

С. Г. Цупиков, Н. С. Казачек, Л. С. Цупикова



ВОЗВЕДЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ



«Инфра-Инженерия»

С. Г. Цупиков, Н. С. Казачек, Л. С. Цупикова

ВОЗВЕДЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2019

УДК 625.731(075.8)

ББК 39.311-09

Ц86

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой
энергетики теплотехнологий и газоснабжения
Ивановского государственного энергетического университета

О. Б. Колибаба;

кандидат технических наук, доцент,
генеральный директор ООО «Ивановодорпроект»

А. М. Борцов

Научный редактор:

кандидат технических наук, профессор

С. Г. Цупиков

Цупиков, С. Г.

Ц86 Возведение земляного полотна автомобильных дорог : учебное пособие /
С. Г. Цупиков, Н. С. Казачек, Л. С. Цупикова. – Москва ; Вологда : Инфра-
Инженерия, 2019. – 324 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-0339-9

Изложены научные основы технологии возведения земляного полотна автомобильных дорог с теоретическим обоснованием способов обеспечения водоотвода, разработки, транспортирования, разравнивания и уплотнения грунтов в различных условиях рельефа местности и климата. Технология возведения земляного полотна дана с учетом комплексной механизации и поточного метода организации работ.

Для студентов строительных специальностей.

УДК 625.731(075.8)

ББК 39.311-09

ISBN 978-5-9729-0339-9 © С. Г. Цупиков, Н. С. Казачек, Л. С. Цупикова, 2019

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2019

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
Исторический обзор и перспективы развития дорожной отрасли	9
Контрольные вопросы	12
Глава 1. Общие сведения о возведении земляного полотна	13
1.1. Состав дорожно-строительных работ	13
1.2. Особенности дорожно-строительных работ и пути снижения их стоимости	15
1.3. Основы комплексной механизации и автоматизации технологических процессов	16
1.4. Оптимальное использование землеройно-транспортных машин при возведении земляного полотна	19
1.5. Выбор землеройно-транспортных машин	24
1.6. Методы организации дорожно-строительных работ	28
Контрольные вопросы	36
Глава 2. Подготовка дорожной полосы.....	37
2.1. Восстановление и укрепление трассы	37
2.2. Расчистка дорожной полосы	39
2.3. Разбивка земляного полотна	43
2.4. Удаление растительного слоя	48
Контрольные вопросы	51
Глава 3. Строительство водоотводных устройств и сооружений.....	52
3.1. Отвод поверхностных вод	52
3.2. Понижение уровня и отвод грунтовых вод	57
3.3. Устройство водонепроницаемых и капилляропрерывающих слоев	61
3.4. Строительство водопропускных труб	64
Контрольные вопросы	69
Глава 4. Грунты и порядок их взаиморасположения в теле насыпи	70
4.1. Классификация грунтов	70
4.2. Расположение грунтов в теле насыпи	76
Контрольные вопросы	79

Глава 5. Возведение земляного полотна в нескальных грунтах	80
5.1. Рыхление нескальных грунтов	80
5.2. Возведение земляного полотна из боковых резервов автогрейдерными	82
5.3. Возведение насыпей из боковых резервов грейдер-элеваторами	87
5.4. Возведение земляного полотна из боковых резервов бульдозерами	91
5.5. Возведение земляного полотна из боковых резервов и грунтовых карьеров скреперами.....	97
5.6. Особенности возведения земляного полотна на косогорах	103
5.7. Возведение земляного полотна из привозного грунта	105
5.8. Разработка выемок в нескальных грунтах бульдозерами.....	110
5.9. Разработка выемок и возведение насыпей скреперами	113
5.10. Разработка выемок экскаваторами	117
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>124</i>
Глава 6. Возведение земляного полотна зонально-комплексным методом	126
6.1. Взаимодействие машин при возведении земляного полотна.....	128
6.2. Разбивка трассы на характерные участки	129
6.3. Разбивка характерных участков на зоны работ	132
6.4. Разработка технологических схем возведения земляного полотна зонально-комплексным методом	135
6.5. Особенности технологии и организации возведения земляного полотна зонально-комплексным методом	137
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>139</i>
Глава 7. Уплотнение грунтов	140
7.1. Теоретические предпосылки основ уплотнения земляного полотна.....	140
7.2. Определение оптимальной плотности и влажности грунта	142
7.3. Требования к плотности грунта в теле насыпи	146
7.4. Выбор машин для уплотнения земляного полотна.....	150
7.5. Производство работ по уплотнению земляного полотна	156
7.6. Контроль качества уплотнения насыпей	161
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>166</i>
Глава 8. Возведение земляного полотна в особых условиях	167
8.1. Особенности сооружения земляного полотна в условиях карста и оползней.....	167
8.2. Возведение земляного полотна на засоленных грунтах	172
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>177</i>

Глава 9. Возведение земляного полотна в скальных грунтах	178
9.1. Особенности возведения земляного полотна в горных условиях	178
9.2. Бурение скальных пород	180
9.3. Взрывчатые вещества, способы и средства взрывания	183
9.4. Технология производства взрывных работ	187
9.5. Действие и расчет взрыва	188
9.6. Возведение земляного полотна в скальных грунтах	193
9.7. Техника безопасности при производстве взрывных работ	196
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>198</i>
Глава 10. Гидромеханический способ производства земляных работ	199
10.1. Условия и эффективность гидромеханизации	199
10.2. Краткие сведения по гидромеханизации	201
10.3. Разработка грунта гидромониторами	202
10.4. Разработка грунта землесосными снарядами	207
10.5. Комбинированный способ разработки грунта	210
10.6. Транспортирование и укладка грунта	211
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>215</i>
Глава 11. Возведение земляного полотна на болотах ...	216
11.1. Типы болот и способы возведения на них насыпей	216
11.2. Возведение земляного полотна на поверхности болота	219
11.3. Возведение земляного полотна на болоте после полного или частичного выторфовывания	221
11.4. Возведение земляного полотна на болоте после устройства дренажных прорезей или дрен	228
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>230</i>
Глава 12. Возведение земляного полотна в зимнее время	231
12.1. Правила производства земляных работ в зимнее время	233
12.2. Предохранение грунтов от промерзания	236
12.3. Рыхление мерзлых грунтов	246
12.4. Оттаивание мерзлых грунтов	248
12.5. Техничко-экономическое обоснование способа подготовки грунта к разработке в зимнее время	250
12.6. Влияние температуры воздуха на надежность работы землеройной техники	254
12.7. Особенности возведения земляного полотна в зимнее время	255
12.8. Контроль качества возведения земляного полотна в зимнее время	259
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>260</i>

Глава 13. Возведение земляного полотна в районе вечной мерзлоты	261
13.1. Краткие сведения о вечной мерзлоте	261
13.2. Особенности проложения трассы в районе вечной мерзлоты.....	266
13.3. Поперечные профили земляного полотна.....	268
13.4. Характеристика условий строительства земляного полотна в районе вечной мерзлоты.....	276
13.5. Техничко-экономическое обоснование и технология производства работ.....	281
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>288</i>
Глава 14. Планировочные и укрепительные работы ...	289
14.1. Планировка земляного полотна.....	289
14.2. Укрепление земляного полотна	293
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>300</i>
Глава 15. Контроль качества земляного полотна и правила его приёмки	301
15.1. Контроль геометрических параметров земляного полотна.....	301
15.2. Приемка земляных работ	305
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>311</i>
Глава 16. Охрана природной среды при возведении земляного полотна	312
16.1. Сохранение плодородия земель	313
16.2. Рекультивация земель	315
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>317</i>
Заключение	318
Библиографический список	319

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Технология и организация строительства автомобильных дорог» является базовой в подготовке инженеров по специальности «Автомобильные дороги». Автомобильная дорога – это комплекс сложных и дорогостоящих инженерных сооружений, без которых не может работать автотранспорт, перевозящий около 80 % грузов страны. Транспортная сеть влияет на размещение производственных сил, освоение новых районов и природных богатств, способствует повышению эффективного использования местных ресурсов и сельскохозяйственных угодий. Чтобы народное хозяйство работало в нормальных условиях, необходимо иметь 500...600 км автомобильных дорог на 1 тыс. км² территории. В настоящее время автодорожная сеть Российской Федерации составляет менее 50 км на 1 тыс. км² территории. Согласно открытым источникам сети интернет, плотность автомобильных сетей РФ значительно ниже, чем в странах Европы и США. Сравнительная диаграмма представлена на рис. 1.1.

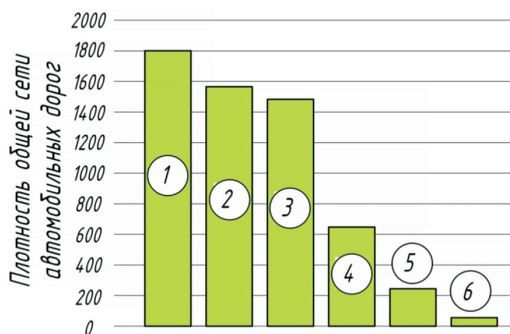


Рис. 1.1. Плотность общей сети автомобильных дорог с твердым покрытием, км на 1000 м² территории:

1 – Германия, 2 – Великобритания, 3 – Франция,
4 – США, 5 – Финляндия, 6 – Россия

Сравнительная диаграмма уровня автомобилизации тех же стран, то есть количество индивидуальных автомобилей в стране, приходящихся на 1000 человек населения, представлена на рис. 1.2.

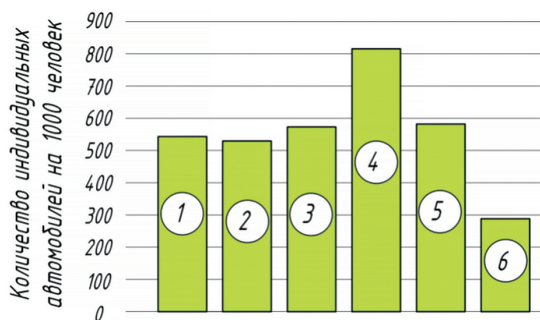


Рис. 1.2. Уровень автомобилизации различных стран:

1 – Германия, 2 – Великобритания, 3 – Франция,
4 – США, 5 – Финляндия, 6 – Россия

От плотности дорожной сети и ее качества зависит эффективность использования автомобильного транспорта и безопасность дорожного движения.

Освоение северных и северо-восточных районов страны немислимо без развития сети автомобильных дорог. Строительство дорог в этих районах связано со значительными трудностями, поскольку приходится прокладывать их в сложных природных условиях (пересеченный рельеф, вечная мерзлота, болота, малая продолжительность летнего строительного сезона и др.). Рост объемов дорожно-строительных работ требует не только дальнейшего укрепления производственной мощности дорожно-строительных организаций, но и полного и рационального использования техники, существенного улучшения организации и технологии строительства.

Дисциплина «Технология и организация строительства автомобильных дорог» – это раздел науки о физических, механических, химических, конструктивных, технологических и эксплуатационных свойствах, способах и процессах изготовления и применения материалов, в результате которых создают отдельные элементы дорожных сооружений и дорогу в целом. Эти процессы называют технологическими. Технологические процессы возведения земляного полотна сводятся к разработке, перемещению, укладке и уплотнению грунтов с последующей планировкой, отделкой и укреплением откосов.

Большое значение при строительстве и эксплуатации дорог имеют экологические проблемы. Проектировщики и строители должны исключить возможность вредного влияния дороги на окружающую среду.

Исторический обзор и перспективы развития дорожной отрасли

Необходимость связи центра с окраинами породила в X веке натуральную повинность «повоз». Это означало, что местное население должно было на своих лошадях и повозках доставлять в нужные места княжеских посланцев и груз.

В XIII веке в Московском государстве начала создаваться ямская служба. Уже в XIV-XV веках были продолжены дороги до Твери, Костромы, Владимира. При Иване Грозном было построено 300 городков, названных ямами.

В XVI веке на смену ямской избе было создано более солидное учреждение – ямской приказ, который находился в Кремле. Ямской приказ учреждал новые ямы, выписывал подорожные грамоты. В 20-х годах XVII столетия ямской приказ возглавлял освободитель земли русской князь Дмитрий Пожарский.

Во время царствования Алексея Михайловича Тишайшего в 1649 году было принято Соборное Уложение, которое вменяло в обязанность людям в своих вотчинах «учиняти гати и мосты и были бы у них те гати и мосты крепкими и проезжими всяким людям».

В ямской избе велась «Поверстная книга», по данным которой выписывались прогонные деньги ямщикам. А чтобы эти данные постоянно освежать, работники «ямского» приказа время от времени сами ездили на перекладных от яма до яма – проверяли их состояние, уточняли протяженность дорог, ревизировали отчетные «гонимые» книги.

В 1698 году открылась Сибирская линия, которая связала Москву с Тобольском и Нерчинском. Из-за плохого состояния дорог почта ходила всего лишь 3 раза за лето.

Считается, что начало технически грамотному дорожному строительству в России положил сенатский указ, изданный 1 июня 1722 года, по которому было определено приступить к сооружению перспективной дороги между Санкт-Петербургом и Москвой. В 1746 году строительство дороги протяженностью 728 верст было завершено.

В 1785 году Екатерина II издала указ, которым предписала: «Впредь дорог бревнами не мостить, а мостить камнем, а где нет камня там намащивать «плотинами фашинными», мосты стараться строить каменные, наблюдая прочность и выгоду казны».

В 1809 году Александром I было учреждено Главное управление путей сообщения, а вся империя в дорожном отношении поделена на 10 округов. В этом же году был создан Санкт-Петербургский институт корпуса инженеров путей сообщения.

В 1833 году Николай I самолично начертал целую сеть будущих автомобильных дорог, которые подразделялись на 5 классов.

До 1840 года прирост шоссейных дорог составлял 34 версты в год. Сначала дороги строили за счет казны, но позднее был установлен особый сбор с каждой ревизной души по 25 коп., что давало около 5 млн рублей ассигнациями в год. Кроме этого, начиная с 1834 года, стали взимать плату за проезд по шоссейной (щебеночной) дороге. За 10-верстовой пробег одной лошади взималось: с дилижансом летом – 10 коп., зимой – 5 коп.; с лошади не в упряжи летом – 2 коп., зимой – 1 коп.

В 1895 году проехал первый автомобиль по Санкт-Петербургу. В 1910 году автомобильный парк России составлял 3501 автомашин и 1155 мотоциклов. Начиная с 1935 года, ежегодный ввоз в Россию составил 30352 автомобилей и 16133 мотоциклов.

Двадцать шестого января 1914 года состоялся 1 съезд деятелей по шоссейному делу. Характеризуя сеть гужевых дорог по типу покрытий, министр путей сообщения князь Хилков привел такие цифры: 4 % составляют шоссейные дороги, 2 % – мощенные и 94 % – грунтовые.

В начале XX века считалось, что замена шоссе (щебеночное покрытие) мостовой целесообразна при интенсивности движения более 1500 лошадей в сутки.

Первое покрытие из природного асфальта было построено в России в 1866 году, т.е. раньше, чем в Лондоне.

Законом от 18 сентября 1916 года в составе Министерства путей сообщения было создано управление шоссейных дорог. Так было положено начало самостоятельному, в составе МПС, управлению дорожным хозяйством России. К этому времени дорожная сеть с твердым покрытием (булыжные мостовые, щебеночные и гравийные) составила 24,3 тыс. верст.

В 1922 году Управление шоссейных дорог и Центральная автомобильная секция ВСНХ были объединены и включены в Центральное управление местного транспорта (ЦУМП) в составе НКПС. Это было первое объединение дорожного хозяйства и автомобильного транспорта.

Двадцать восьмого декабря 1928 года было принято постановление ЦИК и СНК СССР, которым ЦУМП НКПС был реорганизован в Центральное управление шоссейных и грунтовых дорог (Цудортранс) НКПС.

В 1930 году в системе НКВД был создан ряд автомобильно-дорожных институтов, начавших подготовку инженеров по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог, экономике и организации дорожного хозяйства – Ленинградский (ЛАДИ), Московский (МАДИ), Сибирский (СибАДИ), Саратовский (САДИ), Харьковский (ХАДИ).

В 1936 году в составе НКВД СССР было образовано Главное управление шоссейных дорог (Гушосдор). В ведение Гушосдора были переданы дороги союзного значения. Для руководства строительством и эксплуатацией дорог республиканского и местного значения были организованы (1938 год) Главные управления дорог при СНК союзных республик (Главдорупры).

В 1953 году Гушосдор из ведения МВД был переведен в структуру только что созданного Министерства автомобильного транспорта и шоссейных дорог СССР, которое существовало три года. В 1956 году Минавтошосдор РСФСР стал самостоятельным республиканским министерством.

В июне 1969 года Указом Президиума Верховного Совета РСФСР было организовано Министерство строительства и эксплуатации автомобильных дорог РСФСР.

В июне 1990 года Минавтодор РСФСР был упразднен. На 1 января 1990 года сеть местных дорог и дорог общего пользования составляла 927 тыс. км, в том числе 3 тыс. км автомагистралей.

Для сравнения, в США протяженность автомагистралей составляет 300 тыс. км. В США во время «великой депрессии» был такой лозунг: «Америка строит дороги не потому, что богата, а богата потому, что строит дороги». По американскому пути пошли Япония, Италия и другие страны. Из-за неразвитой дорожной сети Российская Федерация ежегодно теряет до 60 млрд руб. В 1995 году правительство РФ приняло программу «Дороги России», которая получила статус президентской. Планируется увеличить протяженность местных дорог и дорог общего пользования до 1,5 млн км.

Большой вклад в развитие науки в области дорожного хозяйства внесли отечественные ученые Г. Д. Дубелир, Н. Н. Иванов, А. К. Бируля, Н. В. Орнатский, Н. А. Пузаков, В. Ф. Бабков, Е. Е. Гишман и др.

Объем предстоящих работ, связанных со строительством автомобильных дорог, огромен и осуществить его можно только с учетом новейших научных достижений в области проектирования, организации и технологии строительства.

В 1990 году на смену Минавтодору РСФСР пришел концерн «Росавтодор». Указом Президента РФ от 15.03.96 г. создана федеральная дорожная служба России (ФДС России), которая вошла в систему государственного управления транспортным комплексом.

В последние годы деловые круги Европы, России, Америки задумываются о прокладке автомагистрали Париж – Нью-Йорк протяженностью более 18 тыс. км. Она должна пройти через Гамбург – Минск – Москву – Екатеринбург – Иркутск, выйти на Чукотку и через Берингов пролив по мосту или тоннелю – на Аляску. В районе Екатеринбурга намечается сделать ответвление на Казахстан и далее в Индию, Китай и Корею. Второе ответвление пройдет по маршруту Иркутск – Владивосток и также выйдет в страны Азии. Эта трансконтинентальная автомагистраль сможет объединить около 40 государств и более 2,5 млрд человек в странах Европы, Азии и Америки. Ориентировочная стоимость данной трансконтинентальной автомагистрали составит 350 млрд долл. или около 19 млн долл. за 1 км.

Если план строительства данной суперавтомагистрали осуществится, то время доставки грузов, например из Германии в Японию, сократится примерно в 6...7 раз. Создание в России скоростной международной автомагистрали даст новый импульс для развития народного хозяйства, кроме того, оно поможет решить экологические проблемы таких городов, как Нижний Новгород, Красноярск, которые не имеют обходных автомагистралей и транзит создает шумы, загазовывает их улицы. Обходная магистраль поможет в 2,5 раза снизить загазованность и в 4,5 раза уменьшить уровень шума.

Контрольные вопросы

1. Для какой цели и когда была создана в Московском государстве ямская служба?
2. Кто и когда положил начало технически грамотному дорожному строительству в России?
3. В каком году и где были организованы первые пять автомобильно-дорожных институтов?

ГЛАВА 1.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

О ВОЗВЕДЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

1.1. Состав дорожно-строительных работ

Все работы, связанные со строительством автомобильных дорог, можно разделить на четыре группы:

1. *Строительно-монтажные* – направлены на создание конечной продукции. При возведении земляного полотна к ним относят:

а) подготовительные работы:

- восстановление и закрепление трассы;
- расчистка дорожной полосы от леса, кустарника, пней, камней и др.;
- разбивка земляного полотна;
- удаление растительного слоя;
- обеспечение водоотвода;

б) основные работы:

- разрыхление грунта;
- разработка, перемещение и укладка грунта;
- послойное разравнивание;
- уплотнение;

в) отделочные работы:

- планировка земляного полотна;
- укрепление откосов земляного полотна;
- рекультивация земель.

Строительно-монтажные работы при возведении земляного полотна подразделяют на линейные и сосредоточенные. Линейными называют работы, объемы которых равномерно распределены по всей строящейся дороге и повторяются на каждом километре лишь с небольшим отклонением. Сосредоточенными называют работы, которые резко отличаются по объему, технологии выполнения от работ, выполняемых на смежных участках.

2. *Заготовительными* называют работы по заготовке дорожно-строительных материалов, приготовлению смесей, по производству плит блоков и др. изделий. Эти работы выполняют на производственных предприятиях; они имеют некоторые преимущества в сравнении с строительно-монтажными работами, а именно:
 - постоянство места работы и технологии;
 - лучшие условия труда;
 - меньшая зависимость от погодно-климатических условий.
3. *Транспортными* называют работы по перемещению грунтов, дорожно-строительных материалов.
4. *Складские* работы. Включают прием, разгрузку, сортировку, хранение в пределах складской территории. Складские работы создают гарантию ритмичной работы строительной организации, но в то же время увеличивают накладные расходы.

Строительно-монтажные, заготовительные, транспортные и складские работы должны быть тесно связаны между собой.

Технологический процесс по устройству дорожной одежды включает:

- предварительную заготовку каменных материалов;
- транспортирование и хранение материалов на складах;
- приготовление различных смесей, изделий и их транспортировку;
- распределение каменных материалов, полуфабрикатов и их уплотнение.

Строители автомобильных дорог, кроме земляного полотна и дорожной одежды, сооружают водопропускные трубы, мосты, здания дорожно-эксплуатационной службы, производят обустройство автомобильных дорог и др.

Соотношение между отдельными видами работ в процентах примерно следующее:

○ подготовительные работы	1...3
○ земляное полотно	15...40
○ мосты и другие искусственные сооружения	8...12
○ дорожная одежда	40...60
○ обстановка пути	3...5
○ здания дорожно-эксплуатационной службы	1...2

1.2. Особенности дорожно-строительных работ и пути снижения их стоимости

К основным особенностям дорожно-строительных работ относят следующие:

- многообразие выпускаемой дорожно-строительной продукции;
- линейное распределение всех видов работ на большом протяжении;
- неравномерность объемов работ по трассе;
- большая зависимость дорожного строительства от климатических условий, так как основные работы ведутся на открытом воздухе;
- большие объемы транспортных работ.

Основными путями снижения стоимости земляных работ (рис. 1.3) являются повышение производительности труда и снижение стоимости машино-смен дорожной техники.

При устройстве дорожной одежды, кроме вышеперечисленных путей снижения стоимости, основными являются:

- широкое использование местных дорожно-строительных материалов;
- рациональное размещение производственных баз;
- уменьшение транспортных и складских расходов.



Рис. 1.3. Пути снижения стоимости земляных работ

1.3. Основы комплексной механизации и автоматизации технологических процессов

Строительство, ремонт и содержание автомобильных дорог требуют высокоэффективного обслуживания средствами механизации. Механизация работ является основным фактором повышения производительности труда и улучшения качества работ.

Работы, в которых строительные процессы полностью или частично выполняются с помощью машин и механизмов, называют механизированными. Например, к механизированным работам будет отнесено возведение земляного полотна, когда разработка грунта, перемещение, разравнивание и уплотнение его будет выполнено дорожной техникой, а планировка откосов – вручную. Механизация резко повышает производительность труда. Например, выработка одного рабочего при приготовлении цементобетонной смеси вручную составляет 2,5...4,0 м³/смену, а при использовании бетономешалки 15 м³/смену, 1 бульдозер заменяет 150 землекопов.

Уровень механизации строительства оценивают по формуле

$$Y_M = Q_M / Q_{\text{общ}} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

где Q_M – объем механизированных работ, м³;
 $Q_{\text{общ}}$ – общий объем работ, м³.

Уровень механизации труда характеризует степень использования ручного труда

$$Y_{MT} = \chi_M / \chi_P \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

где χ_M , χ_P – численность работников, занятых на механизированных операциях, и общая численность рабочих.

Комплексной механизацией называют такую организацию труда, когда комплект машин выполняет полный цикл работ

$$Y_{KM} = Q_{KM} / Q_{общ} \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

где Q_{KM} – объем работ, выполняемый комплектом машин без использования ручного труда.

Комплексная механизация освобождает человека от тяжелого физического труда при непосредственном выполнении рабочих операций.

Автоматизация является высшей формой комплексной механизации. Она позволяет осуществлять производственные процессы и управление ими без участия человека. Автоматизация обеспечивает резкое повышение производительности труда. Например, выработка одного рабочего на автоматизированном цементобетонном заводе составляет 80 м³ цементобетонной смеси в смену против 15 м³ на заводе без автоматизации. Кроме того, автоматизация облегчает условия труда на производстве, улучшает качество выпускаемой продукции, снижает затраты энергии на единицу продукции и стоимость.

Автоматизация может быть полной и частичной. При полной автоматизации весь технологический процесс выполняется и управляется приборами по заранее разработанной программе. Роль человека заключается в настройке и наблюдении за работой приборов. Полная автоматизация освобождает человека от физического труда по управлению машинами и облегчает умственный труд.

При частичной автоматизации управление технологическими процессами осуществляет человек. Уровень автоматизации определяют по формуле

$$Y_{авт} = \frac{\sum_1^n M_1 \cdot C_1}{\sum_1^n M_1 C_1 + \sum_1^n M_2 \cdot C_2} \cdot 100\%, \quad (1.4)$$

где $\sum_1^n M_1 C_1$ – сумма произведений количества машино-смен на их стоимость для работ, выполняемых с применением автоматизации;

$\sum_1^n M_2 C_2$ – то же для работ, выполняемых без применения автоматизации.

В настоящее время в дорожном машиностроении освоен выпуск новых дорожных машин и оборудования, снабженных приставками «Автоплан», «Профиль», «Стабилослой» и др., для автоматизации основных технологических операций.

Под индустриализацией дорожного строительства понимают широкое использование в строительном производстве высокопроизводительных автоматизированных комплектов машин. Например, строительство цементобетонного покрытия скоростным комплектом машин ДС-110, строительство искусственных сооружений из сборных конструкций. Индустриальное производство создает наилучшие условия для роста производительности труда и снижения себестоимости работ.

1.4. Оптимальное использование землеройно-транспортных машин при возведении земляного полотна

Возведение земляного полотна автомобильной дороги связано с выполнением больших объемов земляных работ при поперечном и продольном перемещении грунта из резерва или выемки в насыпь. В практике дорожного строительства часто выполняют эти работы машинами нескольких типов. Например, участки выемок, прилегающие к насыпям, разрабатывают бульдозерами, а остальную часть в зависимости от группы грунта и дальности транспортировки – скреперами или экскаваторами с транспортными средствами. Экономически целесообразные границы использования того или иного типа машин не остаются постоянными, а изменяются в зависимости от группы грунта, рельефа местности, способов производства работ, погодных условий, района строительства и других факторов. В этих случаях важно знать рациональные границы работы машин каждого типа. Перед нами эта задача возникла при строительстве земляного полотна автомобильной дороги в пересеченной местности на участке Известковое – Теплое озеро в Хабаровском крае.

Обычно для ее решения пользуются графиками стоимости земляных работ, на которых по вертикали откладывают стоимость единицы объема работ, а по горизонтали – дальность транспортирования грунта.

Расчет и построение графиков требует много времени. Кроме того, при построении графиков не учитывается то, что в одинаковых условиях дальность перемещения грунта бульдозерами меньше, чем скреперами или транспортными средствами за счет разворота последних и особенно за счет удлинения землевывозных путей при значительных уклонах местности, не допускающих движения скреперов или транспортных средств по кратчайшему расстоянию.

Если принять расстояние перемещения грунта бульдозером равным l_6 , то для скрепера в тех же условиях оно составит

$$l_c = l_6 + \Delta l, \quad (1.5)$$

для любого другого транспортного средства

$$l_m = l_{\sigma} + \Delta l', \quad (1.6)$$

где Δl – разность между дальностью перемещения грунта бульдозером и скрепером, м;

$\Delta l'$ – то же, бульдозером и транспортными средствами, м.

Величины Δl и $\Delta l'$ зависят от рельефа местности, типа машины и технологии работ на участке. При движении машин по возводимому земляному полотну Δl можно определить по формуле

$$\Delta l = \pi R + \frac{l_{cn} - l_{\sigma n}}{2} + \frac{l_{cp} - l_{\sigma p}}{2} + l_1 + l_2, \quad (1.7)$$

где R – радиус разворота скрепера, м;

$l_{cn}, l_{\sigma n}, l_{cp}, l_{\sigma p}$ – путь набора и разгрузки грунта скрепером, бульдозером, м;

l_1 – расстояние, которое проходит скрепер после его разворота до начала набора, м;

l_2 – то же, после окончания разгрузки и до начала поворота, м.

Осредненные расчетные данные и замеры в полевых условиях показали, что $l_1 \approx l_2$. Для скреперов с ковшами емкостью до $6,0 \text{ м}^3$ оно равно $3,5 \text{ м}$, при емкости ковша $10 \dots 15 \text{ м}^3 - 5,0 \text{ м}$ и при емкости ковша более $15 \text{ м}^3 - 7 \text{ м}$.

С учетом вышеизложенного формула (1.7) имеет вид

$$\Delta l = \pi R + \frac{l_{cn} - l_{\sigma n}}{2} + \frac{l_{cp} - l_{\sigma p}}{2} + 2l. \quad (1.8)$$

В том случае, когда движение скрепера осуществляется по специальным землевозным дорогам, дальность перемещения грунта скрепером в $1,5 \dots 2$ раза больше расстояния между центрами тяжести выемки и насыпи.

Максимальной, экономически допустимой дальностью перемещения грунта бульдозером, определяющей границы его зоны в сравнении со скреперами, будет такая, при которой стоимость единицы объема сравниваемых способов будет равна по условию

$$\frac{C_{\theta}t_{\theta}}{TI} = \frac{C_c t_c}{TI} + \sum \frac{Ct}{TI}, \quad (1.9)$$

где C_{θ} , C_c – стоимость машино-смены бульдозера, скрепера, руб.;

t_{θ} , t_c – норма времени в маш.-ч на разработку и перемещение грунта в объеме измерителя II бульдозером на расстояние l_l и скрепером – $l_l + \Delta l$, м;

II – измеритель объема работ, 100 м³;

T – число часов работы в смену;

$\sum \frac{Ct}{TI}$ – дополнительная стоимость единицы объема работ, учитывающая работу трактора-толкача, устройство и содержание землевозных дорог и др., руб.

С учетом структуры нормативов ЕНиР величины t_{θ} и t_c будут выражены следующим образом:

$$t_{\theta} = t_{\theta 1} - t_{\theta 2} + \theta, IX_l t_{\theta 2} = t_{\theta 3} + \theta, IX_l t_{\theta 2}; \quad (1.10)$$

$$t_c = t_{c1} - 10t_{c2} + \theta, I \Delta t_{c2} + \theta, IX_l t_{c2} = t_{c3} + \theta, IX_l t_{c2}, \quad (1.11)$$

где $t_{\theta 1}$ – норма времени в машино-часах на набор и перемещение грунта бульдозером в объеме измерителя и на расстояние 10 м;

t_{c1} – норма времени в машино-часах на набор и перемещение грунта скрепером в объеме измерителя и на расстояние 10 м;

$t_{\theta 2}$, t_{c2} – норма времени бульдозера, скрепера в машино-часах на каждые последующие 10 м перемещения грунта в объеме измерителя;

$t_{\theta 3}$ – норма времени в машино-часах на набор грунта бульдозером в объеме измерителя;

t_{c3} – норма времени в машино-часах на набор и дополнительное перемещение грунта скрепером в объеме измерителя и на расстояние Δl . Значение Δl в зависимости от марки скрепера определяют по формуле (1.8).

Заменив в условии (1.9) t_{θ} и t_c их значениями по (1.10), (1.11) и сделав необходимые преобразования, получим

$$X_1 = \frac{C_c t_{c3} - C_\delta t_{\delta3} + \sum C t}{\theta, I(C_\delta t_{\delta2} - C_c t_{c2})}, \quad (1.12)$$

где X_1 – рациональная дальность перемещения грунта бульдозером при продольной разработке выемки или грунтового резерва бульдозерами в насыпь, м.

В том случае, когда разработку выемки или грунтового резерва производят в насыпь бульдозерами и экскаваторами с транспортными средствами, рациональную дальность перемещения грунта бульдозером можно определить по аналогичной формуле

$$X_2 = \frac{C_\delta t_\delta + C_m t_{m3} - \sum C_\delta t_{\delta3}}{\theta, I(C_\delta t_{\delta2} - \theta, I C_m t_{m2})}, \quad (1.13)$$

где C_δ, C_m – стоимость машино-смены экскаватора и транспортных средств, руб.;
 t_δ – норма времени в машино-часах на разработку и погрузку грунта экскаватором в транспортные средства;
 t_{m3} – норма времени транспортных средств в машино-часах на погрузочно-разгрузочные работы в объеме измерителя I ;
 t_{m2} – норма времени транспортных средств в машино-часах на перемещение грунта в объеме измерителя I на расстояние 100 м.

При разработке и перемещении грунта скреперами и экскаваторами с транспортными средствами рациональную дальность перемещения грунта скрепером можно определить как

$$X_3 = \frac{C_\delta t_\delta + C_m t_{m3} - C_c t_{c3}}{\theta, I(C_c t_{c2} - \theta, I C_m t_{m2})}. \quad (1.14)$$

По формулам (1.12)...(1.14) определены экономически целесообразные границы применения бульдозеров, скреперов и экскаваторов при совместной работе с автосамосвалами на дорожном строительстве (табл. 1.1 и 1.2). В расчетах учтены дополнительные затраты, связанные с устройством и содержанием въездов и землевозных путей в зонах работы скреперов.

Учебное издание

Цупиков Сергей Григорьевич,
Казачек Наталия Сергеевна,
Цупикова Лариса Сергеевна

ВОЗВЕДЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Учебное пособие

ISBN 978-5-9729-0339-9



Подписано в печать 15.04.2019
Формат 60х84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman».

Издательство «Инфра-Инженерия»
160011, г. Вологда, ул. Козленская, д. 63
Тел.: 8 (800) 250-66-01
E-mail: booking@infra-e.ru
<https://infra-e.ru>

Издательство приглашает
к сотрудничеству авторов
научно-технической литературы