	29,42	-	45,55	34,38	29,88	0,50	0,40	0,012	13
6	34	12,84	27,82	-	24,40	55,64	-	80,04	66,35	44,76	0,50	0,40	0,012	0
7	25	2,34	49,87	-	4,45	99,74	-	104,19	94,42	44,03	0,50	0,40	0,012	0
8	15	-	41,92	2,60	-	83,84	5,46	89,30	86,26	23,11	0,50	0,40	0,012	0
9	5	-	31,75	6,63	-	63,50	13,92	77,42	77,13	6,75	0,50	0,40	0,012	0
10	-10	-	24,24	7,35	-	48,48	15,44	63,92	62,94	-11,10	0,50	0,40	0,012	0

Продолжение таблицы - П.1.2

№ блока	Расчетное удельное сцепление при статической нагрузке	Расчетный угол внутреннего трения при статической нагрузке	Расчетное удельное сцепление при динамической нагрузке	Расчетный угол внутреннего трения при динамической нагрузке	Длина отрезка дуги скольжения в пределах блока	Сила трения в блоке,	Сила сцепления в блоке
	$C_{i-ст}$, т/м^2	$\varphi_{i-ст}$, град.	$C_{i-дн}$, т/м^2	$\varphi_{i-дн}$, град.	l, м	$N_i \cdot tg\varphi_{i-дн}$, тонн	$C_{i-дн} \cdot l_i$, тонн
1	1,5	25	0,74	16,6	1,87	0,72	1,39
2	2,2	23	1,71	18,9	2,19	2,02	3,75
3	2,2	23	1,79	19,6	3,2	5,85	5,72
4	2,2	23	1,89	20,4	2,9	9,67	5,47
5	2,2	23	2,04	21,7	2,63	13,66	5,37
6	2,2	23	2,20	23,0	3,66	28,16	8,05
7	2,2	23	2,20	23,0	5,05	40,08	11,11
8	1,8	20	1,80	20,0	4,58	31,40	8,24
9	1,8	20	1,80	20,0	4,8	28,07	8,64
10	1,8	20	1,80	20,0	7,1	22,91	12,78
$\sum T_i = 200{,}45$ тонн		$\sum N_i \cdot tg\varphi_{i-дн} = 182{,}55$ тонн			$\sum C_{i-дн} \cdot l_i = 70{,}52$ тонн		

Т а б л и ц а - П.1.3 Результаты расчета коэффициента устойчивости откоса насыпи (рис. П.1.1) при действии статической нагрузки

№ блока	Угол наклона поверхности скольжения к горизонту, α, град	Площади, м^2			Веса, тонн			Вес блока, Q_i, тонн	N_i, тонн	T_i, тонн	K_C	K_φ	K	Амплитуда колебаний в блоке,
		Супесь пластичная	Суглинок полутвердый	Суглинок тугопластичный	Супесь пластичная	Суглинок полутвердый	Суглинок тугопластичный							
		ω_1	ω_2	ω_3	q_1	q_2	q_3							A_{ZY}, мкм
1	63	2,82	-	-	5,36	-	-	5,36	2,43	4,77	0,60	0,40	0,02	0
2	58	4,70	1,09	-	8,93	2,18	-	11,11	5,89	9,42	0,50	0,40	0,012	0
3	53	7,90	6,18	-	15,01	12,36	-	27,37	16,47	21,86	0,50	0,40	0,012	0
4	46	8,13	11,02	-	15,45	22,04	-	37,49	26,04	26,97	0,50	0,40	0,012	0
5	41	8,49	14,71	-	16,13	29,42	-	45,55	34,38	29,88	0,50	0,40	0,012	0
6	34	12,84	27,82	-	24,40	55,64	-	80,04	66,35	44,76	0,50	0,40	0,012	0
7	25	2,34	49,87	-	4,45	99,74	-	104,19	94,42	44,03	0,50	0,40	0,012	0
8	15	-	41,92	2,60	-	83,84	5,46	89,30	86,26	23,11	0,50	0,40	0,012	0
9	5	-	31,75	6,63	-	63,50	13,92	77,42	77,13	6,75	0,50	0,40	0,012	0
10	-10	-	24,24	7,35	-	48,48	15,44	63,92	62,94	-11,10	0,50	0,40	0,012	0

Продолжение таблицы - П.1.3

№ блока	Расчетное удельное сцепление при статической нагрузке	Расчетный угол внутреннего трения при статической нагрузке	Расчетное удельное сцепление при динамической нагрузке	Расчетный угол внутреннего трения при динамической нагрузке	Длина отрезка дуги скольжения в пределах блока	Сила трения в блоке,	Сила сцепления в блоке
	$C_{i-ст}$, т/м^2	$\varphi_{i-ст}$, град.	$C_{i-дн}$, т/м^2	$\varphi_{i-дн}$, град.	l, м	$N_i \cdot tg\varphi_{i-ст}$, тонн	$C_{i-ст} \cdot l_i$, тонн
1	1,5	25	1,5	25	1,87	1,13	2,81
2	2,2	23	2,2	23	2,19	2,50	4,82
3	2,2	23	2,2	23	3,20	6,99	7,04
4	2,2	23	2,2	23	2,90	11,05	6,38
5	2,2	23	2,2	23	2,63	14,59	5,79
6	2,2	23	2,2	23	3,66	28,17	8,05
7	2,2	23	2,2	23	5,05	40,08	11,11
8	1,8	20	1,8	20	4,58	31,40	8,24
9	1,8	20	1,8	20	4,80	28,07	8,64
10	1,8	20	1,8	20	7,10	22,91	12,78
$\sum T_i = 200{,}45$ тонн		$\sum N_i \cdot tg\varphi_{i-дн} = 186{,}89$ тонн			$\sum C_{i-дн} \cdot l_i = 75{,}66$ тонн		

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Пример расчета дорожной одежды по упругому прогибу с учетом действия динамической транспортной нагрузки и снижения под ее влиянием деформативных свойств грунтов земляного полотна

Требуется запроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

– дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской области;

– категория автомобильной дороги - I;

– заданный срок службы дорожной одежды - $T_{сл}$ = 20 лет;

– заданная надежность $K_н$ = 0,95;

– приведенная к нагрузке типа А (Приложение 1 табл. П.1.1 ОДН 218.046-01) интенсивность движения на конец срока службы N_p = 3200 авт/сут; приращение интенсивности q = 1,04;

– грунт рабочего слоя земляного полотна - супесь пылеватая с расчетной влажностью 0,7 W_T;

– грунт земляного полотна ниже рабочего слоя – суглинки легкие с расчетной влажностью 0,75 W_T.

– материал для основания - щебеночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20;

– высота насыпи составляет 3,5 м;

– толщина дорожной одежды - 0,60 м;

– схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.

Расчет по допускаемому прогибу

17. Вычисляем суммарное расчетное количество приложений расчетной нагрузки за срок службы по формуле (3.6) ОДН 218.046-01:

$$\sum N_p = 0{,}7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_o-1)}} T_{\text{рдг}} \cdot k_n$$

где K_c = 29,8 (Приложение 6 табл. П.6.3 ОДН 218.046-01).

$T_{рдг}$ = 125 дней (табл. П.6.1 ОДН 218.046-01);

$K_п$ = 1,49 (табл. 3.3 ОДН 218.046-01)

$$\sum N_p = 0{,}7 \cdot 3200 \frac{29{,}8}{1{,}04^{14}} 125 \cdot 1{,}49 = 7179494 \text{ авт.}$$

18. Предварительно назначаем конструкцию и расчетные значения параметров для расчета по допускаемому упругому прогибу (табл. П.3.1). Определяем в соответствии с ОДН 218.046-01 по Приложению 2 табл. П.2.5, Приложению 3 табл. П.3.2 и Приложению 3 табл. П.3.9.

Т а б л и ц а – П.3.1

№	Материал слоя	*h* слоя, см	Расчет по упругому прогибу, *E*, МПа
1	Асфальтобетон плотный на БНД марки 60/90	4	3200
2	Асфальтобетон пористый на БНД марки 60/90	8	2000
3	Асфальтобетон высокопористый на БНД марки 60/90	22	2000
4	Укрепленная щебеночно-гравийно-песчаная смесь	26	420
5	Супесь пылеватая $W_o = 0{,}7W_T$	90	46
6	Суглинок легкий $W_o = 0{,}75W_T$	-	34

19. Определяют толщину слоя грунта ниже подошвы дорожной одежды, в пределах которой проявляется влияние динамической нагрузки на деформативные характеристики грунта по формуле (8.3):

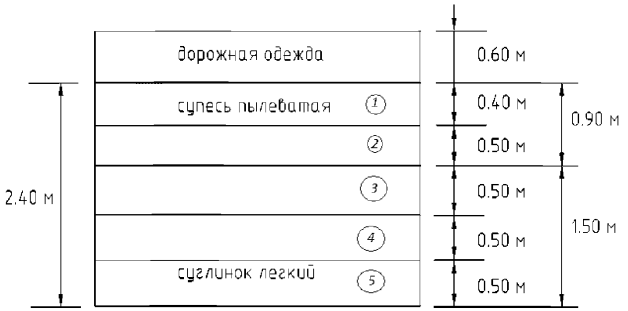
$$H = 3{,}0 - h_{до}$$

где H – зона влияния динамической нагрузки на механические свойства грунтов земляного полотна, м;

$h_{до}$ – суммарная толщина дорожной одежды, м.

$$H = 3{,}0 - 0{,}60 = 2{,}4 \text{ м}$$

1. Рассматриваемую толщу мощностью, H=2,4 м, разбиваем на слои грунта в соответствии с рисунком:



2. Из предварительно принятой конструкции дорожной одежды определяем средневзвешенное значение модуля упругости грунтов земляного полотна, $E_{ср}$, (МПа) по формуле (5.1):

$$E_{ср} = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2 + \cdots + E_n \cdot h_n}{3{,}0 - h_{до}} = \frac{46 \cdot 0{,}9 + 34 \cdot 1{,}5}{3{,}0 - 0{,}60} = 39 \text{ МПа}$$

3. По данным таблицы 2 определяют расчетную результирующую амплитуду колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды в уровне ее подошвы, $A_o = 79$ мкм.

4. Определяем расчетную амплитуду колебаний в центре каждого выделенного слоя по формуле (5.2), принимая $y = b_{до}$ и $h_i = 0$.

5. Коэффициент затухания колебаний по глубине $\delta_1 = 0{,}32$ 1/м.

в слое 1: z = 0,20 м; $A = 79 \cdot e^{0{,}2 \cdot lg 0{,}32} = 72$ мкм;

в слое 2: z = 0,65 м; $A = 79 \cdot e^{0{,}65 \cdot lg 0{,}32} = 57$ мкм;

в слое 3: z = 1,15 м; $A = 79 \cdot e^{1{,}15 \cdot lg 0{,}32} = 45$ мкм;

в слое 4: z = 1,65 м; $A = 79 \cdot e^{1{,}65 \cdot lg 0{,}32} = 34$ мкм;

в слое 5: $z = 2{,}15$ м; $A = 79 \cdot e^{2{,}15 \cdot lg 0{,}32} = 22$ мкм.

6. По формулам, приведенным в отчете по этапу I, вычисляют модули упругости грунта в каждом выделенном слое:

в слое 1:

$E_{\text{у-ст}} = 46$ МПа, $K_{E\text{-}y} = 0{,}35$ (таблица 8); $K' = 0{,}02$ (таблица 6); $A_н = 10$ мкм.

$$E_{\text{у-дн}} = 46 \cdot \left[0{,}65 + 0{,}35 \cdot e^{-0{,}02 \cdot (72-10)}\right] = 35 \text{ МПа};$$

в слое 2:

$E_{\text{у-ст}} = 46$ МПа, $K_{E\text{-}y} = 0{,}35$ (таблица 8); $K' = 0{,}02$ (таблица 6); $A_н = 10$ мкм.

$$E_{\text{у-дн}} = 46 \cdot \left[0{,}65 + 0{,}35 \cdot e^{-0{,}02 \cdot (57-10)}\right] = 36 \text{ МПа};$$

в слое 3:

$E_{\text{у-ст}} = 34$ МПа, $K_{E\text{-}y} = 0{,}25$ (таблица 8); $K' = 0{,}012$ (таблица 6); $A_н = 10$ мкм.

$$E_{\text{у-дн}} = 34 \cdot \left[0{,}75 + 0{,}25 \cdot e^{-0{,}012 \cdot (45-10)}\right] = 31 \text{ МПа};$$

в слое 4:

$E_{\text{у-ст}} = 34$ МПа, $K_{E\text{-}y} = 0{,}25$ (таблица 8); $K' = 0{,}012$ (таблица 6); $A_н = 10$ мкм.

$$E_{\text{у-дн}} = 34 \cdot \left[0{,}75 + 0{,}25 \cdot e^{-0{,}012 \cdot (34-10)}\right] = 32 \text{ МПа};$$

в слое 5:

$E_{\text{у-ст}} = 34$ МПа, $K_{E\text{-}y} = 0{,}25$ (таблица 8); $K' = 0{,}012$ (таблица 6); $A_н = 10$ мкм.

$$E_{\text{у-дн}} = 34 \cdot \left[0{,}75 + 0{,}25 \cdot e^{-0{,}012 \cdot (22-10)}\right] = 33 \text{ МПа};$$

7. По формуле (8.4) вычисляем средневзвешенный динамический модуль упругости грунта на поверхности подстилающего слоя:

$$E_{\text{у-дн}} = \frac{35 \cdot 0{,}4 + 36 \cdot 0{,}5 + 31 \cdot 0{,}5 + 32 \cdot 0{,}5 + 33 \cdot 0{,}5}{2{,}4} = 33 \text{ МПа}$$

8. Дальнейший расчет ведем в соответствии с рекомендациями и требованиями ОДН 218.046-01:

$$\frac{E_н}{E_в} = \frac{35}{420} = 0{,}08$$

по Приложению 1 табл. П.1.1 (ОДН 218.046-01), D = 37 см.

$$\frac{h_в}{D} = \frac{h_щ}{D} = \frac{26}{37} = 0{,}70$$

Тогда: $\frac{E_{об}^{щеб}}{E_{щеб}} = 0{,}24$, следовательно: $E_{об}^{щеб} = 0{,}24 \cdot 420 = 101$ МПа

$$\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{об}^{щеб}}{E_{аб-3}} = \frac{101}{2000} = 0{,}05;\ \frac{h_в}{D} = \frac{h_{аб-3}}{D} = \frac{22}{37} = 0{,}59$$

Тогда: $\frac{E_{об}^{аб-3}}{E_{аб-3}} = 0{,}16$, следовательно: $E_{об}^{аб-3} = 0{,}16 \cdot 2000 = 320$ МПа

$$\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{об}^{аб-3}}{E_{аб-2}} = \frac{320}{2000} = 0{,}16;\ \frac{h_в}{D} = \frac{h_{аб-2}}{D} = \frac{8}{37} = 0{,}22$$

Тогда: $\frac{E_{об}^{аб-2}}{E_{аб-2}} = 0{,}21$, следовательно: $E_{об}^{аб-2} = 0{,}21 \cdot 2000 = 420$ МПа

$$\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{об}^{аб-2}}{E_{аб-1}} = \frac{420}{3200} = 0{,}13;\ \frac{h_в}{D} = \frac{h_{аб-1}}{D} = \frac{4}{37} = 0{,}11$$

Тогда: $\frac{E_{об}}{E_{аб-1}} = 0{,}13$, следовательно: $E_{об} = 0{,}13 \cdot 3200 = 416$ МПа

Требуемый модуль упругости определяем по формуле (3.9) ОДН 218.046-01:

$E_{тр}$ = 98,65 [lg7179494 - 3,55] = 326 МПа;

Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{об}}{E_{тр}} = \frac{416}{326} = 1{,}28$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу - 1,30 (табл. 3.1 ОДН 218.046-01).

Следовательно, выбранная конструкция не удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

Аналогичным расчетом можно показать, что в статической постановке, т.е. принимая на поверхности модуль упругости грунта равным модулю упругости супеси или 46 МПа, $E_{об} = 528$ МПа, а коэффициент прочности по упругому прогибу составляет 1,61.

Библиография

[1]		Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок, М., 1966
[2]	Распоряжение Минтранса России № ОС-1067-р от 03.12.2003	Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах, М., 2004
[3]	Распоряжение Росавтодора Минтранса России от 14.06.2002 г. № 113-р, М., 2002	Типовые решения по восстановлению несущей способности земляного полотна и обеспечению прочности и морозоустойчивости дорожной одежды на пучинистых участках автомобильных дорог.
[4]	Распоряжение Росавтодора Минтранса России от 11.01.2002 г. № 12-р.	Методические рекомендации по технологии армирования асфальтобетонных покрытий добавками базальтовых волокон (фиброй) при строительстве и ремонте автомобильных дорог.
[5]	ВСН 19-89	Правила приемки работ при строительстве и ремонте автомобильных дорог. М., Транспорт, 1990.

Ключевые слова: земляное полотно, дорожная одежда, динамическое воздействие, механические характеристики грунтов, искусственные сооружения, слабые основания, колебания, затухание колебаний, коэффициент устойчивости, несущая способность земляного полотна

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО

(РОСАВТОДОР)

РАСПОРЯЖЕНИЕ

27.04.2016 Москва № 663-р

Об издании и применении ОДМ 218.2.068-2016 «Рекомендации по учёту динамического воздействия от современных транспортных средств при расчётах прочности, устойчивости и деформативности земляного полотна»

В целях реализации в дорожном хозяйстве основных положений Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и обеспечения дорожных организаций рекомендациями по учёту динамического воздействия от современных транспортных средств при расчётах прочности, устойчивости и деформативности земляного полотна:

1. Структурным подразделениям центрального аппарата Росавтодора, федеральным управлениям автомобильных дорог, управлениям автомобильных магистралей, межрегиональным дирекциям по строительству автомобильных дорог федерального значения, территориальным органам управления дорожным хозяйством субъектов Российской Федерации рекомендовать к применению с даты утверждения настоящего распоряжения ОДМ 218.2.068-2016 «Рекомендации по учёту динамического воздействия от современных транспортных средств при расчётах прочности, устойчивости и деформативности земляного полотна» (далее – ОДМ 218.2.068-2016).

2. Управлению научно-технических исследований и информационного обеспечения (А.В. Бухтояров) в установленном порядке обеспечить официальную публикацию ОДМ 218.2.068-2016.

3. Контроль за исполнением настоящего распоряжения возложить на заместителя руководителя И.Г. Астахова.

Руководитель Р.В. Старовойт

gost.e-ecolog.ru

О.В. Каширина
(495) 687-88-23 доб. 50-271