

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Строительный институт
Кафедра автомобильных дорог и городского кадастра

Юрий Евгеньевич Кабанов
Сергей Николаевич Шабаев
Сергей Александрович Иванов

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Методические материалы к курсовой работе

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 08.03.01 Строительство
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Рецензенты: Иванов С.А. – канд, тех. наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог и городского кадастра ФГБОУ ВО Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

Кабанов, Ю.Е., Шабает, С.Н., Иванов С.А. Основы строительства автомобильных дорог: методические материалы к курсовой работе для обучающихся направления подготовки 08.03.01 Строительство Направленность (профиль) «Автомобильные дороги» всех форм обучения / сост. Ю. Е. Кабанов, С. Н. Шабает, С. А. Иванов; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2024. – Текст : электронный.

Приведены материалы необходимые для успешного написания курсового проекта по дисциплине «Основы строительства автомобильных дорог». Назначение издания – помощь обучающимся в получении знаний по дисциплине «Основы строительства автомобильных дорог» и выполнение.

© Кузбасский государственный
технический университет имени
Т. Ф. Горбачева, 2024

© Кабанов Ю. Е.,
Иванов С. А.
Шабает С. Н.
составление, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	6
2 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ПРОЕКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕСТНЫХ УСЛОВИЙ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА	7
2.1 Анализ проектных материалов	7
2.2 Определение продолжительности работ в районе строительства	7
2.3 Оценка грунтовых и гидрогеологических условий и характеристика пригодности грунтов для возведения земляного полотна.....	8
3 ПОПЕРЕЧНЫЕ ПРОФИЛИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА...	10
4 ПОСТОЕНИЕ ГРАФИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС.....	12
5 УСТАНОВЛЕНИЕ СПОСОБОВ ОТСЫПКИ НАСЫПЕЙ И РАЗРАБОТКИ ВЫЕМОК.....	17
6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ТОЛЩИНЫ УПЛОТНЯЕМОГО СЛОЯ ГРУНТА	18
6.1 Гладковальцовые катки.....	18
6.2 Кулачковые катки	19
6.3 Катки на пневматических шинах	20
7 РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ	21
7.1 Расчет производительности бульдозера.....	21
7.2 Расчет производительности автогрейдера	25
7.3 Расчет производительности экскаватора	26
7.4 Расчет производительности автосамосвалов.....	28
7.5 Расчет производительности катков	30
7.6 Расчет производительности поливомоечной машины ...	31
8 СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ.....	32
9 ВЫБОР СОСТАВА ОТРЯДА МАШИН И ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПА ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ.....	36
10 СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЛАНА ПОТОКА ПО ВОЗВЕДЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	37

11 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОТ ПО ВОЗВЕДЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	40
12 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	42
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	43
Приложение А.....	45
Приложение Б	46
Приложение В	47
Приложение Г	48

ВВЕДЕНИЕ

Важно подчеркнуть значимость данной дисциплины, так как она является одной из основных специальностей, дающих общее представление о профессии, объединяющей знания из различных профильных областей. Поэтому изучение данной дисциплины должно быть тесно увязано с другими смежными дисциплинами, такими как «Геодезия», «Геология», «Материалы для строительства дорожных одежд», «Средства механизации строительства», «Основы проектирования автомобильных дорог», «Экономика и управление в дорожном хозяйстве» и др.

Для обеспечения изучения дисциплины на современном уровне необходимо использовать передовой опыт организации и технологии дорожно-строительных работ, теоретические исследования в дорожной отрасли, материалы профильных изданий, экспресс- и реферативную информацию, новые учебники, СП, ГОСТы и т.д.

Программа дисциплины включает курсовой проект. Целью курсового проекта «Строительство земляного полотна автомобильной дороги» является обобщение и закрепление теоретических знаний, умений и навыков по вопросам технологии возведения земляного полотна, а также применение их в практической инженерной деятельности.

1 ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Для разработки проекта производства работ строительства земляного полотна участка автомобильной дороги используются следующие исходные материалы из курсового проекта по дисциплине «Основы проектирования автомобильных дорог»:

- Попикетная ведомость объемов земляных работ;
- Грунтовые и гидрологические условия;
- Район строительства;
- Протяженность и техническая категория участка дороги;
- Сроки строительства (Приложение Б).

2 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ПРОЕКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕСТНЫХ УСЛОВИЙ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА

2.1 Анализ проектных материалов

В пояснительной записке дается характеристика строящейся дороги (положение дороги на местности, наиболее характерные показатели продольного и поперечного профилей, геометрические размеры земляного полотна по отдельным участкам, попутная ведомость объемов земляных работ, характеристика искусственных сооружений, вероятные места закладки карьеров, кавальеров и т. д.) [12].

2.2 Определение продолжительности работ в районе строительства

Этот раздел должен содержать все необходимые и достаточные для проектирования производства земляных работ данные, которые принимают по нормативной и справочной литературе [5,6, 12] и (Приложение А, В)

Следует указать:

- Дорожно-климатическую зону [6];
- Среднемесячные температуры воздуха [5];
- Продолжительность светового дня (Приложение В);
- Толщину снежного покрова (Приложение А);
- Даты образования и разрушения устойчивого снежного покрова (Приложение А);
- Количество осадков (Приложение А);
- Сроки промерзания и оттаивания грунта;
- Период весенней и осенней распутицы.

На основе полученных данных строят дорожно-климатический график. Даты промерзания и оттаивания грунта следует принимать исходя из сроков наступления устойчивых температур воздуха, соответственно весной и осенью $+5^{\circ}\text{C}$.

Периоды весенней и осенней распутиц (при отсутствии данных метеостанции) следует устанавливать следующим образом.

Начало весенней и окончание осенней распутицы принимают соответственно по средним датам разрушения и образования

устойчивого снежного покрова. Окончание весенней и начало осенней распутиц принимают по датам начала и окончания летнего строительного сезона по возведению земляного полотна [12, 14].

Продолжительность светового дня определяют непосредственно по дорожно-климатическому графику, на котором изображают ломаные линии времени захода и восхода солнца по месяцам [12].

На дорожно-климатическом графике указывают сроки проведения линейных и сосредоточенных работ.

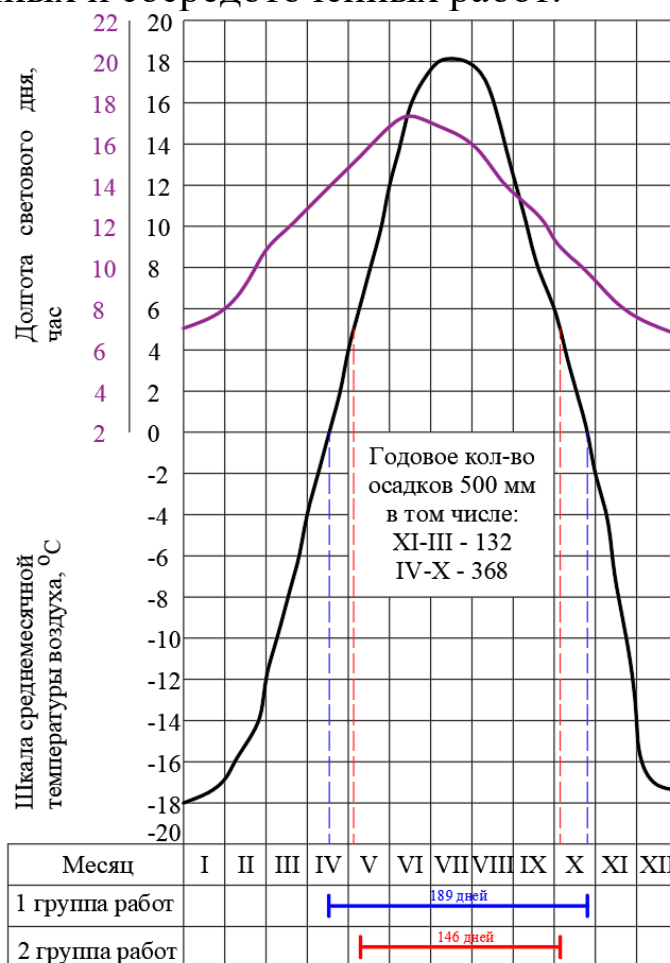


Рисунок 1 - Дорожно-климатический график района строительства автомобильной дороги

2.3 Оценка грунтовых и гидрогеологических условий и характеристика пригодности грунтов для возведения земляного полотна

Грунтовые условия района строительства определяются типом грунтов, указанных в задании к курсовой работе по «Основы

проектирования автомобильных дорог» и на геологических разрезах продольного профиля.

В случае неблагоприятных грунтово-гидрологических условий необходимо предусмотреть мероприятия по регулированию водного режима при строительстве земляного полотна.

Рабочий слой (верхняя часть земляного полотна, располагающаяся в пределах $2/3$ глубины промерзания от низа дорожной одежды, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия проезжей части) должен состоять из не пучинистых грунтов на глубину 1,2 м от поверхности цементобетонных и на глубину 1,0 м от асфальтобетонных покрытий во II дорожно-климатической зоне и на 1,0 и 0,8 м соответственно в III дорожно-климатической зоне [5].

В пояснительной записке должны быть приведены данные о грунтах, применяемых в строительстве, грунтовых карьерах, оценка их пригодности для возведения земляного полотна, а также должна быть характеристика грунтов по степени трудности их разработки механизированным способом. С учетом типа и условий работ рекомендуемых грунтов должна быть определена крутизна откосов насыпей и выемок.

3 ПОПЕРЕЧНЫЕ ПРОФИЛИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

При проектировании земляного полотна следует применять типовые (рисунок 2) или индивидуальные решения, в том числе типовые решения [14; 18] с индивидуальной привязкой.

На рисунке 2 представлены примерные поперечные профили земляного полотна автомобильных дорог в насыпи (рисунок 2, а) и в выемке (рисунок 2, б) на которых указаны:

- Ширина земляного полотна ($B_{з.п.}$);
- Ширина проезжей части (b);
- Ширина обочины (c);
- Ширина земляного полотна без дорожной одежды (B).

Ширину земляного полотна B с учетом толщины дорожной одежды определяют по формуле:

$$B = B_{з.п.} + 2 \cdot (h_{д.о.} \cdot m), \quad (1)$$

где $h_{д.о.}$ – толщина дорожной одежды, m – величина уклона откосов земляного полотна (приложение В).

Все необходимые параметры автомобильной дороги для расчетов назначаются в зависимости от технической категории [19].

Индивидуальные решения следует применять в следующих случаях [5]:

- Для насыпей высотой более 12 м;
- Для насыпей, сооружаемых на слабых основаниях или просадочных грунтах;
- При использовании в насыпях грунтов повышенной влажности;
- Для выемок с высотой откоса более 12 м в нескальных грунтах и более 16 м в скальных при благоприятных инженерно-геологических условиях;
- Для выемок с высотой откоса 6 м в пылеватых грунтах в районах избыточного увлажнения;
- Для выемок в набухающих грунтах при неблагоприятных условиях увлажнения др.

Крутизну заложения откосов (приложение В) определяют в зависимости от типа грунта земляного полотна и условий его работы в насыпи или выемке (расчетный уровень грунтовых вод).

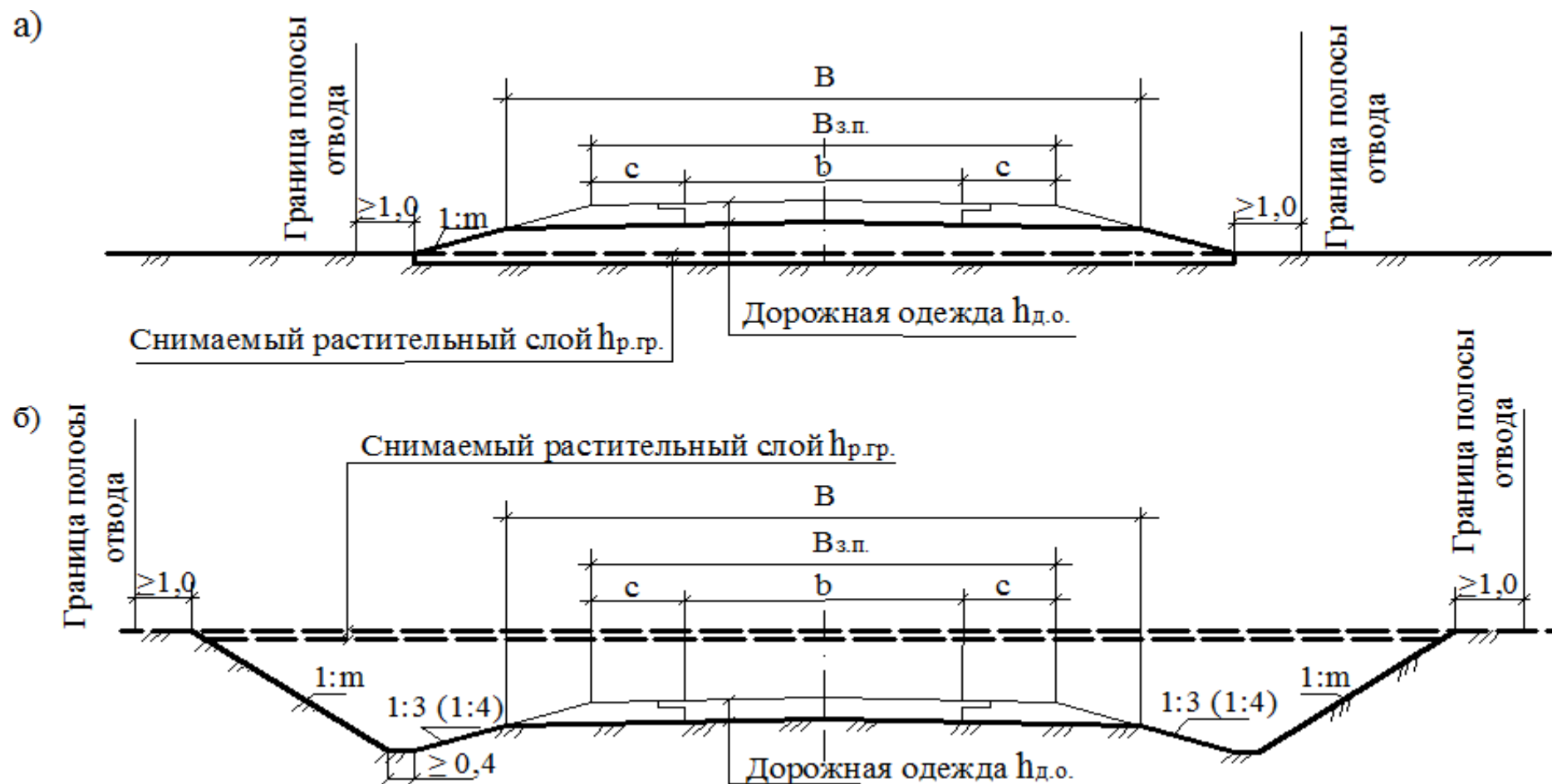


Рисунок 2 – Поперечные профили земляного полотна автомобильных дорог:
а – земляное полотно в насыпи; б – земляное полотно в выемке

4 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС

Подсчет объемов земляных работ по длине дороги производят на основании данных ведомости объемов земляных работ с учетом удаления растительного и непригодного грунта и размещения дорожной одежды по следующим зависимостям:

$$V_{\text{н}} = V_{\text{пр}} \cdot k_{\text{упл}}^{\text{отн}} + V_{\text{р.с.}} \cdot k_{\text{упл}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{пр}}$ – профильный объем, м^3 ;

$V_{\text{р.с.}}$ – объем снимаемого растительного слоя по подошве земляного полотна, м^3 ;

$k_{\text{упл}}^{\text{отн}}$ – коэффициент относительного уплотнения;

$V_{\text{н}}$ – оплачиваемый объем насыпи, м^3 .

$$V_{\text{в}} = V_{\text{пр}} \cdot k_{\text{упл}}^{\text{отн}} - V_{\text{р.с.}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{пр}}$ – профильный объем, м^3 ;

$V_{\text{р.с.}}$ – объем снимаемого растительного слоя по верху выемки, м^3 ;

$k_{\text{упл}}^{\text{отн}}$ – коэффициент относительного уплотнения;

$V_{\text{в}}$ – оплачиваемый объем выемки, м^3 .

Растительный слой снимают на всю ширину подошвы земляного полотна и перемещают его за пределы на 4-5 м.

$$L_{\text{под}} = B + 2 \cdot t \cdot h, \quad (4)$$

где $L_{\text{под}}$ – ширина подошвы насыпи, м;

B – ширина земляного полотна с учетом толщины дорожной одежды, м;

t – величина уклона откосов земляного полотна;

h – рабочая отметка на соответствующем пикете.

При распределении земляных масс устанавливают возможные источники получения грунта для насыпей. В первую очередь решают вопрос использования грунта выемок. Если грунт выемок пригоден для отсыпки насыпи, то его распределяют в соседние насыпи. На первом этапе распределения земляных масс распределение грунта выемок производят приближенно. После решения вопроса об использовании грунта выемок устанавливают, откуда может быть по-

лучен грунт для остальных насыпей. Он может быть получен в специальных грунтовых карьерах.

Фрагмент такого графика приведен на рисунке 3.

Стрелками показаны объемы и распределение разрабатываемого грунта из выемки и грунтового карьера (Карьер) для возведения насыпи.

Кроме определения оплачиваемых объемов работ, для каждого участка насыпи определяют расстояние, на которые будут транспортировать (перемещать) грунт.

Среднее расстояние транспортировки грунта определяют по формуле:

$$l_{\text{ср}} = \frac{V_1 \cdot l_1 + V_2 \cdot l_2 + \dots + V_n \cdot l_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}, \quad (5)$$

где V_1, V_2, V_n – объемы грунта, м³;

l_1, l_2, l_n – соответственно расстояние между центральными тяжести массива грунта до и после его перемещения (дальность перемещения каждого объема), м.

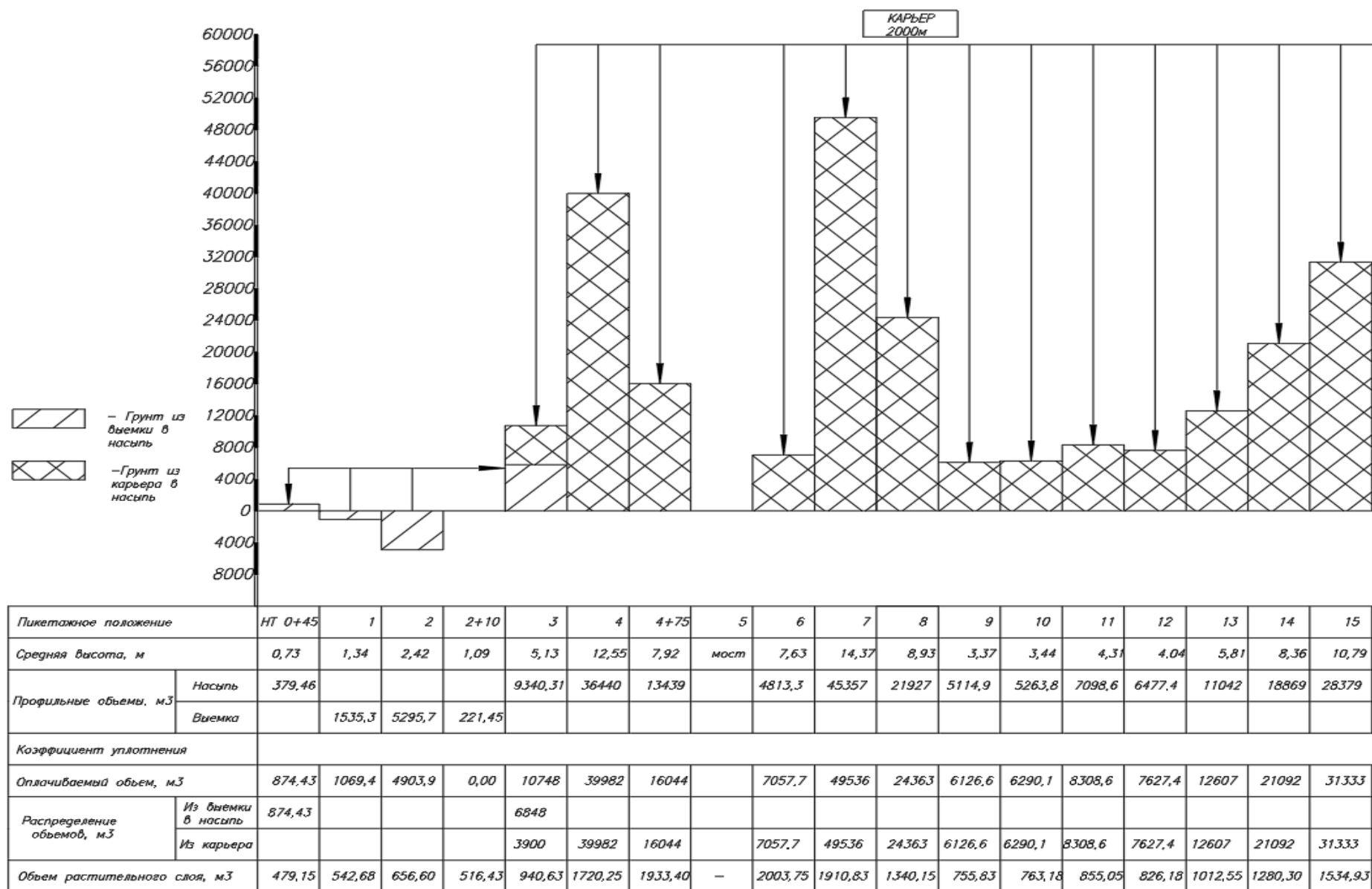


Рисунок 3 – Фрагмент график распределения земляных масс

5 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ПОЛОСЫ ОТВОДА ЗЕМЕЛЬ

Необходимо построить график полосы отвода земель. Фрагмент такого графика представлен на рисунке 4. Временная и постоянная граница полосы отвода земель назначается в соответствии с постановлением Российской Федерации для каждой дороги индивидуально. В работе для упрощения принимается:

Постоянная граница полосы отвода земель = $L_{\text{под}}$ + 10-20 м;

Временная граница полосы отвода земель = Постоянная граница полосы отвода земель + 5 м.

График полосы отвода земель

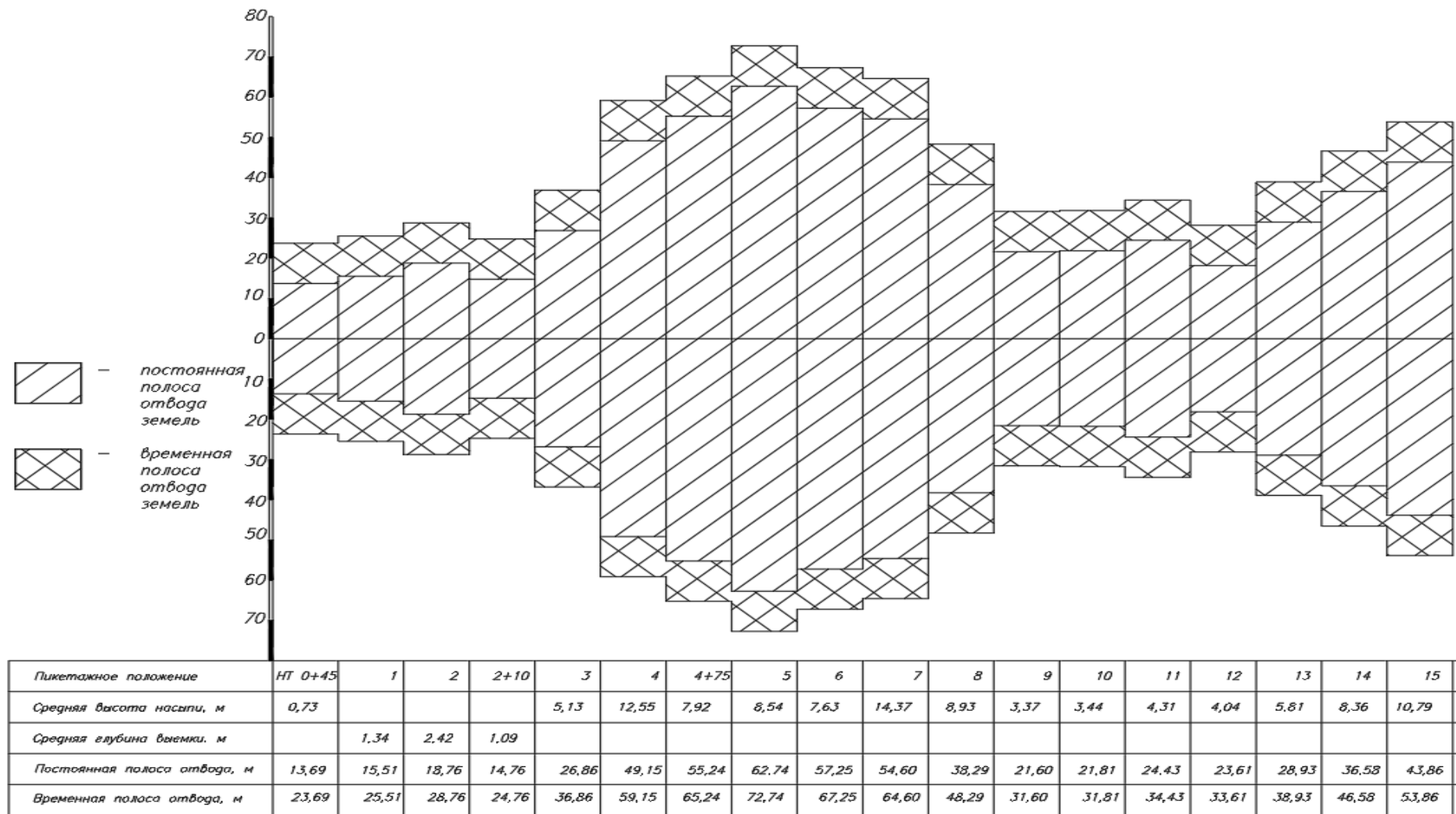


Рисунок 4 - Фрагмент графика полосы отвода земель

6 УСТАНОВЛЕНИЕ СПОСОБОВ ОТСЫПКИ НАСЫПЕЙ И РАЗРАБОТКИ ВЫЕМОК

В зависимости от местных условий, рельефа и геологического строения местности, в том числе расположения различных грунтов, будет установлен способ обратной засыпки каждого участка насыпи и разработка выемок, и применяемые машины. Детальное решение данной задачи в результате будут даны указания о способах отсыпки насыпей и разработки выемок на каждом участке дороги. Должна быть представлена карта дороги с указанием способов отсыпки насыпей (послойная или отсыпка с оголовка), выемка грунта (фронтальная или ярусная) и многое другое на каждом участке [14-18].

7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ТОЛЩИНЫ УПЛОТНЯЕМОГО СЛОЯ ГРУНТА

7.1 Гладковальцовые катки

Для гладковальцовых катков оптимальную (рациональную с точки зрения наибольшей эффективности применения уплотняющей техники) толщину уплотняемого слоя грунта в плотном теле (м) ориентировочно можно определить по зависимости:

$$h_{\text{сл}}^{\text{opt}} = 0,01 \cdot INT_5(k_{\text{г}} \cdot k_{\text{д}} \cdot \sqrt{0,5 \cdot q \cdot D_{\text{в}}}), \quad (6)$$

где – INT_5 оператор округления до ближайшего числа кратного 5;

$k_{\text{г}}$ – коэффициент, зависящий от типа уплотняемого грунта; для связных грунтов $k_{\text{г}} = 0,15$, для крупнообломочных грунтов – 0,17, для песков – 0,20;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент динамичности; при уплотнении без вибрации значение коэффициента принимается равным 1,0, а с вибрацией – в соответствии с таблицей 1;

q – распределенная нагрузка, Н/м;

$D_{\text{в}}$ – диаметр вальца, м.

Таблица 1 – Значение коэффициента динамичности

Наименование грунта	Значение коэффициента динамичности
Крупнообломочный грунт с содержанием пылевато-глинистых частиц до 10%	1,9
Крупнообломочный грунт с содержанием пылевато-глинистых частиц от 10% до 25%	1,7
Крупнообломочный грунт с содержанием пылевато-глинистых частиц от 25% до 50%	1,5
Песок	1,5
Супесь	1,3
Суглинок лёгкий	1,2
Суглинок тяжелый	1,15
Глина	1,10

Требуемое количество проходов гладковальцового катка по следу при уплотнении грунтов ориентировочно можно найти по зависимости:

$$n_{\text{пр}} = INT_{\uparrow \text{чет}} \left(\frac{32 \cdot (h_{\text{сл}}^{\text{opt}})^{0,75} \cdot k_{\text{упл}}^{13,5}}{k_{\text{д}}} \right), \quad (7)$$

где $INT_{\uparrow \text{чет}}$ – оператор округления до ближайшего большего целого четного числа;

$k_{\text{упл}}$ – требуемый коэффициент уплотнения грунта – в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Значение коэффициентов относительного уплотнения

Требуемый коэффициент уплотнения K_y	Коэффициент относительного уплотнения $k_{\text{упл}}^{\text{отн}}$ для грунтов и материалов						Шлаки, отвалы промышленности
	Пески, супеси, суглинки пылеватые	Суглинки, глины	Лессы и лессовидные грунты	Скальные грунты при объемной массе, г/см ³			
				1,9-2,2	2,2-2,4	2,4-2,7	
1,00	1,10	1,05	1,30	0,95	0,89	0,84	1,26-1,47
0,95	1,05	1,00	1,15	0,90	0,85	0,80	1,20-1,40
0,90	1,00	0,95	1,10	0,85	0,80	0,76	1,13-1,33

7.2 Кулачковые катки

В связи с тем, что при уплотнении кулачковыми катками увеличение плотности слоя происходит снизу вверх, на толщину уплотняемого слоя оказывает влияние высота кулачков. Для кулачковых катков оптимальную (рациональную с точки зрения наибольшей эффективности применения) толщину уплотняемого слоя грунта (м) ориентировочно можно определить по зависимости:

$$h_{\text{сл}}^{\text{opt}} = 0,01 \cdot INT_5 (k_{\text{д}} \cdot k_{\text{г}} \cdot \sqrt{0,5 \cdot q \cdot D_{\text{в}}} + 1,5 \cdot \sqrt{F} - 5), \quad (8)$$

где – оператор округления до ближайшего числа кратного 5;
 INT_5 – коэффициент динамичности; при уплотнении без вибрации значение коэффициента принимается равным 1,0, а с вибрацией – в соответствии с таблицей 2;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент, зависящий от типа уплотняемого грунта; для связных грунтов, для крупнообломочных грунтов – 0,17;

$k_{\text{г}}$ – распределенная нагрузка, Н/м;

$D_{\text{в}}$ – диаметр вальца, м;

F – площадь контактной поверхности кулачка, см².

7.3 Катки на пневматических шинах

Для катков на пневматических шинах оптимальную (рациональную с точки зрения наибольшей эффективности применения) толщину уплотняемого слоя грунта (м) ориентировочно можно определить по зависимости:

$$h_{\text{сл}}^{\text{opt}} = 0,01 \cdot \text{INT}_5(k_{\text{г}} \cdot \sqrt{Q_{\text{ш}}}), \quad (9)$$

где INT_5 – оператор округления до ближайшего числа кратного 5;

$k_{\text{г}}$ – коэффициент, зависящий от типа уплотняемого грунта; для связных грунтов $k_{\text{г}} = 0,15$, для крупнообломочных грунтов – 0,17, для песков – 0,20;

$Q_{\text{ш}}$ – вес, приходящийся на одну шину, Н.

8 РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Все основные исходные данные для расчета производительности, выбора модели и назначения требуемого количества используемой техники принимаются исходя из желания студента.

Для рационального комплектования специализированного отряда для проведения работ по возведению земляного полотна сначала необходимо выявить комплекс выполняемых технологических операций. На современном этапе наиболее часто встречающимися в практике технологическими операциями при возведении земляного полотна являются:

- Снятие плодородного растительного слоя (ПРС) бульдозерами, скреперами или автогрейдерами;
- Планировка основания автогрейдерами или бульдозерами;
- Доуплотнение основания катками;
- Устройство строительного (построечного) водоотвода путем нарезки кюветов автогрейдерами или экскаваторами;
- Разработка грунта в карьере или выемке экскаваторами, фронтальными погрузчиками или скреперами;
- Доставка разработанного грунта автосамосвалами или скреперами;
- Распределение доставленного грунта автогрейдерами, бульдозерами или скреперами;
- Уплотнение распределенного грунта катками;
- Планировка откосов с последующим их укреплением грунтом ПРС бульдозерами, автогрейдерами или экскаваторами-планировщиками;
- Устройство проектных кюветов автогрейдерами или экскаваторами с последующим их укреплением в соответствии с проектом;
- Рекультивация нарушенных земель бульдозерами, автогрейдерами или экскаваторами.

Часть технологических операций (планировка и доуплотнение основания, устройство строительного (построечного) и проектного водоотвода, планировка и «чернение» откосов с использованием грунта ПРС, рекультивация нарушенных территорий) являются вспомогательными (не основными) и могут выполняться машинами в сво-

бодное от основных операций время или другими машинами, включаемыми в состав специализированного отряда.

При возможности выбора парка машин, предпочтение следует отдавать тем, которые являются более универсальными и способны качественно выполнить целый комплекс операций. В связи с этим, при комплектовании специализированного отряда рекомендуется использовать следующий парк машин:

- Бульдозеры (для снятия ПРС и «надвижки» его обратно на откосы, распределения доставленного грунта, рекультивации нарушенных территорий);
- Автогрейдеры (для планировки основания и откосов, устройства строительного (построечного) и проектного водоотвода, распределения доставленного грунта, рекультивации нарушенных территорий);
- Экскаваторы (для разработки грунта в выемках и резервах, нарезки кюветов при устройстве строительного (построечного) или проектного водоотвода, рекультивации нарушенных территорий);
- Автосамосвалы (для транспортировки грунта);
- Катки (для уплотнения грунта и доуплотнения основания).

Для того чтобы определить оптимальный часовой объем работ необходимо знать производительность каждой из машин при выполнении той или иной операции. В связи с этим необходимо рассчитать производительность машин при выполнении следующих основных операций:

- Снятие ПРС;
- Разработка грунта в выемке или резерве;
- Транспортировка разработанного грунта;
- Распределение доставленного грунта;
- Уплотнение распределенного грунта.

8.1 Расчет производительности бульдозера

Эксплуатационная производительность бульдозера ($\text{м}^3/\text{ч}$) при разработке и перемещении грунта равна:

$$П_б = \frac{q \cdot k_{\pi}}{t_{ц}} \cdot k_{гр} \cdot k_{э}, \quad (10)$$

где q – объем грунта, м^3 , перемещаемый бульдозером в начале транспортирования;

k_{π} – коэффициент, учитывающий потери грунта в процессе перемещения, определяемый по зависимости:

$$k_{\pi} = 1 - 0,005 \cdot L_{\pi}, \quad (11)$$

где L_{π} – дальность перемещения грунта, м;

t_{π} – время полного цикла работы бульдозера, ч;

$k_{гр}$ – коэффициент, учитывающий группу грунта по трудности разработки (таблица 3), принимаемый равным для грунтов первой группы 1,0, второй группы – 0,88, третьей группы – 0,75, четвертой группы – 0,60;

$k_{э}$ – коэффициент перехода от технической производительности к эксплуатационной, $k_{э} = 0,82$.

Объем грунта в плотном состоянии, перемещаемый бульдозером в начале транспортирования определяется по зависимости:

$$q = \frac{l \cdot h^2}{2 \cdot k_{\pi p} \cdot k_p}, \quad (12)$$

где l – длина отвала, м;

h – высота отвала, м;

$k_{\pi p}$ – поправочный коэффициент, принимаемый по таблице 4;

k_p – коэффициент разрыхления, приблизительно равный коэффициенту запаса на уплотнение (таблица 5);

Время полного цикла бульдозера равно:

$$t_{\pi} = t_n + t_{\pi} + t_{об} + t_{пер}, \quad (13)$$

где t_n – затраты времени на нарезание (набор) грунта, $t_n = 0,0025$ ч;

t_{π} – затраты времени на перемещение грунта, ч;

$t_{об}$ – время обратного хода, ч;

$t_{пер}$ – затраты времени на переключение передач, подъем и опускание отвала, $t_{пер} = 0,0015$ ч.

Время на перемещение грунта и обратного хода определяется из условия равномерного движения бульдозера:

$$t_n = \frac{L_n}{1000 \cdot v_n}, \quad t_{об} = \frac{L_n + 10}{1000 \cdot v_{об}}, \quad (14)$$

где L_n – дальность перемещения грунта, м;

$v_n, v_{об}$ – соответственно скорость движения бульдозера при перемещении грунта и при обратном (холостом) ходе, км/ч; при перемещении грунта скорость принимают 4...6 км/ч, при обратном ходе – 60...70 % от максимальной конструктивной скорости движения на задней передаче (обычно 5...6 км/ч).

Таблица 3 – Группы грунта по трудности разработки

Вид грунта	Группа грунта по трудности разработки:		
	Бульдозерами	Автогрейдерами	Экскаваторами
Растительный грунт без корней древесно-кустарниковой растительности	I	I	I
Растительный грунт с корнями древесно-кустарниковой растительности или примесью щебня, гравия	II	-	I
Глина без примесей щебня, гравия	II	II	II
Глина с примесью щебня, гравия	III	III	III
Суглинок легкий без примесей	I	I	I
Суглинок тяжелый или с примесью щебня, гравия	II	II	II
Супесь	II	I	II
Песок	II	II	I
Гравийно-галечниковые грунты с размером частиц до 80 мм	II	III	I
Гравийно-галечниковые грунты с размером частиц свыше 80 мм	III	-	II
Гравийно-галечниковые грунты с размером частиц свыше 80 мм с наличием валунов	IV	-	III

Таблица 4 – Значения поправочного коэффициента $k_{пр}$

Отношение h/l	0,15	0,30	0,35	0,45	0,60
Значение $k_{пр}$ для связных грунтов	0,70	0,80	0,85	0,95	0,90
Значение $k_{пр}$ для несвязных грунтов	1,15	1,20	1,25	1,50	1,30

Эксплуатационная производительность бульдозера ($m^3/ч$) при распределении грунта равна:

$$P_6 = \frac{L_{пр} \cdot (l \cdot \sin \alpha - \Delta l) \cdot h_{сл} \cdot k_{зу} \cdot k_э}{n \cdot \left(\frac{L_{пр}}{1000 \cdot v_{об}} + t_{пер} \right)}, \quad (15)$$

где $L_{пр}$ – для прохода при распределении грунта, м;

α – угол захвата (для бульдозеров с поворотным отвалом);

Δl – ширина перекрытия следа, принимаемая равной 0,3...0,4 м;

$h_{сл}$ – толщина слоя в плотном теле, м;

$k_{зу}$ – коэффициент запаса на уплотнение (таблица 5);

n – количество проходов по следу, 2...4.

Таблица 5 – Ориентировочные значения насыпной плотности и коэффициента запаса на уплотнение грунтов и материалов

№ п/п	Наименование грунта или материала	Насыпная плотность, т/м ³	Коэффициент запаса на уплотнение
1	Крупнообломочный грунт	1,30	1,30...1,50
2	Мелкообломочный грунт, в том числе песок	1,30	1,20...1,25
3	Супесь	1,25	1,25...1,35
4	Суглинок	1,30	1,25...1,35
5	Глина	1,40	1,25...1,35
6	Щебень легкоуплотняемый	1,40	1,30...1,40
7	Щебень трудноуплотняемый, черный щебень	1,40	1,20...1,30
8	Щебеночно-песчаная смесь	1,55	1,30...1,40
9	Гравийно-песчаная смесь	1,65	1,15...1,25
10	Песок (строительный), черный песок	1,50	1,10...1,15
11	Асфальтобетонная смесь	1,85	1,25...1,35
12	Цементобетонная смесь	2,25	1,10...1,15

Эксплуатационная производительность бульдозера (м²/ч) при планировании поверхности равна:

$$P_6 = \frac{L_{\text{пр}} \cdot (l \cdot \sin \alpha - \Delta l) \cdot k_э}{n \cdot \left(\frac{L_{\text{пр}}}{1000 \cdot v_{\text{пб}}} + t_{\text{пер}} \right)}, \quad (16)$$

8.2 Расчет производительности автогрейдера

Эксплуатационная производительность автогрейдеров (м³/ч) при распределении грунта или материалов равна:

$$P_a = \frac{L_{\text{пр}} \cdot (l_r \cdot \sin \alpha - \Delta l) \cdot h_{\text{сл}} \cdot k_{\text{зу}} \cdot k_э}{n \cdot \left(\frac{L_{\text{пр}}}{1000 \cdot v_{\text{ра}}} + t_{\text{пр}} \right)}, \quad (17)$$

где $L_{\text{пр}}$ – длина прохода при распределении, м; при распределении грунтов – 100 м, при распределении дорожно-строительных материалов – 50 м;

l_r – длина грейдерного отвала, м;

α – угол захвата, чаще всего $\alpha = 60^\circ$;

Δl – ширина перекрытия следа, принимаемая равной 0,3...0,4 м;

$h_{\text{сл}}$ – толщина слоя в плотном теле, м;

$k_{\text{зу}}$ – коэффициент запаса на уплотнение (таблица 5);

$k_э$ – коэффициент перехода от технической производительности автогрейдера к эксплуатационной, $k_э = 0,82$;

n – количество проходов по следу: при распределении грунта $n = 2 \dots 4$, при распределении дорожно-строительных материалов $n = 16 \dots 24$;

$v_{ра}$ – скорость автогрейдера при распределении грунта и дорожно-строительных материалов, принимаемая равной $4 \dots 6$ км/ч;

$t_{пр}$ – прочие затраты времени (на переключение передач, развороты, настройку отвала и т. д.), $t_{пр} = 0,012$ ч.

Эксплуатационная производительность автогрейдера ($\text{м}^2/\text{ч}$) при планировании (профилировании) поверхности равна:

$$П_a = \frac{L_{пр} \cdot (l \cdot \sin \alpha - \Delta l) \cdot k_э}{n \cdot \left(\frac{L_{пр}}{1000 \cdot v_{пла}} + t_{пр} \right)}, \quad (18)$$

где $v_{пла}$ – скорость автогрейдера при планировании поверхности, равная в среднем $10 \dots 12$ км/ч.

8.3 Расчет производительности экскаватора

Эксплуатационная производительность одноковшовых экскаваторов ($\text{м}^3/\text{ч}$) при разработке грунта равна:

$$П_{экс} = \frac{q}{t_{ц} \cdot k_p} \cdot k_n \cdot k_э, \quad (19)$$

где q – объем ковша экскаватора, м^3 ;

$t_{ц}$ – продолжительность рабочего цикла экскаватора, ч, принимается по таблице 6;

k_p – коэффициент разрыхления, равный в среднем для связных грунтов (в том числе растительного) $1,20 \dots 1,30$, мелкообломочных грунтов, в том числе песчаных – $1,10 \dots 1,20$, крупнообломочных грунтов – $1,30 \dots 1,50$;

k_n – коэффициент наполнения ковша экскаватора, принимается по таблице 7;

$k_э$ – коэффициент перехода от технической производительности экскаватора к эксплуатационной, $k_э = 0,7$ при разработке грунта с погрузкой в транспортные средства, $k_э = 0,82$ при работе навывмет.

Таблица 6 – Коэффициент наполнения ковша экскаватора

Грунт	Коэффициент набора грунта экскаватора с оборудованием:		
	Прямая лопата	обратная	грейфер
Пылевато-глинистые грунты повышенной влажность	1,35	1,23	0,90
Глина	1,10	1,02	0,80
Суглинок	1,07	0,90	0,75
Супесь, песок, гравий	1,20	1,15	0,85
Крупнообломочный грунт	0,83	0,68	-

Таблица 7 – Продолжительность рабочего цикла одноковшовых экскаваторов

Объем ковша экскаватора, м ³	Продолжительность цикла, ч, работы экскаватора с оборудованием:		
	Прямая лопата	Обратная лопата	Драглайн и с грейферным ковшом
Менее 1	0,0047	0,0054	0,0061
От 1 до 2	0,0051	0,0064	0,0069
Свыше 2	0,0061	0,0079	0,0081

8.4 Расчет производительности автосамосвалов

Так как оптимальным считается вариант, при котором кузов автосамосвала полностью заполняется за 3...5 ковшей, то оптимальный объем кузова автосамосвала «с шапкой» должен составлять:

$$q \cdot k_H \cdot n_{\text{КОВШ}}^{\min}, \quad \text{минимальный} \quad (20)$$

$$\text{– максимальный } q \cdot k_H \cdot n_{\text{КОВШ}}^{\max}, \quad (21)$$

Эксплуатационная производительность автосамосвалов (т/ч) при транспортировке грунта равна:

$$P_{\text{авт}} = \frac{Q}{\frac{2L_{\text{тр}}}{v_{\text{тр}}} + t_n + t_{\text{пр}}} \cdot k_{\text{э}}, \quad (22)$$

где Q – масса груза, транспортируемого автосамосвалом, т;

$L_{\text{тр}}$ – дальность транспортировки, км;

$v_{\text{тр}}$ – средняя скорость транспортировки, составляющая 45...55 км/ч при осуществлении транспортировки по дорогам с дорожной одеждой капитального типа, 35...45 км/ч – с дорожной одеждой переходного типа, 25...35 км/ч – с дорожной одеждой низшего типа;

t_n – время на погрузку автосамосвала, ч;

$t_{\text{пр}}$ – время на разгрузку автосамосвала и прочие затраты времени, принимаемое равным 0,05 ч при разгрузке материала или грунта непосредственно на основание, и $(0,01 \cdot Q)$ ч при разгрузке в приемный бункер укладочных машин;

$k_{\text{э}}$ – коэффициент перехода от технической производительности автосамосвала к эксплуатационной, $k_{\text{э}} = 0,82$.

Масса груза, транспортируемого автосамосвалом при его загрузке экскаватором (погрузчиком), определяется из зависимости:

$$Q = q \cdot k_H \cdot n_{\text{КОВШ}} \cdot \rho, \quad (23)$$

где q – объем ковша экскаватора (погрузчика), м³;

k_H – коэффициент наполнения ковша экскаватора (погрузчика);

$n_{\text{КОВШ}}$ – число ковшей экскаватора (погрузчика), за которые полностью загружается автосамосвал;

ρ – насыпная плотность грунта или материала, т/м³.

Время на погрузку автосамосвала зависит от условий производства работ. При этом сравнивают между собой грузоподъемность автосамосвала и возможную массу перевозимого груза исходя из геометрического объема кузова с «шапкой»:

$$G_a \cup V_{\text{кш}} \cdot \rho, \quad (24)$$

где G_a – грузоподъемность автосамосвала, т;

$V_{\text{кш}}$ – объем кузова автосамосвала с «шапкой», м³.

1. При работе в комплексе с экскаватором или погрузчиком:

Если $G_a < V_{\text{кш}} \cdot \rho$, то время на погрузку будет определяться из зависимости:

$$t_n = 1,5 \cdot t_{\text{ц}} \cdot \dot{n}_{\text{ковш}}, \quad (25)$$

$$\dot{n}_{\text{ковш}} = INT \downarrow \left(\frac{G_a}{q \cdot k_{\text{н}} \cdot \rho} \right), \quad (26)$$

где $INT \downarrow$ – оператор округления до ближайшего меньшего целого числа.

Если $G_a > V_{\text{кш}} \cdot \rho$, то время на погрузку равно:

$$t_n = 1,5 \cdot t_{\text{ц}} \cdot \dot{n}_{\text{ковш}}, \quad (27)$$

$$\dot{n}_{\text{ковш}} = INT \downarrow \left(\frac{V_{\text{кш}}}{q \cdot k_{\text{н}}} \right), \quad (28)$$

2. При загрузке автосамосвалов асфальтобетонной (цементобетонной) смесью непосредственно из смесителей:

Если $G_a > V_{\text{кш}} \cdot \rho$, то время на погрузку автосамосвала определяют из зависимости:

$$t_n = 0,017 \cdot g \cdot INT \downarrow \left(\frac{V_{\text{кш}} \cdot \rho}{g} \right), \quad (29)$$

где g – масса одного замеса, т.

Если $G_a < V_{\text{кш}} \cdot \rho$, то время на погрузку автосамосвала равно:

$$t_n = 0,017 \cdot g \cdot INT \downarrow \left(\frac{G_a}{g} \right), \quad (30)$$

3. При загрузке автосамосвалов асфальтобетонной (цементобетонной) смесью из накопительного бункера время на погрузку автосамосвала принимается равным 0,015...0,025 ч.

8.5 Расчет производительности катков

Производительность любых катков равна:

$$P_k = \frac{(B_{\Pi} - B_{\text{пер}}) \cdot L_{\text{пр}} \cdot h_{\text{сл}} \cdot k_{\text{зу}} \cdot k_{\text{попр}} \cdot k_{\text{э}}}{\left(\frac{L_{\text{пр}}}{1000 \cdot v_k} + t_{\text{пр}} \right) \cdot n_{\text{пр}}}, \quad (31)$$

где B_{Π} – ширина уплотняемой полосы, м;

$B_{\text{пер}}$ – ширина перекрытия следа, м; при уплотнении грунтов ширину перекрытия следа принимают равную 1/3 ширины уплотняемой полосы (ширины вальца); при уплотнении слоев дорожной одежды из несвязных инертных материалов (слои из щебня, щебеночно-гравийно-песчаных смесей и др.) ширину перекрытия следа принимают равной 0,4...0,6 м; при уплотнении слоев дорожной одежды из асфальтобетонных смесей ширину перекрытия следа принимают равной 0,2...0,3 м;

$L_{\text{пр}}$ – длина прохода катка, м; при уплотнении грунтов длину прохода можно принять 100 м; при уплотнении слоев дорожной одежды – 50 м;

$h_{\text{сл}}$ – толщина уплотняемого слоя в плотном теле, м;

$k_{\text{зу}}$ – коэффициент запаса на уплотнение (таблица 3);

$k_{\text{попр}}$ – поправочный коэффициент, принимаемый равным 1,0 для самоходных катков и 0,8 для прицепных катков;

$k_{\text{э}}$ – коэффициент перехода от технической производительности к эксплуатационной, $k_{\text{э}} = 0,82$;

v_k – средняя рабочая скорость катка, составляющая преимущественно от 2,5 до 3,5 км/ч;

$t_{\text{пр}}$ – прочие затраты времени катка, $t_{\text{пр}} = 0,003$ ч;

$n_{\text{пр}}$ – требуемое число проходов катка по следу.

Если требуется определить производительность катков по площади, то в расчетной формуле производительности умножение на толщину уплотняемого слоя в плотном теле и на коэффициент запаса на уплотнение не производится, а производительность имеет размерность $\text{м}^2/\text{ч}$.

8.6 Расчет производительности поливомоечной машины

Эксплуатационная производительность поливомоечных машин ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяется из зависимости:

$$P_{\text{пм}} = \frac{V_{\text{ц}} \cdot k_{\text{э}}}{0,1 \cdot V_{\text{ц}} + \frac{2 \cdot L_{\text{тр}}}{v_{\text{тр}}}}, \quad (35)$$

Где $V_{\text{ц}}$ – объем цистерны, м^3 ; $k_{\text{э}}$ – коэффициент перехода от технической производительности к эксплуатационной, $k_{\text{э}} = 0,82$;

$L_{\text{тр}}$ – дальность транспортировки воды от места набора до объекта, км;

$v_{\text{тр}}$ – средняя скорость транспортировки, км/ч, принимаемая аналогично автосамосвалам.

8.7 Определение длины захватки

Длина возможной захватки ($\text{м}^2/\text{ч}$), обуславливаемой производительностью автогрейдера можно определить по зависимости:

$$L_{\text{захв}} = \frac{P_{\text{а}}}{h_{\text{сл}} \cdot k_{\text{зу}}}, \quad (36)$$

где $h_{\text{сл}}$ – толщина устраиваемого слоя, м;

$k_{\text{зу}}$ – коэффициент запаса на уплотнение (таблица 5).

Длина возможной захватки ($\text{м}^2/\text{ч}$), обуславливаемой производительностью катка, бульдозера, экскаватора и фронтального погрузчика определяется из такой же зависимости, как и автогрейдера.

Длина возможной захватки, обуславливаемой производительностью поливомоечной машины, определяется зависимостью:

$$L_{\text{захв}} = \frac{1000 \cdot P_{\text{пм}}}{H_{\text{р}}}, \quad (37)$$

9 СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Разработанные способы строительства земляного полотна, оптимизация составов отрядов дорожно-строительных машин и темпов ведения ими работ позволяют составить подробные технологические карты строительства автомобильной дороги с использованием наиболее рациональных в данных условиях дорожно-строительных машин.

После выбора ведущих машин и размещения работ по участкам, характеру, способам разработки грунта составляются технологические карты производства работ на один участок линейных работ и на один сосредоточенных работ.

В технологических картах определяются количество, последовательность технологических операций и производится подсчёт основных трудозатрат.

Технологическая карта включает описание следующих стандартных процессов: срезки растительного слоя; уплотнения естественного основания под насыпь; разработка грунта; транспортирования грунта и отсыпки в насыпь; разравнивания; уплотнения; окончательной планировки и отделки поверхности земляного полотна.

Необходимо определить оптимальный темп возведения земляного полотна автомобильной дороги отрядом дорожно-строительных машин. Для определения объемов линейных земляных работ на каждом отсыпaeмом слое земляного полотна автомобильной дороги исходя из минимального сменного объема работ необходимо:

- Определить среднюю рабочую отметку насыпи:

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n}, \quad (38)$$

- Определить ширину основания насыпи ($L_{\text{под}}$) при средней рабочей отметке:

$$L_{\text{под}} = B_{\text{з.п.}} + 2 \cdot m \cdot h_{\text{ср}}, \quad (39)$$

- Назначить толщину и соответственно количество слоев с учетом рекомендуемой толщины уплотнения грунта земляного полотна. Толщину слоев следует назначить одинаковой, а самого верхнего - по возможности меньшей (рисунок 5).

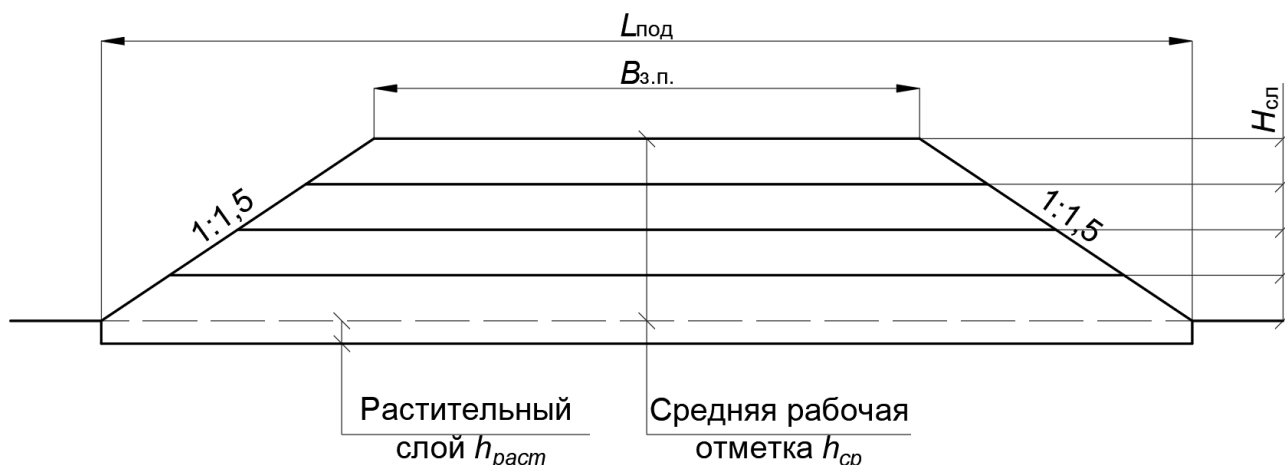


Рисунок 5 - Поперечное сечение земляного полотна на линейных участках

Стоит разбивать насыпь земляного полотна на слои 20-30 см, в зависимости от выбранной техники.

Согласно разбивке насыпи на слои рассчитывают объем каждого слоя на захватку с учетом коэффициента относительного уплотнения ($k_{упл}^{отн}$) по формулам:

$$V_{раст.сл.} = B_{сл} \cdot h_{сл}^i \cdot l_{захв} \cdot k_{упл}^{отн}, \quad (40)$$

где $B_{сл}$ – ширина заменяемого растительного слоя, равная ширине подошвы насыпи при средней рабочей отметке $L_{под}$, м;

$k_{упл}^{отн}$ – коэффициент относительного уплотнения;

$l_{захв}$ – длина захватки;

$h_{сл}^i$ – толщина отсыпаемого слоя, м.

- Первый слой насыпи земляного полотна

$$V_{сл.1} = \frac{L_{под} + (L_{под} - 2 \cdot m \cdot h_{сл}^i)}{2} \cdot h_{сл}^i \cdot l_{захв} \cdot k_{упл}^{отн}, \quad (41)$$

где $L_{под}$ – ширина подошвы насыпи при средней рабочей отметке, м.

- Последующие отсыпаемые слои

$$V_{сл}^i = \frac{a + b}{2} \cdot h_{сл}^i \cdot l_{захв} \cdot k_{упл}^{отн}, \quad (42)$$

где a – верхнее основание предыдущего и соответственно нижнее основание следующего отсыпаемого слоя насыпи, м (поперечное сечение слоя имеет трапециевидальную форму);

b - нижнее основание предыдущего и соответственно верхнее основание следующего отсыпаемого слоя насыпи, м.

Разница между нижним и верхним основаниями отсыпаемого слоя насыпи определяется из зависимости

$$b = a - 2 \cdot m \cdot h_{\text{сл}}^i, \quad (43)$$

Используя необходимые исходные данные, а также результаты вычислений составляют в форме таблицы 8 технологическую карту строительства земляного полотна, дополняя ее операциями по увлажнению грунта до оптимальной влажности и доуплотнению верха земляного полотна.

Таблица 8 – Пример калькуляции затрат на строительство земляного полотна (линейные работы). Отряд № 1 Ведущие машины – автосамосвал и экскаватор

Отряд 1. Ведущие машины - экскаватор и автомобили-самосвалы							
№ операции	Источник обоснования	Наименование операции	Ед. из-мер.	Наименование и марка машин	Произ-вод. Маш. в смену, Π_i	Объём работ на захватке Q	Коэф. ис-польз. K_n
1	2	3	4	5	6	7	8
Подготовительные работы							
1	Расчёт	Снятие растительного слоя с перемещением на 30м	м ³	Бульдозер Komatsu D65 Ex16	1083,72	496,51	0,46
2	Расчёт	Обвалование растительного грунта и перемещение на 40м бульдозером	м ³	Бульдозер Komatsu D65 Ex16	1083,72	498,51	0,46
3	E2-1-37	Планировка основания земляного полотна	м ²	Автогрейдер VOLVO G710B	7068,93	4524,1	0,64
4	Расчёт	Доуплотнение основания виброкатком за 7 проходов	м ²	Виброкаток BW 216 DH-3	5261,41	4524,8	0,86
Послойная отсыпка насыпи							
5	Расчёт	Разработка грунта экскаватором	м ³	Экскаватор VOLVO EC 290B с ёмк. Ковша 2.1м ³	2014,1	1973,8	0,98
6	Расчёт	Перемещение	м ³	Автосамосвал	263,89	1979,2	7,5

Отряд 1. Ведущие машины - экскаватор и автомобили-самосвалы							
№ операции	Источник обоснования	Наименование операции	Ед. измер.	Наименование и марка машин	Производ. Маш. в смену, П ₁	Объём работ на захватке Q	Коэф. исп. польз. К _и
1	2	3	4	5	6	7	8
		грунта в насыпь автосамосвалами на среднее расстояние 2,1 м		Урал 55571-44 ёмкостью кузова 7 м ³			
7	Расчёт	Послойное распределение грунта автогрейдером	м ³	Автогрейдер VOLVO G710B	7068,93	1979,3	0,28
1	2	3	4	5	6	7	8
8	Расчёт	Послойное уплотнение грунта в насыпи кулачковым катком за 7 проходов	м ³	Кулачковый каток BW 225 PD-3 массой 25т	2726,35	1990,2	0,73
9	Расчёт	Профилирование поверхности насыпи автогрейдером	м ²	Автогрейдер VOLVO G710B	25388,44	2031,1	0,07
10	Расчёт	Доуплотнение верха земляного полотна кулачковым катком за 7 проходов	м ²	Кулачковый каток BW 225 PD-3 массой 25т	6611,66	1851,26	0,28
11	Расчёт	Планирование откоса насыпи экскаватором планировщиком	м ²	ГУП ПО «Уралвагонзавод» ЭТ-1 на ЭО-33211	2613,6	1829,52	0,70

Таким образом, комплектуют другие специализированные отряды, составляют технологические схемы и почасовые графики выполнения остальных земляных работ.

10 ВЫБОР СОСТАВА ОТРЯДА МАШИН И ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПА ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

В зависимости от природных условий, рельефа и геологического строения местности, продольного профиля дороги и распределения объемов земляных работ устанавливают рациональные способы строительства земляного полотна на каждом участке дороги.

Разработку и перемещение грунта на заданное расстояние можно осуществлять с использованием следующих вариантов ведущей машины: бульдозера; прицепного скрепера; самоходного скрепера; экскаватора и автомобилей-самосвалов. Каждый из указанных выше вариантов имеет экономически целесообразную область применения. Бульдозеры используют при дальности транспортирования не более 100 м, что связано с потерей грунта при перемещении из призмы волочения. Прицепной скрепер ввиду низкой производительности (малой скорости) уступает в технико-экономическом отношении самоходному скреперу и автосамосвалам даже при малой дальности транспортировки грунта до 0,5 км. При дальности транспортировки до 2,8 км рациональной ведущей машиной является самоходный скрепер, а при дальности свыше 2,8 км – экскаватор и автомобили-самосвалы. Таким образом можно установить зоны применения в качестве ведущих различные землеройно-транспортные машины.

Для выполнения каждой операции технологического процесса по строительству земляного полотна можно использовать различные марки ведущих и комплектующих дорожных машин. Все машины, включаемые в отряд, должны быть согласованы по производительности. Результаты комплектования отрядов приводятся в табличной форме (таблица 9).

Таблица 9 – Состав машино-дорожного отряда

Наименование машин	Марка	$K_{исп}$	Количество машин
Бульдозер	Komatsu D65 Ex16	0,92	1
Автогрейдер	VOLVO G710B	0,99	1
Автосамосвал	Урал 55571-44	7,5	8
Экскаватор	VOLVOEC 290B	0,98	1
Катки	кул. BW 225 PD-3	1,78	2
Профилировщик	ГУП ПО «Уралвагонзавод» ЭТ-1 на ЭО-33211	0,70	1

11 СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЛАНА ПОТОКА ПО ВОЗВЕДЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

План потока составляют в соответствии с принятой технологической картой по строительству земляного полотна последовательности производства работ и распределением различных технологических операций по сменным захватам [11-18] (рисунок 6).

На рисунке 6 представлен план потока по производству насыпи для отряда с ведущей машиной - экскаватором. Допускается составление технологического плана потока, совмещенного с почасовым графиком. На первой захватке осуществляется удаление и обваловывание растительного слоя с помощью бульдозера.

Работа по возведению земляного полотна из привозного грунта экскаваторным отрядом (рисунок 6) выполняют на трех захватах № 2...4.

На второй захватке производят уплотнение естественного основания насыпи катком, движущимся по круговой схеме с шириной перекрытия следа на $1/3$ ширины вальца. Коэффициент уплотнения основания под насыпь должен быть не ниже 0,98.

На третьей захватке выполняют операции по отсыпке, разравниванию и уплотнению грунта.

Расстояние (L) между кучами привозного грунта, выгружаемого из автосамосвалов, определяется по формуле:

$$L = \frac{Q}{b \cdot H_{\text{сл}} \cdot k_{\text{упл}}^{\text{отн}}}, \quad (45)$$

где Q – объем грунта в кузове автосамосвала, м^3 ;

b - средняя ширина слоя отсыпки, м;

$H_{\text{сл}}$ – толщина уплотняемого слоя, м;

$k_{\text{упл}}^{\text{отн}}$ – коэффициент относительного уплотнения грунта.

Грунт на месте выгрузки принимает дорожный рабочий 3 разряда, который подает сигнал на подход и отход автомобилей, регулирует их движение по ширине насыпи.

Во избежание обрушения грунта прилегающей к откосу части насыпи первый проход катка следует делать на расстоянии не менее 2 м от бровки откоса. Последующие проходы смещают на $1/3$ ширины следа в сторону бровки, не доходя до края 0,5 м. Поэтому ширина отсыпки слоев насыпи должна быть на 0,5 м больше с каждой стороны

с целью обеспечения уплотнения краевых частей, прилегающих к откосу.

На четвертой захватке выполняют планировку и профилирование верха земляного полотна автогрейдером, окончательное уплотнение верха земляного полотна катком, срезку излишков грунта с откосов и планировку откосов экскаватором. Экскаватор перемещается вдоль бровки откоса на расстоянии 2...2,5 м от нее. Срезанный грунт автомобилями-самосвалами вывозят в отсыпную часть насыпи.

На основании составленной технологической карты строительства земляного полотна на плане потока строят почасовой график производства работ, на котором показывают взаимодействие машин на сменных захватках (участок дороги, где в течении одной смены должен быть полностью выполнен определенный вид работ) с учетом технологической последовательности операций. При построении почасового графика необходимо соблюдать временную последовательность видов работ так, чтобы каждая предыдущая операция последовательно сменялась последующей. При этом допускается их совмещение, если это возможно с точки зрения технологии производства работ [11].

В связи с тем, что земляные работы неравномерно распределены по длине дороги и количество слоев на различных участках бывает не одинаково, длину захватки определяют сменным объемом работ и устанавливают исходя из условий соблюдения необходимой технологии работ [11 – 18] и производственной мощности отрядов.

Для пояснения принятых решений по технологии и организации работ и почасового графика необходимо указать применяемые приемы выполнения отдельных технических процессов и другие особенности ведения работ: последовательность укладки грунта в каждый слой насыпи, последовательность проходов катка при уплотнении, характеристики забоя для экскаваторов и т. д. Этот материал должен быть отражен в пояснительной записке и на чертежах.

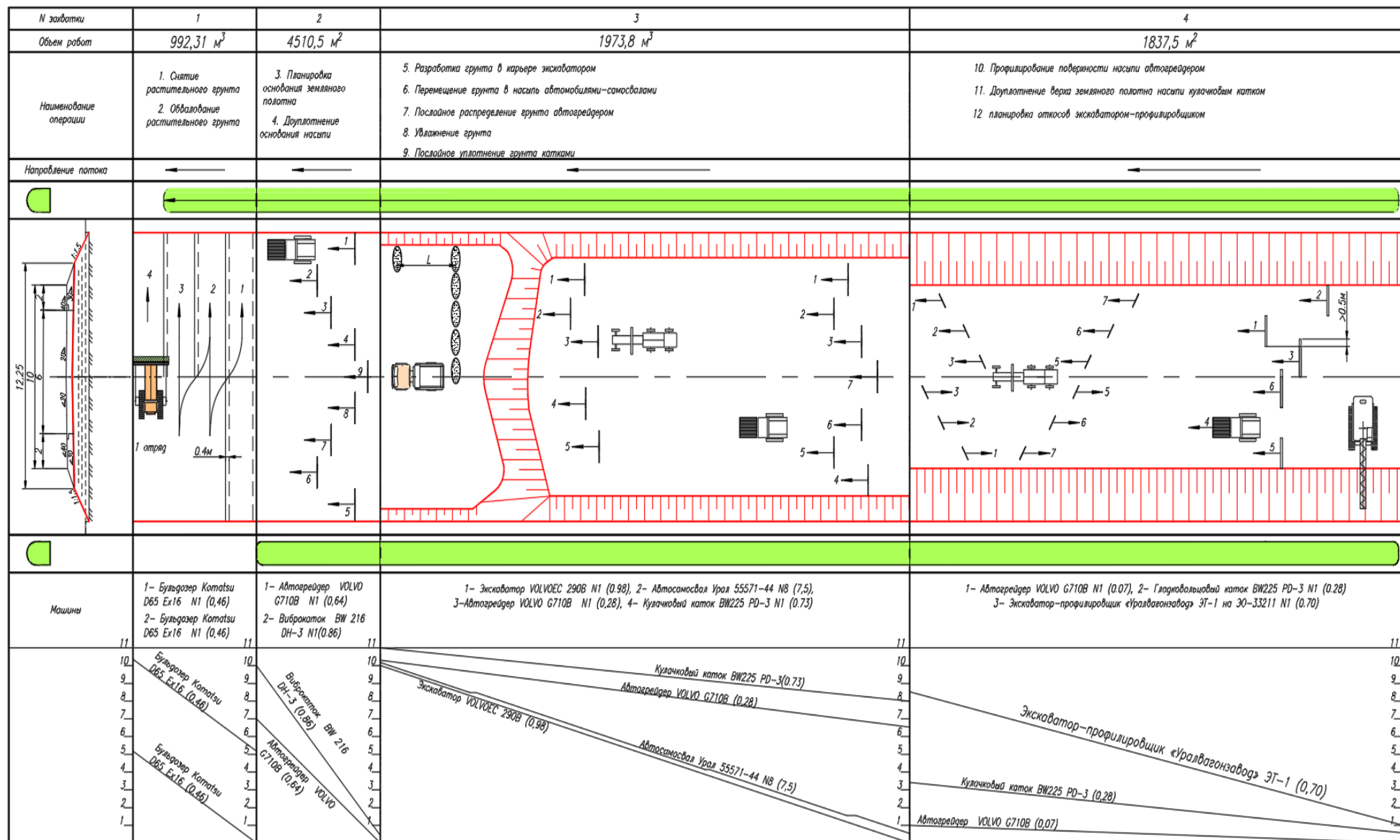


Рисунок 6 – Пример плана потока по строительству земляного полотна (возведение насыпи) для отряда №1 (ведущие машины – автосамосвал и экскаватор)

12 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОТ ПО ВОЗВЕДЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

При операционном контроле качества сооружения земляного полотна следует проверять:

- Правильность размещения осевой линии поверхности земляного полотна в плане и высотные отметки;
- Толщину снимаемого плодородного слоя грунта;
- Плотность грунта в основании земляного полотна;
- Влажность используемого грунта;
- Толщину осыпаемых слоев;
- Однородность грунта в слоях насыпи;
- Плотность грунта в слоях насыпи;
- Ровность поверхности земляного полотна;
- Поперечный профиль земляного полотна;
- Правильность сооружения водоотводных и дренажных устройств, прослоек, укрепления откосов и обочин.

Проверку правильности размещения оси земляного полотна, высотных отметок, поперечных профилей земляного полотна, обочин, водоотводных и дренажных сооружений, толщин слоев, следует производить с помощью геодезических инструментов и шаблонов в трех точках на поперечнике не реже чем через 100 м, а при контроле ровности поверхности земляного полотна – не реже чем через 50 м.

Однородность грунта следует контролировать визуально. Контроль плотности грунта производят в каждом технологическом слое:

а) в поперечнике: по оси земляного полотна и на расстоянии 1,5-2,0 м от бровки, а при ширине более 20 м также в промежутках между ними;

б) в продольном направлении: не реже чем через 200 м по длине при высоте насыпи до 3 м и не реже чем через 50 м при высоте более 3 м в верхнем слое;

в) по глубине: на глубине, равной $\frac{1}{3}$ толщины уплотняемого слоя, но не менее 8 см.

Отклонения от требуемого коэффициента уплотнения в сторону уменьшения допускаются не более чем в 10 % определений от их общего числа и не более чем на 0,04.

Контроль влажности используемого грунта следует производить, как правило, в месте его получения (в резерве, карьере) не реже одного раза в смену и обязательно при выпадении осадков.

Плотность и влажность грунта следует определять по ГОСТ 5180-2015. Для текущего контроля допускается использовать ускоренные и полевые экспресс-методы (объемно-весовой метод с помощью плотномера-влажмера Н. П. Ковалева, методом лунки, радиационные методы, методы с использованием динамических плотномеров).

Допускаемые отклонения контролируемых геометрических параметров и плотность грунта приведены в СП 78.13330.2012 «Автомобильные дороги».

13 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В пояснительной записке должны содержаться следующие элементы: анализ исходных данных, характеристика природных условий района строительства с построением дорожно-климатического графика, распределение земляных масс с закладкой боковых резервов, выбор основных и вспомогательных машин для производства работ, составление технологических планов потоков с указанием размещения и использования машин на захватках, расчет скорости (темпа) производства работ, разработка технологической карты и комплектование машино-дорожного отряда, контроль качества производства работ.

На листах графической части необходимо изобразить: график распределения земляных масс, график границы полосы отвода, технологический план потока на характерный участок линейных работ; таблицу состава отряда дорожных машин на линейные работы. Кроме того, в проекте могут быть разработаны и другие проектные решения, наглядно отражающие технологические особенности отдельных операций (выторфовка, нарезка уступов, уплотнение и т.д.).

Записка должна содержать в компактной форме все расчеты. Желательно текстовую часть свести до минимума и ограничиться показом основных идей и алгоритмом расчета, обоснованием принятых решений. Все повторяющиеся вычисления сводят в таблицы. Рисунки и таблицы должны иметь сквозную нумерацию и содержательные заголовки. Экспликацию формул из конструкторско-нормативной литературы давать не следует. Текстовая часть работы должна быть увязана с графической.

Порядок материалов в пояснительной записке должен быть следующий:

1. Титульный лист (приложение Г);
2. Задание;
3. Оглавление;
4. Текст пояснительной записки;
5. Список использованной литературы;
6. Приложения (чертеж).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 2.105—2019. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам : дата введения 2019-04-29. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 40 с.
2. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин : дата введения 2003-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 34 с.
3. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления : дата введения 2004-07-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 169 с.
4. ГОСТ Р 21.1701—97. Система проектной документации для строительства правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог : дата введения 1997-01-23. – Москва : Госстрой России, 1997. – 34 с.
5. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. – Актуализированная редакция СНиП 23-02-99. – Москва : Минстрой России, 2015. – 124 с.
6. СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги. – Москва : Минстрой России, 2021. – 94 с.
7. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. – Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. – Москва : ЗАО "СоюздорНИИ", 2012. – 67 с.
8. СН 467-74. Нормы отвода земель для автомобильных дорог. – Издание официальное. – Москва : Госстрой России, 2000. – 19 с.
9. ГОСТ 25100—2020. Грунты. Классификация : дата введения 2021-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 41 с.
10. ГОСТ 22733—2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности : дата введения 2017-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 16 с.
11. Некрасов, В.К. Строительство автомобильных дорог (Том 1) / В.К. Некрасов. – Москва : Транспорт, 1980. – 416 с.
12. Бочин, В. А. Строительство автомобильных дорог : справочник инженера-дорожника / В. А. Бочин, М. И. Вейцман, Е. М. Зейгер. – Москва : Транспорт, 1980. – 511 с.
13. ЕНиР. Сборник Е13. Расчистка трассы линейных сооружений от леса. – Издание официальное. – Москва : Стройиздат, 1988. – 35 с.

14. Каменецкий, Б. И. Организация строительства автомобильных дорог / Б. И. Каменецкий, И. Г. Кошкин. – Москва : Транспорт, 1991. – 191 с.
15. Эталон проекта на строительство автомобильной дороги / Минтрасстрой СССР. – М. : 1983. – 39 с.
16. Руководство по производству земляных работ бульдозерами / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1976. – 176 с.
17. Руководство по производству земляных работ одноковшовыми экскаваторами / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1976. – 64 с.
18. Руководство по сооружению земляного полотна автомобильных дорог / Минтрансстрой. – М. : Транспорт, 1982. – 160 с.
19. ГОСТ Р 52399—2022. Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования : дата введения 22-01-19. – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – 20 с.

Приложение А

Атмосферные осадки

Наименование пунктов	Количество осадков, мм		Снежный покров	
	за год	жидких за год	средняя дата образования и разруше- ния устойчивого снежного покрова	средняя из наибольших высот за зиму, см
1. Алтайский край	613	380	7/XI-7/IV	46
2. Амурская обл.	575	529	10/XI-23/III	21
3. Владимирская обл.	691	501	24/XI-6/IV	44
4. Волгоградская обл.	478	312	14/XII-20/III	-
5. Вологодская обл.	777	676	13/XI-22/IV	60
6. Воронежская обл.	696	512	4/XII-29/III	25
7. Иркутская обл.	675	540	19/XI-12/IV	12
8. Калининградская обл.	856	702	28/XII-11/III	-
9. Калининская обл.	783	642	1/XII-4/IV	45
10.Калужская обл.	738	598	29/XI-6/IV	-
11.Кировская обл.	657	508	12/XI-16/IV	-
12.Краснодарский край	429	393	25/XII-22/II	12
13.Красноярский край	429	393	12/XI-28/III	42
14.Курганская обл.	472	421	11/XI-5/IV	26
15.Кемеровская обл.	476	362	03/XI-13/IV	51
16.Ленинградская обл.	673	498	6/XII-31/III	42
17.Московская обл.	734	631	28/XI-5/IV	42
18.Новгородская обл.	728	522	6/XI-4/IV	28
19.Новосибирская обл.	514	370	1/XI-10/IV	37
20.Омская обл.	514	370	1/XI-10/IV	37
21.Пензинская обл.	666	460	23/XI-6/IV	55
22.Пермская обл.	821	504	30/XI-27/IV	44
23.Ростовская обл.	593	551	27/XII-28/II	13
24.Самарская обл.	574	453	23/XI-5/IV	12
25.Свердловская обл.	582	442	6/XI-6/IV	41
26.Смоленская обл.	792	681	3/XII-5/IV	47
27.Тамбовская обл.	624	487	28/XI-1/IV	36
28. Томская обл.	514	370	1/XI-10/IV	37
29.Хабаровский край	672	591	15/XI-28/III	11
30.Ярославская обл.	712	608	23/XI-11/IV	49

Приложение Б

Календарная продолжительность строительного сезона

Наименование пунктов	Группа работ			Количество дней с обильными осадками
	дата начала	дата окончания	продолжительность периода	
1. Алтайский край	12.V	23.X	193	6
2. Владимирская обл.	2.IV	31.X	216	28
3. Волгоградская обл.	23.III	15.XI	238	26
4. Вологодская обл.	7.IV	27.X	204	25
5. Воронежская обл.	28.III	10.XI	228	27
6. Иркутская обл.	2.IV	30.X	212	22
7. Калининская обл.	4.IV	2.XI	213	10
8. Калужская обл.	10.IV	27.X	199	32
9. Кировская обл.	10.IV	20.X	194	13
10. Краснодарский край	15.II	24.XII	313	20
11. Красноярский край	10.IV	20.X	203	27
12. Курганская обл.	16.III	12.XI	240	16
13. Кемеровская обл.	15.IV	14.X	183	25
14. Ленинградская обл.	8.IV	27.X	203	27
15. Московская обл.	3.IV	2.XI	214	25
16. Новгородская обл.	2.IV	6.XI	219	25
17. Новосибирская обл.	10.IV	1.XI	213	25
18. Омская обл.	5.IV	25.X	213	20
19. Пензенская обл.	3.IV	1.XI	213	22
20. Пермская обл.	2.IV	4.XI	217	23
21. Ростовская обл.	8.III	30.XI	268	25
22. Самарская обл.	2.IV	4.XI	217	23
23. Свердловская обл.	3.IV	2.XI	214	25
24. Смоленская обл.	30.III	8.XI	224	33
25. Тамбовская обл.	31.III	6.XI	221	24
26. Томская обл.	15.IV	25.X	203	25
27. Хабаровский край	28.III	15.XI	220	24
28. Ярославская обл.	11.IV	4.XI	217	23

Приложение В

Продолжительность светового дня по месяцам

Наименование пункта	Продолжительность светового дня по месяцам											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Архангельск	5	8,5	11,5	15	18,5	22	20	16,5	13	10	6,5	4
Санкт-Петербург	6,5	9	11,5	14,5	17	19	18	15,5	13	10,5	7,5	6
Москва	7,5	9,5	12	14	16	17,5	17	15	13	10,5	8,5	7
Новосибирск	8	9,5	12	14	16	17	17	15	13	10,5	8,5	7

Примечание: 1. Для других городов и населенных пунктов продолжительность светового дня определяется по ближайшему пункту, указанному в прил. 2. Двухсменную работу следует принимать для месяцев со средней продолжительностью дня не менее 14 часов.

Наибольшая крутизна откосов

Грунты насыпи	Наибольшая крутизна откосов при высоте откоса насыпи, м		
	До 6	До 12	
		в нижней части (0-6)	в верхней части (6-12)
Глыбы из слабовыветривающихся пород	1:1 - 1:1,3	1:1,3 - 1:1,5	1:1,3 - 1:1,5
Крупнообломочные и песчаные (за исключением мелких и пылеватых песков)	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Песчаные мелкие и пылеватые, глинистые и лессовые	1:1,5 1:1,75	1:1,75 1:2	1:1,5 1:1,75

Примечания: 1. Под чертой даны значения для пылеватых разновидностей грунтов во II и III дорожно-климатических зонах и для одноразмерных мелких песков.
2. Высота откоса насыпи определяется разностью отметок верхней и нижней бровок откоса. При наличии косогорности высота откоса насыпи определяется разностью отметок верхней и нижней бровок низового откоса.
3. Наибольшую крутизну откоса насыпей их мелких барханных песков в районах с засушливым климатом следует назначать 1: 2 независимо от высоты.

Крутизну откосов насыпей высотой до 3 м на дорогах I - III категорий следует назначать с учетом обеспечения безопасного съезда транспортных средств в аварийных ситуациях, как правило, не круче 1 : 4, а для дорог остальных категорий при высоте откоса насыпи до 2 м - не круче 1 : 3.

Пример оформления титульного листа

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Т. Ф.
ГОРБАЧЕВА»

Строительный институт

Кафедра автомобильных дорог и городского кадастра

Пояснительная записка к курсовой работе по дисциплине
«Основы строительства автомобильных дорог»

Выполнил: ст. гр. СДб-211

И. И. Петров

Проверил: ассистент кафедры АДиГК

Ю. Е. Кабанов