

Б. А. Ильин, Б. И. Кувалдин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР
в качестве учебника для студентов вузов,
обучающихся по специальности «Лесин-
женерное дело».



МОСКВА
«ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»
1982

976266

ВОЛОГОДСКАЯ
областная библиотека
им. И. В. Бабушкина

Ильин Б. А., Кувалдин Б. И. Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог: Учебник для вузов.— М., Лесн. пром-сть, 1982.— 384 с.

Состоит из четырех разделов, в которых последовательно рассмотрены виды и особенности сухопутного транспорта, устройство земляного полотна, основы теории движения поездов, организация вывозки леса. Подробно освещены вопросы проектирования, строительства и эксплуатации лесовозных автомобильных и железных дорог, а также размещения лесовозных путей в лесных массивах.

Для студентов лесотехнических вузов.

Табл. 16, ил. 152, библиогр.— 99 назв.

Рецензенты: кафедра сухопутного транспорта леса Белорусского технологического института им. С. М. Кирова; канд. техн. наук Ф. А. Павлов (СевНИИП)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог» является ведущей и профилирующей дисциплиной для студентов, специализирующихся в области сухопутного транспорта леса.

Для изучения дисциплины необходимы знания в объеме утвержденных программ по геодезии, теоретической механике, строительной механике, гидравлике, дорожному грунтоведению, инженерно-строительным конструкциям, строительному делу, тяговым машинам, дорожным машинам и прицепному составу, вычислительной технике, основам лесного хозяйства и экономике лесозаготовительной промышленности.

Быстрые темпы развития научно-технического прогресса в нашей стране в полной мере затронули и лесную промышленность. На лесозаготовительных предприятиях произошло коренное обновление техники и технологии лесозаготовительного производства. На вывозке леса используют новые виды тяговых машин и прицепного состава. На лесовозных дорогах появились прогрессивные дорожные конструкции. Большие успехи достигнуты и в области теории лесотранспорта.

В решениях XXVI съезда КПСС перед лесной промышленностью поставлены большие задачи по увеличению продукции на 17—19 %, улучшению использования древесины и роста производительности труда не менее чем на 16—18 % за счет повышения технического уровня производства, совершенствования его структуры, более эффективного использования производственных мощностей и основных фондов.

«Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог» является многосторонней, сложной и комплексной дисциплиной. Объем учебника позволил рассмотреть в основном наиболее важные и принципиальные положения, а также вопросы, специфичные для сухопутного транспорта леса. Вопросы, имеющие второстепенное значение, освещены в учебнике весьма сжато или полностью опущены.

Предисловие, введение, главы 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 написаны проф. Б. А. Ильиным, главы 4, 12, 13, 14, 15, 16 и 17 — проф. Б. И. Кувалдиным,

ВВЕДЕНИЕ

Лесозаготовительные предприятия работают в закрепленных за ними сырьевых базах, представляющих собой значительные по площади участки леса, размером до 1000 км² и более, для освоения которых необходима густая сеть лесовозных дорог и соответствующие транспортные средства.

В составе лесозаготовительного производства различают технологические (валка леса, обрезка сучьев, раскряжевка хлыстов на сортименты, сортировка) и транспортные (трелевка, погрузка на подвижной состав, вывозка) операции.

Сухопутный транспорт леса представляет собой важную часть производственного процесса лесозаготовок. Капитальные вложения в строительство лесовозных дорог, гаражей, депо и других зданий с затратами на приобретение лесовозного подвижного состава, дорожных машин и прочего оборудования составляют до 50—60 % общих затрат на постройку предприятия (без учета поселка).

Трудоемкость лесотранспорта в составе всего цикла производственных операций лесозаготовок составляет 25—30 %, а его доля в себестоимости лесопродукции 40 % и более. От четкости и ритмичности работы лесотранспорта зависит нормальная работа предприятия в целом.

Лесовозные дороги имеют большое значение и в развитии общей экономики того района, где они построены, обеспечивая транспортные связи ближайших колхозов, совхозов и населенных пунктов с районным центром, пристанью и др. Большое значение имеют лесовозные автомобильные дороги по окончании вывозки леса для проведения лесовосстановительных работ и ухода за лесом. В этом случае они становятся лесохозяйственными дорогами.

Механизация транспорта леса получила свое широкое развитие начиная с 1927 г., когда появились первые тракторно-ледяные дороги. С 1930 г. было начато строительство ряда лесовозных автомобильных и железных дорог нормальной и узкой колеи. К 1940 г. удельный вес механизированной вывозки леса составил около 33 %.

В последние годы наряду с резким сокращением количества

тракторно-ледяных дорог, имевших крупный недостаток — сезонность, и прекращением строительства неоправдавших себя однорельсовых навесных дорог значительно возросло количество узкоколейных и автомобильных дорог.

Современное состояние сухопутного транспорта леса в СССР характеризуется следующими данными. Лесозаготовками в стране занимается ряд министерств и ведомств. Наиболее крупным лесозаготовителем является Минлесбумпром СССР. В 1980 г. предприятия министерства имели 1650 лесовозных дорог, в том числе 1440 автомобильных и 210 узкоколейных, по которым было вывезено около 220 млн. м³ леса. Общая эксплуатационная длина лесовозных дорог составляла 110 тыс. км, в том числе автомобильных 93 тыс. км. Годовой объем вывозки по одной автомобильной или узкоколейной дороге колеблется в пределах 80—1000 тыс. м³ при среднем расстоянии свыше 40 км. Ежегодно строится в среднем около 5000 км постоянных и свыше 40000 км временных лесовозных дорог.

Участие автомобильного транспорта в общем объеме вывозки составляет свыше 85 %. На втором месте (около 12 %) находятся узкоколейные железные дороги. Около 3 % леса ежегодно вывозится тракторами колесного и гусеничного типов как по грунтовым дорогам, так и без дорог (так называемая прямая вывозка от пня до нижнего склада).

Значительный вклад в развитие сухопутного транспорта леса в стране был сделан Центральным научно-исследовательским институтом механизации и энергетики лесозаготовок (ЦНИИМЭ), выпустившим ряд серьезных трудов в области строительства и эксплуатации лесовозных дорог и многое сделавшим в области технического оснащения лесотранспорта современным тяговым и прицепным составом, специальными дорожными и путевыми машинами и другой техникой. Успешно работают и другие отраслевые НИИ, в частности — СевНИИП, КарНИИЛП, Комигипрониилеспром и др. Большой вклад в разработку проблем лесотранспорта был сделан лесотехническими вузами, в частности учеными — профессорами Д. А. Поповым, В. В. Бувертом, Н. М. Ветчинкиным и др. Успешно работают в этой области профессора М. М. Корунов, И. И. Леонович, В. В. Шелкунов и др.

Лесотранспортная наука широко и творчески использует достижения отечественной транспортной науки, в частности труды крупнейших советских ученых — профессоров А. К. Бирюля, Н. Н. Иванова, В. Ф. Бабкова, М. С. Замахаева, А. М. Кривисского, Г. Д. Дубелира, В. М. Безрука, Н. А. Пузакова и других — в области проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог; профессоров А. М. Бабиčkова, В. Ф. Егорченко, Г. М. Шахунянца, М. Ф. Вериги, А. В. Горина, А. И. Иоаннисяна, В. Г. Альбрехта и других — в области железнодорожного транспорта.

ОБЩАЯ ЧАСТЬ КУРСА

Глава I

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ СУХОПУТНОГО ТРАНСПОРТА ЛЕСА

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О СУХОПУТНОМ ТРАНСПОРТЕ ЛЕСА

Транспортом называют отрасль материального производства, занятую перемещением грузов и пассажиров. Транспорт имеет огромное значение в народном хозяйстве.

Различают транспорт общего пользования, выполняемый специализированными транспортными предприятиями, находящимися в подчинении министерств и ведомств, ответственных за организацию транспортировки пассажиров и грузов общего назначения, и промышленный транспорт, входящий в состав промышленных предприятий и непосредственно участвующий в производственном процессе. Одним из видов промышленного транспорта является сухопутный транспорт леса.

Сухопутным транспортом леса называют вывозку леса от места погрузки на лесовозный подвижной состав до нижнего склада лесозаготовительного или до склада леса деревообрабатывающего предприятия. Трелевка леса также может быть отнесена к сухопутному транспорту леса, тем более что она находится в тесной связи с последним (например, уменьшение расстояния трелевки ведет к увеличению протяжения строящихся лесовозных дорог и т. д.). Однако для удобства изучения курса механизации лесозаготовок и лесных складов принято трелевку леса относить к лесосечным работам и рассматривать эту операцию отдельно от вывозки леса, совместно с валкой и другими операциями, выполняемыми на лесосеке и погрузочном пункте.

Как правило, в составе промышленного транспорта различают следующие основные элементы: путь, тяговые машины и грузовой прицепной состав. Последние два элемента имеют общее название — подвижной состав.

Путем называют инженерное сооружение, служащее для перемещения по нему подвижного состава в процессе транспортировки грузов или пассажиров. В зависимости от местных

условий, продолжительности работы и объема перевозок применяют весьма разнообразные конструкции пути.

Применяемые виды тяги можно классифицировать по виду используемой энергии (электрическая, тепловая, живая — лошади, сила тяжести и др.), виду ходовой части (колесная, гусеничная и др.), способу перемещения груза и т. д.

Прицепной состав классифицируют в зависимости от вида ходовой части (колесная, гусеничная, санная).

Основным элементом промышленного транспорта является путь. Путь дороги наземного типа состоит из следующих элементов: земляного полотна, искусственных сооружений, дорожной одежды (на автомобильных дорогах) или верхнего строения пути (на железных дорогах).

Земляным полотном называется естественное или искусственно созданное земляное основание, на котором устраивают дорожную одежду или верхнее строение пути.

Искусственными сооружениями называют водопропускные сооружения, служащие для пропуска воды с одной стороны дороги на другую, и путепроводы, устраиваемые на пересечениях дорог в разных уровнях.

Дорожной одеждой называется укрепление проезжей части автомобильной дороги, выполненное в виде одного или нескольких слоев различных дорожно-строительных материалов.

На железных дорогах земляное полотно и искусственные сооружения называют нижним строением пути. Проезжая часть железных дорог называется верхним строением пути и состоит из двух рельсовых ниток, уложенных на поперечины — шпалы на некотором расстоянии друг от друга, называемом шириной колеи. Шпалы размещены в балластной призме (втоплены в нее), отсыпаемой из песка, гравия или щебня на поверхности земляного полотна. Рельсы скрепляют накладками с болтами и гайками, а к шпалам прикрепляют при помощи подкладок и костылей (болтов).

У некоторых видов транспорта тягачи и прицепной грузовой состав могут быть объединены в одной единице (например, грузовой автомобиль, автопогрузчик), в отдельных случаях необходимость в тягачах и прицепном составе отпадает (например, водный транспорт леса россыпью — молевой), а воздушный транспорт не нуждается, естественно, в устройстве пути (если не считать взлетных и других дорожек и путей на аэродромах).

Классификация основных видов промышленного транспорта в зависимости от устройства пути приведена на рис. 1.1.

Для транспортирования леса из вырубаемых лесосек до нижних складов или деревообрабатывающих предприятий применяют различные виды сухопутного транспорта леса.

Водный транспорт леса применяют для доставки древесины с нижних складов лесовозных дорог до пунктов ее переработки или потребления. В СССР и Канаде изучается техническая воз-

возможность и экономическая целесообразность транспортировки из леса измельченной в щепу древесины в трубах в виде пульпы (в составе до 20 % щепы, остальное — вода).

Установлена техническая возможность использования для транспортировки леса вертолетов, однако широкому их применению на лесовывозке препятствует высокая себестоимость работы. Изучается возможность использования на транспортировке леса аэростатов и дирижаблей. В СССР, США, Канаде,

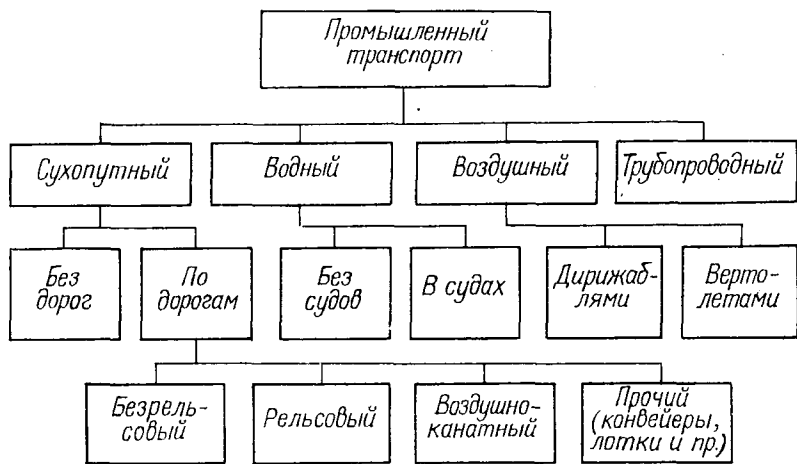


Рис. 1.1. Классификация основных видов промышленного транспорта

Норвегии и других странах проведены успешные опыты применения аэростатов на тросовой трелевке. Расчеты показывают, что применение на вывозке леса дирижаблей грузоподъемностью до 100 т может быть весьма эффективным.

§ 2. ОСОБЕННОСТИ СУХОПУТНОГО ТРАНСПОРТА ЛЕСА

К основным особенностям сухопутного транспорта леса относятся:

собирательный характер работы лесовозных путей в лесу (сборание заготавливаемого леса с большой площади и доставка его в одну точку — на нижний склад);

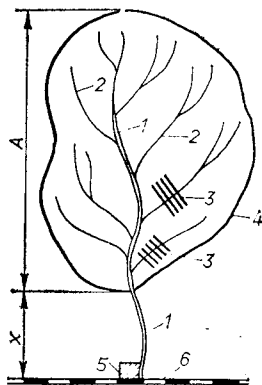
односторонность лесного грузопотока; лесные грузы вывозят только в одном направлении — из лесосеки на нижний склад; в обратном (негрузовом) направлении лесовозные поезда идут без груза, порожняком;

перевозка длинномерных грузов (деревьев, хлыстов, бревен);

возрастающие с каждым годом расстояния вывозки леса, в связи с перемещением лесозаготовок из ближайших к нижнему складу участков в более отдаленные;

Рис. 1.2. Схема сети лесовозных дорог в лесном массиве:

1 — магистраль; 2 — ветки; 3 — усы; 4 — граница лесного массива, тяготеющего к дороге; 5 — нижний склад; 6 — транзитная магистраль (железная дорога МПС или водный путь) или грузосборочная дорога; А — расчетная длина лесного массива; X — расстояние от нижнего склада до границы лесного массива



сезонность работы многих участков сети лесовозных дорог, часть которых работают только зимой, часть — только летом.

Все перечисленные особенности в той или иной мере влияют как на конструктивные решения, принимаемые при проектировании лесовозных дорог, так и на условия работы последних в процессе эксплуатации.

Собирательный характер работы путей лесовозного транспорта предопределяет необходимость постройки в пределах сырьевой базы густой сети путей, имеющих различные сроки действия (рис. 1.2).

Сеть путей лесовозной дороги, как правило, состоит из магистрали — основного пути, действующего в течение всего срока освоения данного лесного массива; веток, со сроком службы от 3 до 10 лет и более, предназначенных для освоения отдельных участков лесного массива, и усов — путей кратковременного действия (1—2 года), служащих для вывозки леса из лесосек.

Магистральный путь должен быть наиболее капитальным по своему устройству. Ветки пропускают лишь часть лесного грузопотока, работают меньший период времени, чем магистраль, а часть веток работает сезонно. Поэтому конструкция пути на ветках более облегченная. Наиболее упрощенными по своей конструкции и дешевыми по стоимости являются усы. Односторонность грузопотоков на лесовозных дорогах позволяет применять в негрузовом направлении значительно большие подъемы, чем в грузовом. Перевозка длинномерных грузов требует применения специального подвижного состава.

Для освоения очень крупных лесных массивов, площадью 5—7 тыс. км² и более, на Севере и Востоке страны строят грузосборочные дороги протяжением до 100 км и более, предназначенные для вывозки леса, заготавливаемого несколькими леспромхозами. К грузосборочным дорогам примыкают обычные лесовозные магистрали со своей сетью веток и усов. К настоящему времени уже действуют свыше 15 грузосборочных магистралей с грузооборотом от 500 до 1000 тыс. м³/год (железные дороги нормальной и узкой колеи, автомобильные дороги).

Комплексные предприятия постоянного действия с неистощительным лесопользованием работают на базе густой сети лесовозных дорог.

возных, лесовозно-лесохозяйственных и лесохозяйственных дорог (веток) низкой стоимости, имеющих длительные сроки действия, небольшой грузооборот (в составе грузов — лес, живица, пневый осмол, сено, грибы, ягоды, химикаты, саженцы, лесохозяйственная техника и др.) и примыкающих к благоустроенным магистральным путям [14].

§ 3. ИЗМЕРИТЕЛИ РАБОТЫ СУХОПУТНОГО ТРАНСПОРТА ЛЕСА

К числу основных показателей, характеризующих транспортную работу, выполняемую на данной лесовозной дороге, относятся грузооборот дороги, грузовая работа, средневзвешенное (среднее) расстояние вывозки, эксплуатационная длина дороги, коэффициент пробега лесных грузов на дороге, грузонапряженность пути и интенсивность движения.

Грузооборотом дороги называют общее количество леса, вывезенное по дороге за единицу времени¹. При работе нескольких погрузочных пунктов грузооборот дороги равен

$$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_n, \quad (1.1)$$

где q_1, q_2, \dots — количество леса, отгружаемого с каждого погрузочного пункта.

Грузовой работой дороги называется сумма произведений объемов леса, отгружаемого с каждого погрузочного пункта дороги, на расстояние вывозки от этого пункта до нижнего склада. Грузовая работа равна

$$R = q_1 l_1 + q_2 l_2 + \dots + q_n l_n, \quad (1.2)$$

где l_1, l_2, \dots — расстояние вывозки от соответствующих погрузочных пунктов до нижнего склада, км.

От размеров грузовой работы зависит количество энергии, затрачиваемой на вывозку леса, количество необходимого подвижного состава, потребность в рабочих и т. д.

Средневзвешенное расстояние вывозки леса (км) по данной дороге определяют по формуле

$$l_{cp} = R/Q, \quad (1.3)$$

где R — грузовая работа, $\text{м}^3 \cdot \text{км}$; Q — грузооборот дороги, м^3 .

Эксплуатационной длиной лесовозной дороги $L_{\text{эк}}$ называют общее протяжение ее постоянных путей, находящихся в эксплуатации в данный (расчетный) период времени.

Коэффициентом пробега лесных грузов по лесовозной дороге называют отношение

$$\alpha_{\text{пр}} = l_{cp}/L_{\text{эк}}. \quad (1.4)$$

¹ На дорогах общей сети грузооборот дороги измеряют в т·км грузов, перевезенных по дороге за единицу времени.

Коэффициент пробега показывает, какую часть общего протяжения действующих путей лесовозной дороги пробегает в среднем каждый кубометр леса.

Грузонапряженность дороги W определяется величиной грузовой работы, приходящейся на 1 км эксплуатационной длины пути, и выражается в $\text{м}^3 \cdot \text{км}$ или $\text{т} \cdot \text{км}$ на 1 км в единицу времени (обычно за год):

$$W = R/L_{\text{эк}}. \quad (1.5)$$

Грузонапряженность вычисляется отдельно для усов, веток и магистрали и характеризует степень использования данного пути на вывозке леса.

Интенсивностью движения на лесовозной дороге называют количество поездов и отдельных тяговых единиц, проходящих по данному участку дороги за единицу времени (сутки) в одном направлении. На лесовозных железных дорогах вместо этого термина обычно употребляют выражение—размеры движения, измеряемые в парах поездов (один поезд в грузовом и один в негрузовом направлении).

Глава 2

ПЛАН И ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ДОРОГИ

§ 1. ПЛАН ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ

Конструкция пути лесовозной дороги характеризуется тремя основными проекциями:

на горизонтальную плоскость — план дороги;

на вертикальную поверхность, проходящую через геометрическую ось дороги (т. е. вертикальный разрез дороги), — продольный профиль;

на вертикальную плоскость, перпендикулярную геометрической оси дороги, — поперечный профиль.

При проектировании лесовозной дороги ее план с изображением на нем деталей конструкции пути — земляного полотна с насыпями и выемками, мостов, труб, канав, подпорных стен и других специальных инженерных сооружений — составляют лишь на отдельные участки, где необходимо запроектировать специальные работы по борьбе с оползнями, отводу воды от дороги и т. п. В обычных условиях ограничиваются составлением плана трассы дороги. Трассой дороги называется линия, определяющая местоположение на местности или на карте геометрической продольной оси дороги.

Важнейшим этапом разработки проекта лесовозной дороги является проектирование плана и продольного профиля трассы дороги. Сущность этой работы заключается в правильном пространственном размещении трассы дороги. На продольном про-

филе трасса совпадает с проектной линией, на поперечном профиле ее положение определяется точкой в пересечении вертикальной оси дороги и линии, соединяющей края земляного полотна (бровки). Таким образом, трасса дороги является расположенной в пространстве линией, состоящей как в плане, так и в профиле из прямых и кривых участков. На участках насыпей трасса располагается выше поверхности земли, а на участках выемок — ниже ее. Правильное размещение трассы при проектировании дороги является сложной задачей, требующей комплексного решения.

Идеальной трассой дороги в плане является прямая линия, соединяющая заданные точки. Однако такому решению препятствуют особенности рельефа местности (наличие холмов, гор, оврагов), водные преграды (реки, ручьи, болота, озера), заповедники, населенные пункты и другие препятствия, для обхода которых при камеральном трассировании дороги на карте или во время изысканий дороги назначаются углы поворота. Для обеспечения плавного вписывания траектории движения автопоездов по дороге в габариты пути и безопасности движения на углах поворота устраивают закругления пути, разбивая их по дуге окружности с использованием кривых с постепенно изменяющимся радиусом кривизны (переходные кривые).

При трассировании дороги углы поворота назначают в следующих случаях: 1) в точках примыкания веток к магистрали или усов к веткам, а также примыканий этих видов путей второго порядка к путям первого порядка; 2) для лучшего охвата дорожной сетью спелых древостоев; 3) для выхода трассы на заданное направление или к определенным точкам на местности, где обязательно должна пройти дорога (так называемые фиксированные точки, к которым относятся седловины при переходе через водоразделы, удобные места переходов через средние и большие водотоки, лесные поселки и др.); 4) для обхода препятствий ситуационного характера (озер, глубоких болот, отдельных холмов и т. п.); 5) для развития трассы при преодолении высотных препятствий.

Во время трассирования (камерального или в натуре) на каждом углу поворота производят разбивку закруглений согласно правилам, изучаемым в курсе инженерной геодезии, с вычислением следующих элементов кривой

$$\text{дорожного тангенса } T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2};$$

$$\text{длины кривой } K = \frac{\pi R \alpha}{180}; \quad (2.1)$$

$$\text{биссектрисы } B = R \left(\operatorname{sc} \frac{\alpha}{2} - 1 \right),$$

где α — угол поворота, град.; R — радиус кривой, м. При трассировании дороги ведут пикетаж, определяют румбы прямых линий, устанавливают расчетом точки начала, конца и середины кривых на углах поворота и составляют план дороги. Назначение углов поворота трассы ведет к ее удлинению, величина которого характеризуется коэффициентом развития (удлинения) трассы, равным отношению

$$k_p = L_\phi / L_v,$$

где L_ϕ — фактическая длина трассы; L_v — ее «воздушная» длина, измеряемая по прямой, соединяющей начальную и конечную точки трассы.

Коэффициент развития трассы может служить в некоторой степени показателем качества трассирования. Для магистральных путей его величина в равнинной местности колеблется в пределах 1,03—1,08; для пересеченной — 1,08—1,2 и для горной — более 1,2.

§ 2. ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ

Продольный профиль дороги является важнейшим чертежом проекта. Он вычерчивается по установленному образцу (рис. 2.1) в масштабах: вертикальный — 1 : 500 и горизонтальный 1 : 5000 на автомобильных дорогах и соответственно 1 : 1000 и 1 : 10 000 на железных дорогах. В горной местности с частыми переломами профиля допускается применение масштабов 1 : 200 и 1 : 2000.

Проектная линия продольного профиля состоит из отдельных элементов. На переломах профиля в ряде случаев предусматривают устройство вертикальных кривых (см. главу 8).

Каждый элемент характеризуется своей длиной и уклоном. Уклоны разделяются на подъемы и спуски в грузовом направлении и площадки (элементы с $i=0$). Наиболее важными характерными уклонами продольного профиля являются руководящий подъем и максимальный спуск.

Руководящим подъемом называют затяжной (не менее длины поезда) подъем в грузовом направлении, расположенный на прямом участке пути, по которому определяется расчетная масса поезда при движении его с одиночной тягой при равномерной скорости.

На автомобильных дорогах руководящий подъем является максимальным подъемом в грузовом направлении. На железных дорогах применяют расцепочные подъемы и подъемы кратной тяги, круче руководящего (см. главу 12).

Различают максимальные, вредные и безвредные спуски в грузовом направлении. Максимальный спуск является одновременно руководящим подъемом в негрузовом направлении. Его величина при проектировании лесовозной дороги уста-

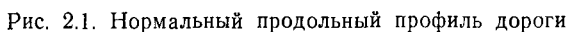


Рис. 2.1. Нормальный продольный профиль дороги

навливается с учетом обеспечения возможности затормаживания поезда с грузом на таком спуске с соблюдением требований правил технической эксплуатации лесовозных дорог (ПТЭ) [46]. Вредными называются спуски, требующие торможения поезда во избежание разгона последнего сверх допустимой скорости. Безвредными являются спуски, которые по своей величине не требуют торможения для ограничения скорости движения. Руководящий подъем и наибольший спуск на данной дороге называются предельными уклонами.

§ 3. ОСНОВЫ ТРАССИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Трассированием называют прокладку трассы дороги на местности или на карте (последнее при камеральном трассировании). Чем сложнее рельеф местности, тем труднее правильная укладка трассы.

Различают следующие основные типы рельефа местности:

равнинный — большие равнины с малозаметными на глаз водоразделами и неглубокими долинами водотоков; наибольшие уклоны местности в направлении трассирования не более 70 ‰, наибольшая разница отметок земли на 1 км длины участка не более 30 м;

пересеченный, характеризующийся наличием большого количества холмов, выраженных водоразделов и долин (оврагов); наибольшие уклоны поверхности земли не более 200 ‰, разница отметок на 1 км более 30 м, но не более 200 м;

горный, для которого характерно наличие разветвленной сети хребтов, глубоких долин, ущелий, разница отметок на 1 км более 200 м и естественные уклоны местности более 200 ‰.

Перед трассированием лесовозной дороги необходимо разработать генеральную схему размещения лесовозных путей в лесном массиве, выбрать и обосновать основные нормы проектирования трассы лесовозной дороги, к числу которых относятся: руководящий подъем, наибольший спуск, шаг проектирования продольного профиля, нормальный (т. е. применяемый в нормальных, нетрудных условиях трассирования дороги) и минимальный радиусы кривых в плане, руководствуясь при этом действующими нормами проектирования лесовозных дорог [17].

Трассирование лесовозной дороги выполняют в следующем порядке:

выявляют контурные препятствия, которые необходимо обойти при трассировании, и устанавливают фиксированные точки, через которые заведомо целесообразно или необходимо проложить трассу;

намечают конкурентоспособные варианты трассы;

трассируют на карте намеченные варианты с отбором наиболее удачных решений;

составляют продольный профиль дороги, назначают проектную линию и определяют объемы земляных работ с вычислением стоимости строительства дороги по укрупненным измерителям;

проводят технико-экономическое сравнение отобранных конкурирующих вариантов в случае, если выбор наилучшего варианта не может быть решен более простым сравнением их натуральных показателей;

переносят камерально запроектированную трассу дороги в натуру с внесением необходимых уточнений для учета особен-

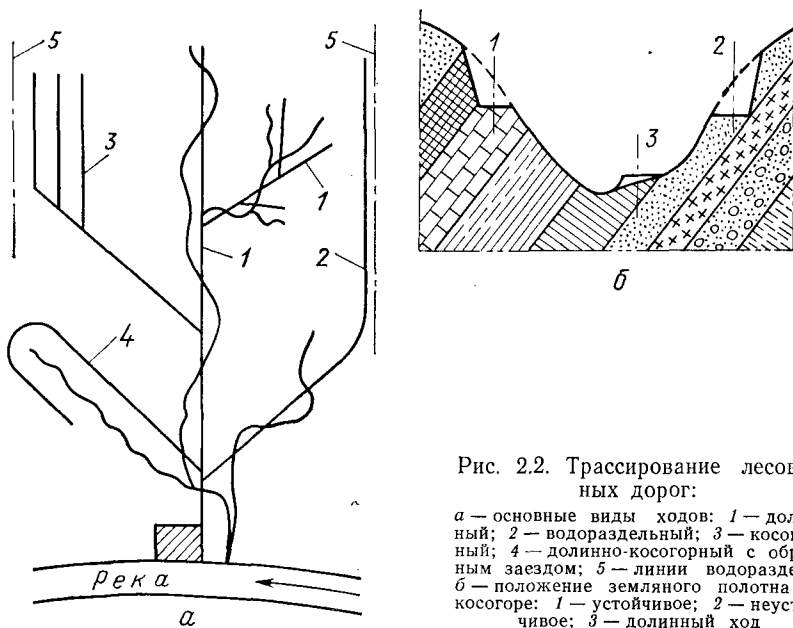


Рис. 2.2. Трассирование лесовозных дорог:

а — основные виды ходов: 1 — долинный; 2 — водораздельный; 3 — косогорный; 4 — долинно-косогорный с обратным заездом; 5 — линии водораздела; б — положение земельного полотна на косогоре: 1 — устойчивое; 2 — неустойчивое; 3 — долинный ход

ностей местности (рельефа, почво-грунтовых и гидрологических условий), не нашедших отображения на карте.

При отсутствии соответствующих карт проводят изыскания лесовозной дороги и прокладку трассы в натуре, выполняя предварительные рекогносцировки местности, назначая в трудных участках несколько вариантов трассы или контрольных тахеометрических ходов по просекам, визирам и имеющимся лесным дорогам. В необходимых случаях выполняют тахеометрическую съемку планов в горизонталях на трудных участках для укладки трассы по этим планам.

При трассировании дорог используют долинные, водораздельные и косогорные ходы (рис. 2.2). В отдельных случаях применяют поперечно-секущие ходы трассы, при которых последняя пересекает водоразделы и долины водотоков под раз-

личными углами. Естественно, что такие ходы возможны лишь в равнинной местности.

С точки зрения экономии механической работы целесообразны долинные ходы с преимущественными спусками в грузовом направлении и небольшими земляными работами. К недостаткам долинных ходов относятся: значительное удлинение дороги, следующей за изгибами водотока; наличие мелкодисперсных грунтов или заболоченности в пойме водотока; большое количество искусственных сооружений на пересечениях дороги с водотоками второго порядка в их устьевых участках; зависимость уклонов дороги от продольного уклона долины водотока.

Водораздельные ходы, как правило, отличаются небольшим коэффициентом развития линии, спокойным продольным профилем дороги и малым количеством искусственных сооружений. Однако при прокладке магистрали лесовозной дороги по водоразделу все примыкающие к ней ветки будут иметь неблагоприятный продольный профиль с преимущественными подъемами в грузовом направлении. Кроме того, на плоских водоразделах в лесу часто встречаются обширные заболоченные пространства со сложными условиями отвода воды от земельного полотна.

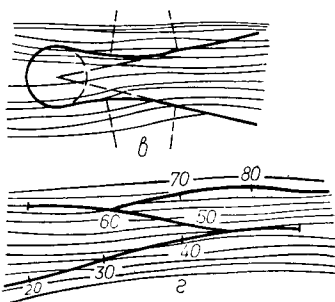
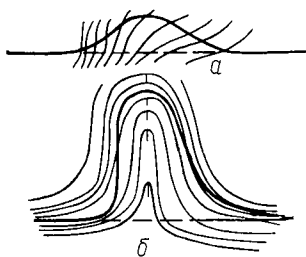
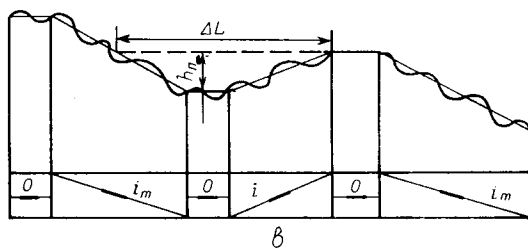
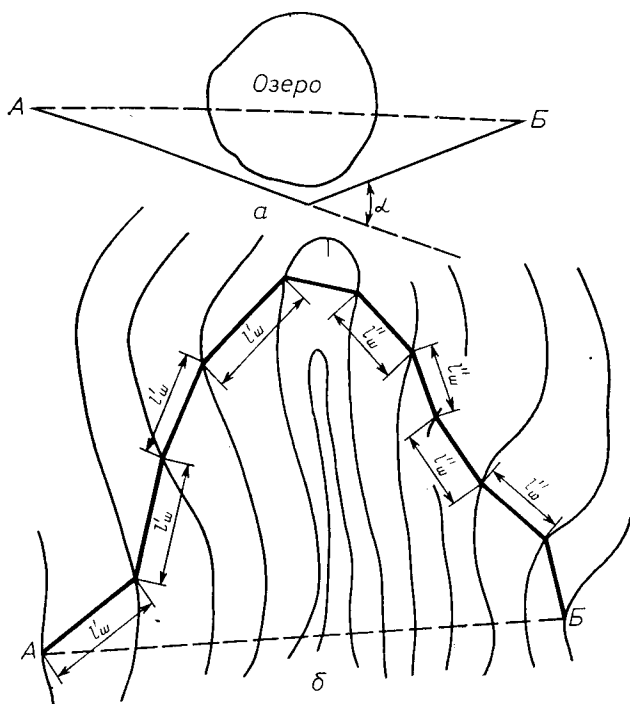
Резко пересеченная и горная местность часто предопределяет использование при трассировании магистралей лесовозных дорог долинных ходов с отдельными косогорными участками.

Ветки в горной местности прокладывают в основном долинными, долинно-косогорными и косогорными ходами. В последнем случае сеть веток представляет собой ряд расположенных на склоне параллельно горизонталям путей, соединенных друг с другом и с основной магистралью в ряде мест съездами — спусками в грузовом направлении с уклонами допускаемой величины (рис. 2.2, а).

В ряде случаев может быть целесообразным решение, при котором водосборная площадь тальвега осваивается веткой, проходящей сначала в долине водотока, а затем в верхнем конце ее с поворотом на 180° — косогорным ходом (рис. 2.2, а).

Долинно-косогорную схему путей легко приспособить к различным типам геологических напластований. На рис. 2.2, б видно, что при данном геологическом строении долины правый склон лучше осваивать долинным ходом, а левый — косогорным. Косогорные ходы, как правило, отличаются значительными земляными работами, часто с устройством подпорных стенок и других сооружений, но обеспечивают возможность прокладки дорог в горах параллельными ходами (что важно для организации трелевки леса) с необходимыми пологими уклонами.

При трассировании лесовозных дорог приходится применять все перечисленные виды ходов, потому что в данном случае решающим фактором, определяющим местоположение трассы,



особенно восток, является местонахождение участков леса с крупными запасами древесины, подлежащими освоению.

По степени трудности трассирования различают участки: вольного хода, где уклоны местности меньше принятых значений предельных уклонов (руководящего подъема или максимального спуска); стесненного хода, где естественные уклоны равны или больше принятой величины предельных уклонов.

Участки трассы вольного хода прокладывают по наикратчайшему направлению с обходом контурных препятствий небольшими углами поворота ($\alpha < 20^\circ$) с таким расчетом, чтобы препятствие находилось с внутренней стороны кривых, разбиваемых на углах поворота (рис. 2.3, а).

Основными способами развития линии на участках стесненного хода, т. е. при преодолении высотных препятствий, являются (рис. 2.4): ход по склону горы (извилина), заход трассы в боковую долину, устройство зигзагов на склоне горы с серпантинами в вершинах углов (на железных дорогах этот способ возможен с устройством вместо серпантин специальных заездных тупиков), устройство спиралей (этот способ требует устройства на пересечении путей путепровода или тоннеля и на лесовозных дорогах не применяется).

Применение кривых малых радиусов при развитии линии нецелесообразно и может быть допущено лишь в исключительных случаях (при вписывании в крутые лога, на серпантинах и т. п.), когда это дает значительное уменьшение объемов земляных работ. Малые углы поворота (менее $30-40^\circ$) также не рекомендуются, так как они дают небольшое развитие линии. Не следует допускать развития линии больше, чем это необходимо для преодоления данного крутого подъема или спуска. При этом желательно, чтобы участки с предельными значениями уклонов были бы сплошные, с перерывами только для размещения остановочных пунктов (на железных дорогах) или пологих вставок с уклонами не более 30‰ и длиной 40—50 м через каждые 1,0—1,5 км (на автомобильных дорогах).

При укладке трассы на трудных участках необходимо следить за тем, чтобы расстояния между смежными углами поворота были достаточны для разбивки кривых.

Для этого необходимо, чтобы

$$l_{м.у} \geq T_1 + T_2 + l_{пр}, \quad (2.2)$$

где $l_{м.у}$ — расстояние между смежными углами поворота; T_1 ,

Рис. 2.3. Укладка трассы дороги:

а — при обходе контурных препятствий; б — на трудном участке по плану в горизонталях; в — участок с «потерянной высотой» при неправильной трассировке

Рис. 2.4. Основные способы развития линии при трассировании:

а — ходом ломаной трассы по косогору; б — с заходом трассы в боковую долину; в — путем устройства зигзагов на склоне горы с серпантинами и петлями; г — путем устройства заездных тупиков (на железных дорогах колеи 750 мм)

T_2 — дорожные тангенсы смежных кривых; $l_{пр}$ — прямая вставка (при односторонних кривых не обязательна).

На трудных участках трассы недопустимы обратные уклоны и так называемые потерянные высоты. На рис. 2.3, в видно, что потерянная высота h_n должна преодолеваться дважды, в результате чего получается избыточное удлинение линии ΔL , что ведет к удорожанию строительства дороги и увеличению стоимости вывозки леса в результате перепробега его на величину ΔL .

При трассировании дорог следует:

по возможности обходить заболоченные участки и особенно сырые косогоры;

болота пересекать в самом узком и неглубоком месте;

реки и ручьи пересекать перпендикулярно направлению течения паводковых вод, на участках, не имеющих островов, с устойчивыми и по возможности высокими берегами;

при трассировании дороги в ложине располагать ее на склонах, противоположных направлению господствующих ветров, во избежание снежных заносов;

не укладывать трассу вблизи излучин рек во избежание подмыва дорожной насыпи;

при долинном ходе избегать многократных пересечений водотоков (можно предусматривать отвод русел небольших ручьев в сторону от дороги);

на кривых участках трассы назначать возможно большие радиусы кривых (в нормальных условиях не менее 600 м).

При трассировании зимних автомобильных дорог следует избегать: затяжных подъемов и спусков, допуская необходимое удлинение дороги ради получения лучшего продольного профиля; незамерзающих болот; открытых возвышенных мест и южных склонов долин, где весной путь быстро разрушается под влиянием солнечных лучей; частых пересечений постоянных водотоков.

При трассировании дороги одновременно ведут угломерную съемку и нивелировку трассы с разбивкой и съемкой поперечников на косогорах круче 1 : 5 и ее закреплением на месте угловыми столбами, реперами, пикетными кольями и т. д. в соответствии с правилами, изучаемыми в курсе геодезии.

§ 4. ОСОБЕННОСТИ КАМЕРАЛЬНОГО ТРАССИРОВАНИЯ

Камеральную трассировку лесовозной дороги на карте с горизонталями через 2—10 м в масштабе 1 : 10 000—1 : 50 000 следует начинать с нанесения на карту фиксированных точек и основного направления дороги.

После установления конкурентоспособных вариантов обхода препятствий укладку трассы на карте по каждому варианту ведут из расчета получения минимально возможного протяже-

ния дороги для принятых значений руководящего подъема и максимального спуска при небольших объемах земляных работ.

Укладку трассы на карте начинают с участков стесненного хода с помощью циркуля-измерителя, величину раствора которого определяют по выражению

$$l_{\text{ш}} = \frac{\Delta i_0^6}{m i_{\text{т}}}, \quad (2.3)$$

где $l_{\text{ш}}$ — ширина раствора циркуля, мм; Δ — сечение горизонталей, м; m — знаменатель масштаба карты; $i_{\text{т}}$ — уклон трассирования, ‰, равный

$$i_{\text{т}} = i_{\text{пр}} - i_{\text{эк}}, \quad (2.4)$$

где $i_{\text{пр}}$ — руководящий подъем (на подъеме в грузовом направлении) или максимальный спуск (на спуске), ‰; $i_{\text{эк}}$ — эквивалентный уклон, учитывающий повышение сопротивления движению поездов на кривых малых радиусов (на автомобильных дорогах 10 ‰ при $R = 80 \div 100$ м и 2—3 ‰ при $R = 150 \div 200$ м; на железных дорогах колеи 750 мм при $R < 300$ м 1,0—1,5 ‰).

Камеральную укладку трассы осуществляют следующим образом.

Острые одной ножки циркуля измерителя совмещают с точкой пересечения намеченной трассы с горизонталью, расположенной в начале трудного участка; другой ножкой циркуля делают засечку смежной горизонтали. Затем из этой точки таким же приемом находят точку на следующей горизонтали и т. д. Соединяя полученные точки друг с другом прямыми линиями, получают линию, имеющую естественные уклоны, равные уклону трассирования на всем своем протяжении (см. рис. 2.3, б). При таком развитии линии углы поворотов получаются на каждой горизонтали. Для уменьшения их количества полученную ломаную линию на участках, близких к прямой, целесообразно спрямить или заменить кривой большого радиуса при условии, если это не вызывает значительного увеличения объемов земляных работ.

После укладки трассы на всех трудных участках дороги приступают к трассированию участков вольного хода (см. рис. 2.3, а).

При использовании аэрофотоснимков применяют два способа трассирования дороги: на стереомодели местности, создаваемой фотограмметрическими приборами, или по карте в горизонталях, составленной по материалам аэрофотосъемки. Последний способ не отличается от описанного выше метода камерального трассирования.

Трассирование дороги по стереомодели выполняют в следующей последовательности:

дешифрируют аэрофотоснимки с выделением рельефа, участков занятых лесом, болот, грунтовых и гидрологических условий и других особенностей местности;

устанавливают возможные направления трассы с ориентировочной оценкой продольных уклонов, необходимых радиусов кривых в плане, местоположения фиксированных точек, удобных мест перехода через водотоки и болота;

укладывают выбранные варианты трассы на трудных участках, пользуясь стереометрическим прибором, ведя марку прибора под заданным продольным уклоном, отмечая на аэрофотоснимке вершины углов поворота;

уточняют местоположение трассы, спрямляя наиболее изломанные участки, и вписывают кривые в изображение местности на стереомодели с применением прозрачных шаблонов;

разбивают пикетаж, кривые на поворотах трассы, выполняют фотограмметрическое нивелирование трассы и составляют продольный профиль дороги.

§ 5. НАНЕСЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ НА ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ

Проектирование продольного профиля автомобильной дороги представляет собой сложную задачу, требующую комплексного решения в увязке с проектированием плана дороги, земляного полотна, водопропускных сооружений и водоотвода в целом. Различают два основных вида проектной линии: обертывающую и секущую (рис. 2.5).

Обертывающая линия назначается по возможности параллельно поверхности земли и ближе к ней и широко применяется в равнинной местности, так как обеспечивает небольшие объемы земляных работ при возведении земляного полотна из грунта, взятого из придорожных резервов. В пересеченном рельефе местности обертывающая проектная линия будет иметь большое количество переломов при наличии крутых подъемов и спусков, что вызовет снижение скорости движения поездов, перерасход топлива и увеличение стоимости вывозки леса.

В этом случае может быть более выгодной секущая проектная линия, при которой предусматривается срезка холмов или гряд (с устройством выемок) с использованием полученного грунта для отсыпки насыпей в соседних понижениях местности.

При проектировании продольного профиля необходимо обеспечить: плавность пути, позволяющую автомобилям развивать высокие скорости; отвод воды от земляного полотна; прохождение проектной линии через заданные отметки на контрольных точках (пункты примыкания к существующим и ранее запроектированным дорогам, пересечения с существующими дорогами и ЛЭП, отметки проезжей части мостов, отметки полотна дороги над горизонтами высоких вод в затопляемых районах и т. п.); возможность эффективной комплексной механизации работ по сооружению земляного полотна; удовлетворение пере-

Рис. 2.5. Основные виды проектной линии:

а — обертывающая; б — секущая

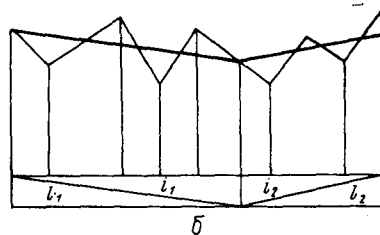
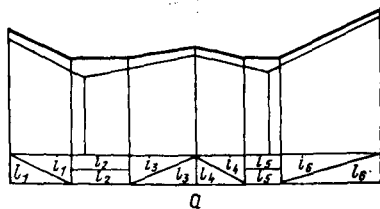
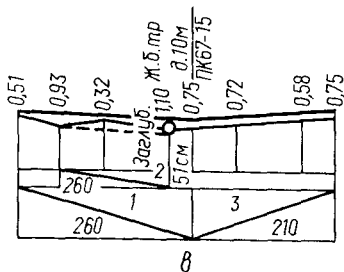
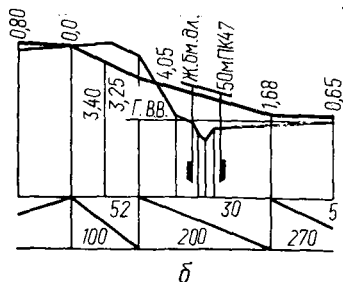
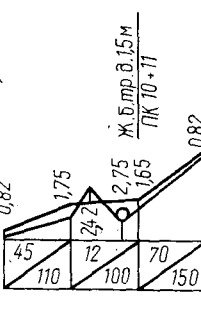
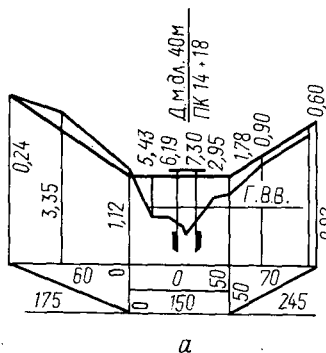


Рис. 2.6. Примеры нанесения проектной линии у водопропускных сооружений:

а, б — у мостов; в (в правом углу) — у труб;
в — с заглублением русла



численных выше требований при небольшом объеме строительных работ.

Нанесение проектной линии следует начинать с установления фиксированных высотных отметок в местах пересечения соответствующих дорог, линий электропередач и т. п. После этого, пользуясь нормами проектирования лесовозных дорог [17], устанавливают для различных участков дороги в зависимости от почвенно-грунтовых и гидрологических условий местности минимально необходимое возвышение земляного полотна дороги относительно поверхности земли (см. табл. 3.1).

Бровка насыпей на подходах к искусственным сооружениям должна возвышаться не менее чем на 0,5 м над отметкой подпертого расчетного горизонта высоких вод. В одном уровне с поверхностью земли проектируют зимние дороги сезонного действия и лесовозные усы.

Принятые значения величин руководящего подъема и максимального спуска при нанесении проектной линии следует использовать на всех участках дороги, где это дает экономию в земляных работах. Однако не следует назначать элементы с предельными уклонами на кривых малых радиусов (см. с. 19).

В местах, заносимых снегом, проектную линию следует наносить с отметками насыпи не меньше 0,5 м. Выемок следует по возможности избегать, допуская их лишь при пересечении резко выраженных водоразделов, на спусках в пойму водотоков (береговые выемки), а также в горной местности. В целях улучшения водоотвода не следует допускать в выемках элементов с уклонами менее 5‰. Объемы береговых выемок следует по возможности уравнивать с объемом насыпи, устраиваемой в пойме водотока.

Назначая проектную линию, следует избегать частых и резких ее переломов со сменой подъемов и спусков (пилообразный профиль). Вместе с тем нецелесообразно и искусственное введение очень длинных элементов, так как это вызывает излишние земляные работы.

На косогорных участках при уклоне более 1:5 проектирование продольного профиля должно вестись комплексно с одновременным проектированием поперечных профилей земляного полотна. На пологих склонах возможно размещение полотна дороги в полувыемке-полунасыпи с рабочими отметками, близкими к нулю. Трубы можно располагать на любых уклонах профиля, а мосты на уклонах до 30‰ (рис. 2.6).

В горной местности на крутых косогорах ($1/3$ и более) насыпь недостаточно устойчива, а постройка подпорных стенок для обеспечения устойчивости стоит весьма дорого. В этом случае часто более выгодной является выемка, врезанная в косогор не менее чем на 60—65 % ширины земляного полотна при крутизне косогора 1:3 и на 100 % — при крутизне 1:1 $\frac{1}{2}$ и больше (выемка в полке). Наилучшее положение проектной линии, со-

ответствующее минимуму стоимости строительства земляного полотна, находят путем небольшого смещения трассы дороги в сторону от первоначального направления. Для этого работу по окончательной укладке трассы выполняют на плане в горизонталях, составленном на основе снятых в натуре поперечников. На затяжных спусках целесообразно предусматривать противаварийные съезды в виде тупиков с большим (до 100 % и более) подъемом, на которых автомобиль с неисправными тормозами мог бы остановиться.

Длину такого тупика можно определить по формуле (5.53) или (5.54) при $b=0$. В конце тупика следует предусмотреть небольшой участок дороги (12—15 м) с уклоном не более 15—20 %, необходимый для безопасной стоянки автомобиля.

В проектных институтах лесной промышленности широко используют автоматизированные методы проектирования продольного профиля лесовозных автомобильных дорог с применением разработанной КарНИИЛП (г. Петрозаводск) системы программ САПАД-2 (см. главу 6).

Глава 3

ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Конструктивные особенности земляного полотна характеризуются третьей основной проекцией — поперечным профилем дороги.

Земляное полотно дороги в зависимости от положения проектной линии продольного профиля может иметь форму насыпи или выемки, а на косогорах — полунасыпи-полувыемки (рис. 3.1).

Участки дороги, на которых земляное полотно дороги переходит из насыпи в выемку, имеют рабочие отметки, равные нулю, и поэтому называются нулевыми местами. Земляное полотно в насыпи ограничено с боков плоскостями, называемыми откосами. Линия пересечения плоскости откоса с поверхностью земляного полотна называется бровкой.

Для обеспечения отвода воды с поверхности земляного полотна ей придают выпуклую форму (на зимних дорогах это не требуется). Линия, соединяющая бровки земляного полотна с его поверхностью в сечении, образует сливную призму, которая у автомобильных дорог обычно имеет треугольную форму, а у железных — трапецидальную.

Расстояние между бровками является шириной земляного полотна B (рис. 3.1).

Линию пересечения плоскости откосов с поверхностью земли называют подошвой насыпи.

Высотой насыпи (глубиной выемки) H является расстояние от поверхности земли на оси дороги до линии, соединяющей бровки земляного полотна.

Крутизна откосов характеризуется отношением высоты откоса к его заложению (горизонтальной проекции) и обозначается $1:m$, где m — коэффициент крутизны откоса.

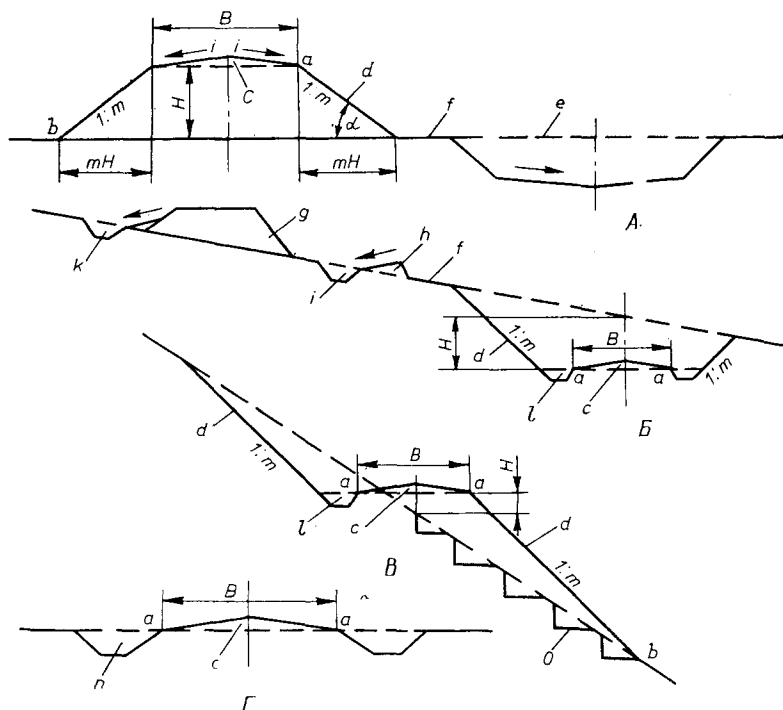


Рис. 3.1. Поперечные профили земляного полотна:

A — насыпь; B — выемка (на косогоре); V — полунасыпь-полувыемка; Γ — нулевое место; a — бровка земляного полотна; b — подошва насыпи; c — сливная призма; d — откосы насыпи или выемки; e — резерв; f — берма; g — кавальер; h — банкет; i — забанкетная канава; k — нагорная канава; l — кювет; n — боковая канава; o — уступы

Резервами называют неглубокие выработки вдоль дороги, откуда берется грунт для отсыпки насыпи.

Размеры боковых канав и резервов могут быть установлены из равенства массы грунта, необходимого для возведения насыпи, и массы грунта из канав (резервов).

При устройстве резервов необходимо обеспечить сток воды из резерва, для чего дно резерва планируют, придавая ему необходимые продольный и поперечный уклоны. Если грунт, получаемый при разработке выемки, не используют для отсыпки соседних насыпей, его следует укладывать с нагорной стороны

в кавальеры с устройством банкета и забанкетной канавы. Поверхности кавальера и банкета придают поперечный уклон в сторону от выемки (рис. 3.1, Б).

§ 2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Основные положения. Прочность земляного полотна обеспечивается отсыпкой насыпей из хороших грунтов (супесей, легких суглинков), послойным тщательным уплотнением, защитой от увлажнения и соответствующей подготовкой основания.

Обеспечение устойчивости насыпи на косогоре. Методы расчета устойчивости земляного полотна и его откосов основаны на законах механики грунтов. Они связаны с определенной схематизацией представления о механизме деформаций и основаны на допущении однородности грунта в расчетном слое или сечении.

В связи с переменной влажностью грунта земляного полотна не только в течение года, но и за ряд лет сопротивление грунта воздействию внешних нагрузок не постоянно, и поэтому при расчете устойчивости земляного полотна учитывают состояние грунтов в самый неблагоприятный год и период по увлажнению (весенняя распутица).

Для учета массы дорожной одежды серповидного профиля (или верхнего строения пути железной дороги) и подвижной нагрузки их заменяют величиной эквивалентного слоя грунта, которую прибавляют к геометрической высоте насыпи.

Толщину эквивалентного слоя определяют по формуле

$$h_{\text{эк}} = \frac{1}{\gamma_{\text{гр}}} \left(\frac{P_{\text{п.н}}}{B_{\text{б}}} + \gamma_{\text{д.о}} h_{\text{д.о}} \right), \quad (3.1)$$

где $P_{\text{п.н}}$ — расчетная нагрузка (масса) от подвижного состава на 1 м длины экипажа, т/м; $B_{\text{б}}$ — ширина базы машины (с учетом ширины гусениц или колес ходовой части); $\gamma_{\text{гр}}$, $\gamma_{\text{д.о}}$ — плотность грунта насыпи и дорожной одежды, т/м³; $h_{\text{д.о}}$ — толщина дорожной одежды (при корытном профиле одежды можно принимать $h_{\text{д.о}} = 0$).

На магистралях и постоянных ветках при расчете $P_{\text{п.н}}$ следует принимать стандартную колесную нагрузку Н-30 или гусеничную НГ-60. На лесовозных ветках ограниченного срока действия (до 10 лет) величину $P_{\text{п.н}}$ следует определять с учетом массы и длины наиболее тяжелых экипажей (погрузчиков, валочно-трелевочных машин и др.), которые будут работать в проектируемом предприятии.

Условие предельного равновесия одной погонной единицы длины насыпи (например, 1 м) на косогоре (рис. 3.2, а) выражается неравенством

$$gQ \sin \alpha \leq gfQ \cos \alpha + cF10^3,$$

где Q — приведенная масса земляного полотна, отнесенная к единице длины насыпи, т; α — угол наклона косогора, град.; f — коэффициент трения грунта по грунту; F — площадь опоры (основания) единицы длины насыпи, м²; c — удельная сила сцепления, МПа.

Выражая площадь F через удельную нагрузку — давление p , $F = gQ/p10^3$, будем иметь

$$gQ \sin \alpha \leq gfQ \cos \alpha + gQc/p,$$

откуда

$$f \geq \operatorname{tg} \alpha - \frac{c}{p \cos \alpha}, \quad (3.2)$$

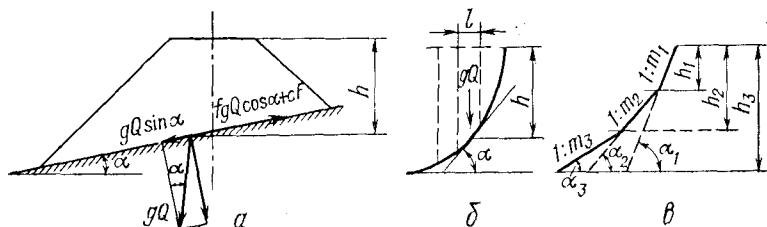


Рис. 3.2. Расчетные схемы устойчивости:

a — насыпи на косогоре; b — откос насыпи; $в$ — обеспечение устойчивости откосов при дании им переменной крутизны

где p — удельная нагрузка на основание насыпи, МПа, равная

$$p = g\gamma_{гр} \frac{h_{геом} + h_{эк}}{10^3}, \quad (3.3)$$

где $h_{геом}$ — геометрическая высота насыпи; $h_{эк}$ — эквивалентная высота, учитывающая воздействие дорожной одежды и подвижной нагрузки, м [см. формулу (3.1)].

Подставив p в формулу (3.2), получим

$$f \geq \operatorname{tg} \alpha - \frac{c10^3}{g\gamma_{гр} (h_{геом} + h_{эк})}. \quad (3.4)$$

Из формулы видно, что устойчивость насыпи уменьшается при возрастании ее высоты.

Расчеты и опыт строительства показывают, что для устойчивости насыпи при поперечном уклоне местности до 1 : 10 подготовка основания насыпи должна заключаться в снятии растительного слоя и корчевке пней (для насыпей высотой до 0,5 м). При высоте насыпи от 0,5 до 1 м пни срезают вровень с землей. При поперечном уклоне от 1 : 10 до 1 : 5 необходимо удалять растительный слой и корчевать пни под насыпями высотой до 1 м, разрыхляя основание при высоте насыпи более 1 м. Корчевка пней предусматривается также на участках, занимаемых выемками, канавами и резервами.

При поперечном уклоне местности от 1:5 до 1:3 необходимо устраивать уступы по всей подошве насыпи шириной не менее 2 м с уклонами 10—20%, а на более крутых скатах — упорные банкеты и подпорные стенки (рис. 3.3).

Обеспечение устойчивости откосов земляного полотна. Предельное очертание устойчивости откоса в связном грунте, имеющем угол внутреннего трения φ и сцепление c , может быть установлено из следующих соображений (см. рис. 3.2, б). Представим себе грунтовый массив, ограниченный сверху горизонталь-

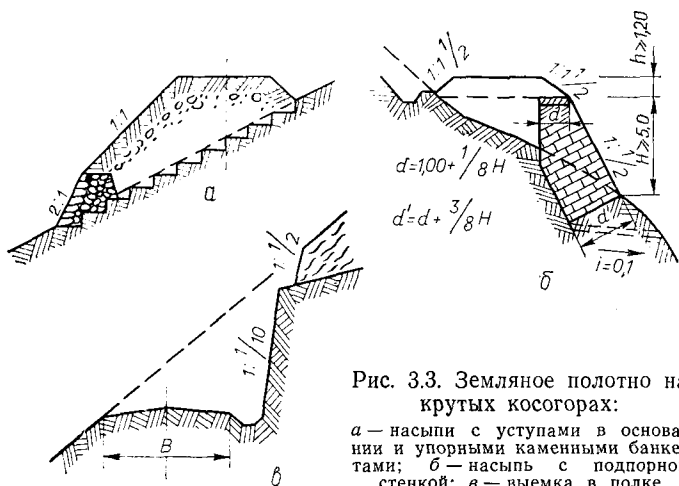


Рис. 3.3. Земляное полотно на крутых косогорах:

а — насыпи с уступами в основании и упорными каменными банкетами; б — насыпь с подпорной стенкой; в — выемка в полке

ной и сбоку вертикальными плоскостями. Разделим мысленно возможную призму обрушения вертикальными сечениями на ряд малых призм шириной 1 м и рассмотрим равновесие одной из них массой $Q = lh\gamma_{\text{гр}}$, допустив, что каждая отдельная призма сохраняет свое равновесие независимо от соседних призм.

Выделенная призма стремится сместиться по поверхности обрушения. Условие равновесия призмы выражается равенством

$$gQ \sin \alpha = gQ \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi + c \frac{l10^3}{\cos \alpha},$$

откуда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{k} \left(\operatorname{tg} \varphi + \frac{c10^3}{gh\gamma_{\text{гр}} \cos^2 \alpha} \right), \quad (3.5)$$

где α — угол устойчивого откоса; k — коэффициент запаса ($k=1,2 \div 1,4$); φ — угол внутреннего трения грунта; c — сцепление, МПа; у песков $c=0$ и $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi$.

Из формулы (3.5) видно, что крутизна откоса зависит от высоты насыпи. Проф. Н. Н. Масловым для определения угла устойчивости откоса предложена формула

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{k} \left(\operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{p} \right), \quad (3.6)$$

где p определяется по формуле (3.3).

Практически возведение земляного полотна с криволинейными откосами затруднительно, поэтому для небольших насыпей принимают откосы однообразной крутизны, а для более высоких назначают откосы, очерченные в сечении по ломаной линии, состоящей из двух прямых отрезков, вписанных в кривую естественного откоса. Поэтому у насыпей, возводимых из нескальных грунтов, откосы назначают: при высоте насыпи до 2 м 1:1,5—1:3, от 2 до 6 м 1:1,5. При высоте насыпи более 6 м откосам нижней ее части (ниже 6 м) придают крутизну 1:1,75.

В современной практике для расчета устойчивости откосов применяют и графоаналитические методы, в которых кривая скольжения рассматривается как цилиндрическая поверхность [28].

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ДОРОЖНЫХ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Различают основные и дополнительные дорожные земляные работы. К основным работам относят возведение насыпей и выемок, к дополнительным — работы по устройству водоотвода, дренажа, устройству переездов, снятию растительного слоя на площади резервов и под малыми насыпями, отсыпке конусов у мостов, устройству дамб, спрямлению русел и другие работы на пересекаемых дорогой водотоках. В равнинной и холмистой местности объем дополнительных земляных работ составляет в среднем 6—10 % основных работ.

При определении объемов основных земляных работ необходимо знать площади поперечных сечений насыпей и выемок. Как видно из рис. 3.1, площадь поперечного сечения насыпи

$$F_{\text{н}} = a + BH + mH^2, \quad (3.7)$$

где a — площадь сливной призмы, м^2 ; B — ширина земляного полотна между бровками, м ; H — величина рабочей отметки, м ; m — коэффициент крутизны откоса.

Площадь поперечного сечения выемки

$$F_{\text{в}} = 2k - a + (B + 2b)H + mH^2, \quad (3.8)$$

где k — площадь поперечного сечения кювета, м^2 ; b — ширина кювета поверху, м .

Значения a , b и k определяют простейшими расчетами согласно рис. 3.1. Например, площадь сливной призмы на автомобильных дорогах

$$a = iB^2/4, \quad (3.9)$$

где i — поперечный уклон поверхности земляного полотна (10—30‰).

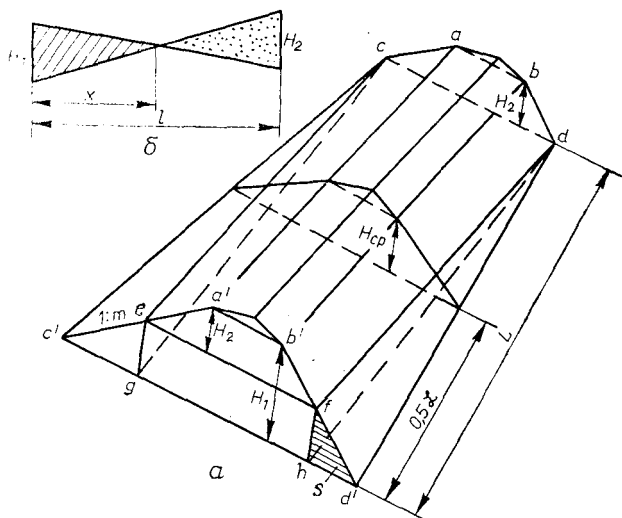


Рис. 3.4. Расчетные схемы:

a — для определения объема насыпи; b — для определения точки перехода насыпи в выемку

Отрезок насыпи, заключенный между смежными рабочими отметками (рис. 3.4, a), в геометрическом отношении представляет собой призматойд, объем которого

$$V = V_{\text{пр}} + V_{\text{кл}} + 2V_{\text{пир}},$$

где $V_{\text{пр}}$ — объем прямой призмы с основаниями $abcd$ и $a'b'ef$; $V_{\text{кл}}$ — объем клина с основанием $efgh$; $V_{\text{пир}}$ — объем пирамиды с основанием s .

Плоскость $cdef$ проведена параллельно бровкам насыпи и поэтому основание призмы $a'b'ef = F_2$, т. е. площади поперечного сечения насыпи высотой H_2 , основание клина $efgh = F_1 - F_2 - 2s$, где F_1 — площадь поперечного сечения насыпи высотой H_1 .

Таким образом

$$V = \left[F_2 + (F_1 - F_2 - 2s) \frac{1}{2} + \frac{2}{3} s \right] L = \left(\frac{F_1 + F_2}{2} - \frac{1}{3} s \right) L.$$

Из рис. 3.4 видно, что

$$s = \frac{m(H_1 - H_2)^2}{2};$$

с учетом этого

$$V = \left(\frac{F_1 + F_2}{2} - \frac{m(H_1 - H_2)^2}{6} \right) L, \quad (3.10)$$

где L — расстояние между смежными рабочими отметками, м.

Вместо $\frac{1}{2}(F_1 + F_2)$ в формуле (3.10) удобнее пользоваться средним сечением призматоида F_{cp} (рис. 3.4). Разница между ними составляет

$$\begin{aligned} 0,5(F_1 + F_2) - F_{cp} &= a + 0,5B(H_1 + H_2) + \\ + 0,5m(H_1^2 + H_2^2) - a - 0,5B(H_1 + H_2) - 0,25(H_1 + H_2)^2 &= \\ = 0,25m(H_1 - H_2)^2. \end{aligned}$$

Подставив F_{cp} и эту разницу в правую часть уравнения (3.10), получим формулу (предложена Мурзо) для расчета объемов земляных работ по средним рабочим отметкам:

$$V = \left(F_{cp} + \frac{m(H_1 - H_2)^2}{12} \right) L. \quad (3.11)$$

Вторые члены в скобках формул (3.10), (3.11) называются призматoidalными поправками. При $H_1 - H_2 < 1$ м их величина невелика. Для ускорения подсчета объемов работ пользуются таблицами, номограммами и ЭВМ. Формула (3.11) пригодна для подсчета объемов земляных работ насыпей и выемок при поперечном уклоне местности не более $\frac{1}{5}$. При большей крутизне объемы земляных работ подсчитывают по формуле (3.10), пользуясь снятыми в натуре поперечниками, на которые наносят проектные размеры земляного полотна и графически определяют значения F_1 и F_2 . Если две смежные рабочие отметки имеют разные знаки (рис. 3.4, б), необходимо сначала найти местоположение точки перехода насыпи в выемку по формуле

$$x = H_1 l / (H_1 + H_2), \quad (3.12)$$

а затем вычислить отдельно объем выемки и объем насыпи.

Сумма объемов насыпей и выемок называется профильным объемом земляных работ. Его следует отличать от производственного оплачиваемого объема, который меньше профильного на сумму объемов земли, взятой из выемок и использованной для отсыпки насыпей. Дополнительные объемы земляных работ являются производственными.

§ 4. ВОДНОТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ И ОСНОВЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Воднотепловым режимом земляного полотна дороги называют закономерные изменения во времени влажности и температуры в различных точках земляного полотна (рис. 3.5). В одной и той же местности воднотепловой режим насыпи резко отличается от режима выемки или нулевого места.

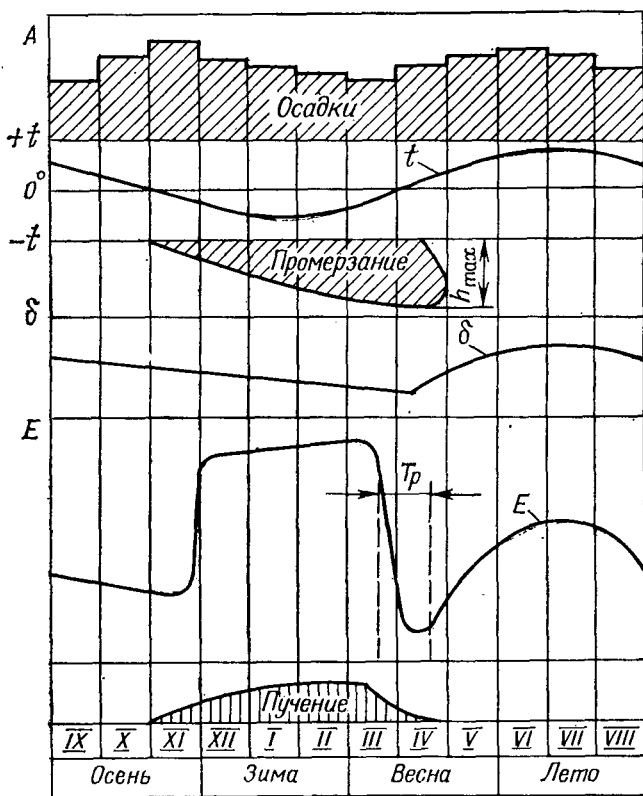


Рис. 3.5. Закономерные изменения воднотеплового режима земляного полотна: А — осадки; t — температура; δ — плотность грунта; E — модуль упругости; T_p — периоды распутицы

Важнейшими климатическими факторами, влияющими на воднотепловой режим, являются осадки, испарение, амплитуда и быстрота колебаний температуры воздуха и почвы, продолжительность морозного периода, направление и скорость ветра, мощность снежного покрова, глубина промерзания грунта.

Основные лесные районы страны (Север, Сибирь, Дальний Восток) характеризуются крайне неблагоприятными для строи-

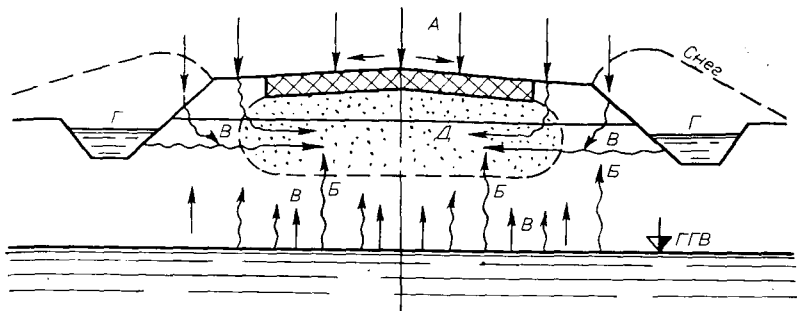


Рис. 3.7. Источники увлажнения земляного полотна:

А — атмосферные осадки; Б — капиллярная вода; В — пленочная и парообразная вода; Г — поверхностная вода; Д — зона конденсации пара

тельства и эксплуатации лесовозных дорог климатическими условиями. Для большинства этих районов характерно выпадение большого количества осадков (кроме некоторых районов Восточной Сибири), очень плохая испаряемость при высоком уровне грунтовых вод, холодное лето и продолжительная зима, значительное распространение в Восточной Сибири и Дальнем Востоке вечномёрзлых грунтов. В СССР принято деление территории страны на следующие пять дорожно-климатических зон: I — вечномёрзлых грунтов; II — избыточного увлажнения; III — значительного увлажнения в отдельные годы; IV — недостаточного увлажнения и V — засушливая (рис. 3.6).

Леса в СССР распространены в основном во II и частично в I и III зонах. Кроме того, действующими СНиП [54] предусмотрено в пределах каждой зоны различать три гидрологических типа местности:

1-й — сухие места — поверхностный сток обеспечен, грунтовые воды не оказывают существенного влияния на увлажнение верхней толщи грунтов.

2-й — сырые места — поверхностный сток не обеспечен, но грунтовые воды не оказывают существенного влияния на увлажнение верхней толщи грунтов, почвы с признаками поверхностного заболачивания. Весной и осенью появляется застой воды на поверхности.

3-й — мокрые места, грунтовые или длительно стоящие (более 20 суток) поверхностные воды влияют на увлажнение верхней толщи грунтов; почвы торфяные, оглеенные с признаками заболачивания.

Грунтовые воды не оказывают влияния на увлажнение верхней толщи грунтов в случае, когда их уровень в предморозный период (осенью) залегает ниже поверхности земли;

на 2 м и более — в глинах, суглинках тяжелых и пылеватых;

на 1,5 м и более — в суглинках легких и легких пылеватых, супесях тяжелых и пылеватых;

на 1 м и более — в супесях легких, песках.

Количество влаги в грунте не остается в течение года постоянным, а изменяется согласно уравнению водного баланса (рис. 3.7):

$$W = A + B + B + \Gamma - (D + E + \text{Ж}), \quad (3.13)$$

где A, B, B, Γ — поступление воды к земляному полотну (A — атмосферные осадки; B — капиллярная вода, поднимающаяся из водоносных нижележащих слоев; B — пленочная вода, поступающая вверх по пленкам, и парообразная — поступающая

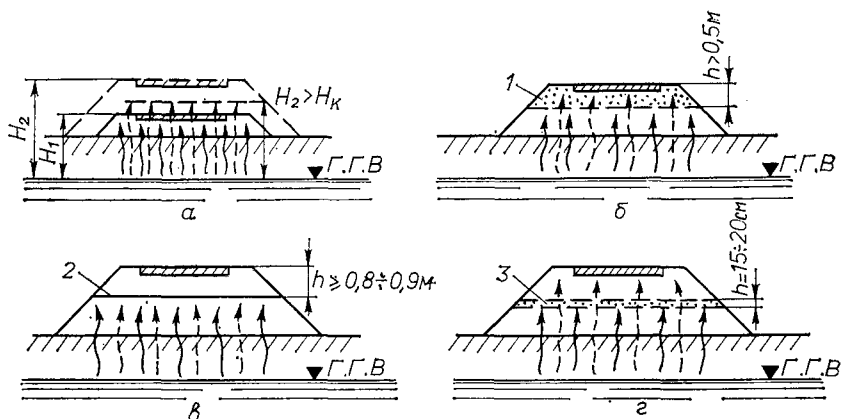


Рис. 3.8. Мероприятия по уменьшению зимнего влагонакопления и устранению пучинообразования:

a — увеличение высоты насыпи; $б$ — замена пылеватого или илистого грунта дренирующим; $в$ — устройство водонепроницаемой прослойки; $г$ — устройство капилляротрывающей прослойки из крупнозернистого материала; H — высота капиллярного поднятия; 1 — дренирующий грунт; 2 — водонепроницаемая прослойка; 3 — крупнозернистый материал

по незаполненным водой порам; Γ — поверхностные воды, поступающие к дороге по уклонам местности; $D, E, \text{Ж}$ — расход воды (D — сток воды с земляного полотна и по водоотводным сооружениям; E — испарение влаги; Ж — просачивание в глубинные слои грунта).

В годовом цикле изменения влажности грунта во II дорожно-климатической зоне различают следующие периоды:

осень, когда происходит первоначальное накопление влаги в результате осенних дождей;

зима, когда происходит промерзание земляного полотна и зимнее перераспределение влаги с ее миграцией из нижних — более теплых в верхние более холодные слои по пленкам связанной воды и капиллярам;

весна, когда происходит оттаивание земляного полотна, таяние ледяных прослоек и линз и наступает переувлажнение грунта;

лето, когда полотно дороги просыхает и его влажность доходит до минимума, определяемого типом местности.

Зимняя миграция влаги происходит интенсивно в начальный период, при температуре от 0 до -3°C . При более низких температурах большая часть рыхлосвязанной воды замерзает и перемещение влаги практически прекращается. Количество воды, подтянутой к центрам кристаллизации льда в верхней части земляного полотна, бывает тем больше, чем длительнее периоды времени с температурой 0, -3°C и чем больше пылеватых частиц в грунте.

При проектировании лесовозной дороги предусматривают необходимые мероприятия по улучшению воднотеплового режима земляного полотна, в частности: 1) для удаления поверхностных вод от земляного полотна устраивают водоотвод; 2) для устранения вредного влияния высокостоящих грунтовых вод (рис. 3.8) доводят до минимума протяжение выемок и нулевых мест, назначая проектную линию в насыпях; в необходимых случаях проектируют понижение уровня грунтовых вод с устройством осушительных канав (дренажа); 3) для предотвращения миграции влаги предусматривают устройство водонепроницаемых прослоек из грунта, обработанного битумом (4—8 см), полиэтиленовых пленок и т. п. или капиллярпрерывающих прослоек из зернистого материала, отсыпают дренирующий грунт в верхней части земляного полотна или поднимают бровку земляного полотна на необходимую высоту (табл. 3.1).

Прослойки устраивают с поперечным уклоном 30‰ на высоте не менее 0,2 м над уровнем источника увлажнения и на глубине не менее 0,9 м от низа дорожной одежды. На железных дорогах колеи 750 мм прослойки обоих типов не применяют. На

Таблица 3.1

Грунт земляного полотна	Минимальное возвышение бровки насыпи, м			
	над уровнем грунтовых и длительно (более 20 суток) стоящих поверхностных вод		над поверхностью земли при необеспеченном стоке	
	II зона	III зона	II зона	III зона
Песок средний и мелкий, супесь легкая, крупная	0,7	0,6	0,5	0,4
Песок пылеватый, супесь легкая	1,2	0,8	0,6	0,5
Супесь пылеватая, суглинки легкие и пылеватые	1,9	1,7	0,8	0,6
Суглинок тяжелый, глина	1,9	1,4	0,7	0,6

Примечание. Для веток допускается введение понижающего коэффициента 0,7—0,8.

ветках временного действия капилляропрерывающую прослойку можно устраивать из хвороста, но этот слой не должен заливаться поверхностными водами.

Если дороги прокладывают вдоль осушительных канав, их водный режим значительно улучшается ввиду понижения уровня грунтовых вод. Однако надо иметь в виду, что по нормам СНиП II-Д.5—72 возвышение низа дорожной одежды над горизонтом грунтовых вод, пониженным путем устройства дренажа, рекомендуется принимать на 25 % больше, чем указано в табл. 3.1.

§ 5. ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ БОЛОТ

Основные виды и классификация болот. Для основных лесных районов страны характерно широкое распространение болот. Болотами называют места с затрудненным поверхностным и внутренним стоком воды, занятые залежами высокопористых водонасыщенных грунтов органического происхождения: торфом и органическими илами (сапропелями) с включением минеральных частиц.

В зависимости от характера водного питания различают болота верховые, получающие воду в основном за счет атмосферных осадков, и низинные, питающиеся грунтовыми водами.

Верховые болота заполнены торфом на всю глубину. Они возникают в лесу, на вырубках, пожарищах и на лугах, в местности, не имеющей достаточного стока воды с появления мха «кукушкин лен», за которым следуют другие влаголюбивые растения. Заключительной фазой образования верхнего болота является зарастание его мхом — сфагнумом, т. е. образуется моховое болото.

Низинные болота возникают в результате зарастания водоемов, которое начинается от берегов. Постепенно образуется «сплавина» — сплошной ковер из растительности, который покрывает всю площадь водоема с отдельными «окнами» — незаросшими глубокими местами и в районе ключей. Сплавина постепенно утолщается, пока не соединится с отложениями на дне водоема (сапропелем, илом).

Классификация типов болотных грунтов и их физические и механические свойства приведены в работе [32].

Ниже приведена дорожно-строительная классификация болот:

I тип — сплошь заполненные плотным торфом устойчивой консистенции, сжимающимся под нагрузкой от насыпей высотой до 3 м;

II тип — заполненные торфом и другими болотными грунтами неустойчивой консистенции, выдавливающимися из-под насыпей высотой 3 м;

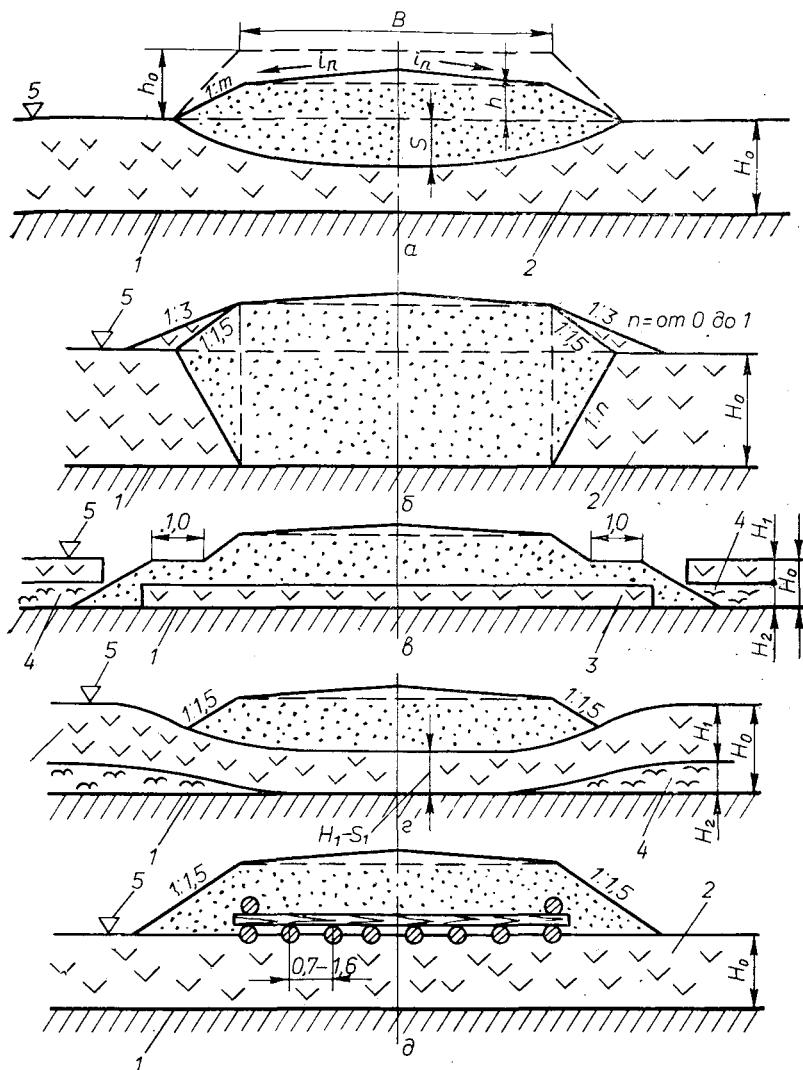


Рис. 3.9. Устройство земляного полотна на болотах:

а — на болоте I типа, заполненном плотным торфом; б — на болотах I и II типов с полным или частичным выторфовыванием; в — на болотах III типа с плавающей слявиной и посадкой насыпи вместе со слявиной на минеральное дно; г — то же, но без устройства прорезей в слявине; д — с устройством сланей из низкокачественной древесины (конструкция сланей зависит от местных условий и применяемых способов отсыпки насыпи на болоте); 1 — минеральное дно болота; 2 — плотный торф; 3 — слявина; 4 — жидкий торф или сапропель; 5 — уровень болота; h_0 — общая толщина отсыпанного слоя грунта с учетом осадки; h — проектная рабочая отметка; s — осадка насыпи; H_0 — глубина болота; H_1 — толщина верхнего слоя; H_2 — толщина нижнего слоя; s_1 — осадка верхнего слоя

III тип — заполненные жидким торфом и водой с плавающей торфяной коркой (сплавиной).

Основные типы конструкций земляного полотна на болотах. Насыпи на болотах I типа глубиной до 1—4 м возводят без выторфовывания (рис. 3.9, а), а при устройстве усовершенствованных покрытий или глубине болота более 4 м — с полным или частичным выторфовыванием (рис. 3.9, б). На болотах II и III типов насыпи, как правило, должны возводиться с посадкой на минеральное дно вместе со сплавной (рис. 3.9, в и г).

Насыпи на болотах необходимо возводить из дренирующих (песчаных) грунтов; допускается использование суглинков для отсыпки верхней части насыпи, расположенной выше уровня болота или ГВВ на 0,3—0,5 м (высота капиллярного поднятия воды для песков), и торфа I типа — для отсыпки ее нижней части. Высота насыпи над поверхностью болота после полной осадки насыпи должна отвечать требованиям норм.

На болотах I типа допускается возведение насыпей на сланях для всех видов дорог, на болотах II типа — для дорог хозяйственного назначения, на которых движение тяжелых лесовозных поездов не предполагается (рис. 3.9, д).

Возведение насыпей на сланях значительно облегчает, а при слабом торфе обеспечивает единственную возможность выполнения работ по отсыпке насыпи на болоте. Кроме того, в ряде случаев слани благодаря более равномерному распределению нагрузки и плавучести снижают примерно на $\frac{1}{3}$ величину осадки насыпи.

Обеспечение устойчивости насыпи на торфяном основании. Возможность возведения насыпи на болоте I типа (рис. 3.9, а) должна быть проверена расчетом на ее устойчивость по формуле Н. Н. Маслова

$$p_p \leq \pi c, \quad (3.14)$$

где p_p — расчетная допускаемая удельная нагрузка на торфяное основание; c — сцепление.

Величина расчетной нагрузки определяется по формуле

$$p_p = \frac{h_{\pi} + h_{\text{эк}} + s}{10^3} g \gamma_{\text{гр}}, \quad (3.15)$$

где h_{π} — проектная высота насыпи, м; $h_{\text{эк}}$ — эквивалентная высота, учитывающая воздействие подвижной нагрузки и дорожной одежды [см. формулу (3.1)], м; s — ожидаемая осадка насыпи; $\gamma_{\text{гр}}$ — плотность грунта насыпи, т/м³.

Для повышения устойчивости насыпи, кроме уменьшения ее проектной высоты, могут быть предусмотрены уположение откосов, устройство пригрузочных берм и применение сланей.

Необходимо отметить, что проектную высоту насыпи на болоте можно уменьшить лишь до определенного предела.

Изучение воздействия подвижной нагрузки на основание насыпей на болотах показывает [32], что при малой высоте насыпи подвижная нагрузка вызывает значительные динамические усилия и вибрацию основания, что может привести к потере его прочности. Поэтому следует придерживаться следующей минимальной приведенной высоты насыпи, отсыпаемой без выторфовывания:

мощность торфяной залежи, м	2	3	4	6
приведенная высота насыпи на дорогах с одеждами переходного типа и на железных дорогах колеи 750 мм, м	1,5	1,8	2,1	2,5

Ускорение процесса консолидации насыпей на болотах. Торфяные грунты отличаются весьма высокой сжимаемостью — под действием массы насыпи толщина слоя торфа может уменьшиться в результате сжатия до 2 раз и более. Торф, как и другие водонасыщенные грунты, представляет собой двухфазную систему: скелет — вода. Уменьшение объема водонасыщенного грунта возможно за счет отжатия из него поровой воды. Скорость сжатия зависит от фильтрационной способности среды, через которую должна пройти вода.

Осадка насыпей, устраиваемых на болотах без выторфовывания, на сланях и без сланей может протекать в течение длительного времени.

При проектировании мероприятий по ускорению консолидации торфяной залежи под насыпью задаются степенью консолидации, которая представляет собой отношение расчетной величины осадки торфяной залежи (при которой процесс консолидации считается законченным) к полной осадке. Проектная степень консолидации принимается равной 80 % для дорог с покрытиями переходных типов и 90 % — для усовершенствованных покрытий.

Время, необходимое для достижения заданной степени консолидации насыпи на болоте I типа без вертикального дренирования, можно определить по формуле (в сутках)

$$t = H^2 T_b / C, \quad (3.16)$$

где H — толщина залежи, м; T_b — безразмерный коэффициент, называемый фактором времени, величину которого можно принять по графику (рис. 3.10), кривая $l/H = \infty$; C — коэффициент консолидации, определяемый на основании лабораторных компрессионных испытаний торфа по формуле

$$C = \frac{k_\phi (1 + e_0)}{a_\phi \Delta_b}, \quad (3.17)$$

где k_ϕ — коэффициент фильтрации (от 0,005 до 0,0005 см/с); e_0 — коэффициент пористости при начальной нагрузке p МПа; a_ϕ — коэффициент сжимаемости; Δ_b — плотность воды, т/м³.

Величину коэффициента сжимаемости торфа определяют на приборах одностороннего сжатия по формуле

$$a_\phi = (e_0 - e_p) / \Delta p, \quad (3.18)$$

Δp — нагрузка, вызвавшая изменение коэффициента пористости; e_p — коэффициент пористости, полученный при нагрузке $p + \Delta p$ (рекомендуется принимать ее равной расчетному давлению насыпи на основание).

Обычно для массивных насыпей назначают годичный срок для стабилизации земляного полотна, однако в ряде случаев и такого срока бывает недостаточно.

Для ускорения процесса консолидации полотна дороги необходимо:

полное или частичное выторфовывание (целесообразно при малой несущей способности торфа);

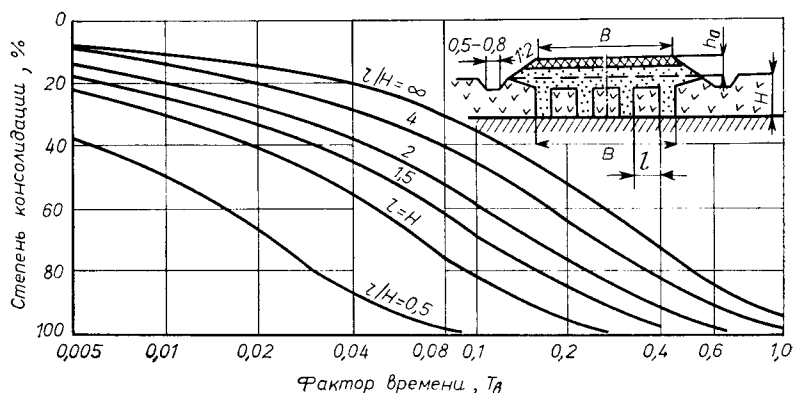


Рис. 3.10. График для расчета степени консолидации слоя водонасыщенного грунта без устройства вертикальных дренажных прорезей (кривая $l/H = \infty$) и с устройством прорезей (остальные кривые):

l — расстояние между прорезями; H — толщина водонасыщенного грунта

устройство вертикальных песчаных дрен (диаметром 0,35—0,45 м с расстоянием между ними $l = 1,5 \div 3,0$ м), продольных дренажных прорезей (шириной 0,8—1,2 м) или поперечных (шириной до 3,6 м), засыпанных песком, которые резко сокращают период консолидации и обеспечивают, кроме того, повышение устойчивости основания.

Вертикальное дренирование. Торфы с малой степенью разложения и значительным коэффициентом фильтрации ($k_{\phi} = (1 \div 2) \cdot 10^{-3}$ см/с) хорошо уплотняются естественным образом за 1—2 года. В таких грунтах вертикальные дрены, особенно устраиваемые методом продавливания, снижающим горизонтальную водопроницаемость залежи за счет уплотнения, бесполезны. Малоэффективны они и при очень малой водопроницаемости грунтов (обводненные глины) с $k_{\phi} < 1 \cdot 10^{-7}$ см/с, а также при малой толщине залежи (менее 2 м).

При наличии вертикальных дрен (круглых или прорезей) под воздействием насыпи на торфяную залежь поток выжимаемой воды направляется вверх по дренам и выходит на поверхность через дренирующий слой (рис. 3.10).

На неглубоких болотах (до 3—4 м), если торф позволяет хотя бы на короткое время заложить вертикальные стенки выработок, целесообразно применять вместо круглых дрен прорези, заполненные песком.

Необходимое расстояние между прорезями или дренами можно определить, пользуясь графиками на рис. 3.10, задаваясь необходимыми степенью консолидации и фактором времени T_b . Величина последнего

$$T_b = C_r t / l^2, \quad (3.19)$$

где C_r — коэффициент консолидации при фильтрации в горизонтальном направлении, определяемый по формуле (3.17); t — время, необходимое для осуществления консолидации (в зависимости от графика строительства $t = 30 \div 90$ суток); l — расстояние между дренами, м.

Из выражения (3.19) видно, что при вычислении T_b необходимо предварительно задаться ориентировочным расстоянием между дренами, которое затем уточняется по графику на рис. 3.10 (метод подбора).

Устройство круглых вертикальных песчаных дрен обходится значительно дороже, чем прорезей, поэтому их предусматривают в основном на дорогах с усовершенствованными покрытиями при пересечении болот глубиной свыше 4 м и слабом торфе.

Толщину дренирующего слоя принимают равной предполагаемой осадке насыпи s (см. рис. 3.9).

Осушение болотной залежи перед отсыпкой насыпи. Осушение болота открытыми канавами эффективно при достаточной водопроницаемости торфа (I и отчасти II типы болотных грунтов) и позволяет перевести болото II или III типа по строительной классификации в болото I типа (о дренаже и осушительных канавах см. следующий параграф).

Снижение влажности осушенной торфяной залежи вызывает ее осадку, равную

$$s_6 = H \left(1 - \frac{\gamma_0}{\gamma_k} \cdot \frac{100 - \omega_0}{100 - \omega_k} \right), \quad (3.20)$$

где H — толщина торфяной залежи, м; γ_0, γ_k — плотность торфа до осушения и после осушения, т/м³; ω_0, ω_k — влажность торфа до и после осушения, %.

В течение года происходит 75—90 % осадки от осушения. Величину осадки болота от осушения необходимо учитывать при назначении проектной линии продольного профиля.

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОЙ (РАСЧЕТНОЙ) ОСАДКИ НАСЫПИ В ТОРФЯНУЮ ЗАЛЕЖЬ

Величину осадки насыпи в торфяную залежь в общем виде можно выразить так:

$$s = \int_0^{h_a} \lambda_z dz,$$

где λ_z — относительное вертикальное сжатие элемента залежи, расположенного на глубине z от поверхности; h_a — толщина активной зоны.

Полагают, что деформации залежи за пределами активной зоны практически отсутствуют. Зависимость $\lambda_z = f(z)$ весьма сложная и имеет нелинейный характер. Для упрощения получаемых расчетных зависимостей некоторые авторы используют теорию линейно-деформируемых сред с использованием переменных параметров. Есть предложения учитывать при этом нелинейность зависимости деформаций от напряжений суммированием деформаций, определяемых для нескольких слоев залежи по линейной зависимости с учетом разных значений модуля упругости (деформаций) для каждого слоя.

На основе анализа ряда предложенных методов определения осадок [32] можно прийти к выводу о целесообразности использования зависимости

$$s = (\gamma_n h_n + \Delta_B z_{гв}) : \left(\frac{10^3 E_T}{(1 - \mu^2) g H_p} - \gamma_n^{взв} \right), \quad (3.21)$$

где s — ожидаемая осадка, м; h_n — высота насыпи, м; Δ_B — плотность воды, т/м³; $z_{гв}$ — глубина стояния уровня грунтовых вод в торфяной толще (при совпадении уровня грунтовых вод с поверхностью болота $z_{гв} = 0$), м; $\gamma_n^{взв}$ — плотность грунта насыпи ниже уровня грунтовых вод ($\gamma_n^{взв} = \gamma_n - \Delta_B$), т/м³; E_T — модуль деформации торфа (от 0,1 до 0,3 МПа в зависимости от влажности); μ — коэффициент Пуассона торфа (0,1—0,25); H_p — расчетная глубина активной зоны, которую можно принять равной толщине торфяной залежи H_0 при $H_0 < 5$ м на однополосных дорогах и 7,5 м на двухполосных.

Формула (3.21) дает некоторый запас в определении расчетной осадки. С учетом этого величину h_n в ней следует принимать равной геометрической высоте насыпи, без учета массы дорожной одежды и подвижной нагрузки.

Для ориентировочных расчетов можно пользоваться полученной из усредненного уравнения компрессии формулой (по Н. Н. Иванову)

$$s = \frac{2,3 H_0}{A (1 + e_0)} \lg \frac{p_p}{p_0}, \quad (3.22)$$

где p_p — расчетная нагрузка от насыпи на торфяное основание, см. формулу (3.3), МПа; p_0 — начальное внутреннее давление в середине залежи, равное

$$p_0 = g\gamma_t H / 2000, \quad (3.23)$$

где γ_t — объемная масса торфа; H — глубина болота, м.

Значения коэффициента A и коэффициента пористости до отсыпки насыпи ε_0 можно принимать по табл. 3.2.

Величина осадки насыпи при применении дренирования продольными прорезями определяется по формуле

$$s_{пр} = H \left(1 - \frac{l\alpha + a}{l - a} \right); \quad \alpha = (\varepsilon_p + 1) / (\varepsilon_0 + 1), \quad (3.24)$$

где l — расстояние между дренами (прорезями), м; a — ширина прорези, м.

Таблица 3.2

Вид торфа	Степень разложения, %	Зольность, %	ε_0 при $p=0,1$ МПа	A
Древесный	55	2,3	6,50	0,20
»	80	12,0	5,23	0,30
Медиум-торф	30	—	3,15	0,19
Пушицевый	40	2,3	5,50	0,23
Сфагновый	30	2,5	5,20	0,52
»	55	3,3	4,50	0,25
Осоково-глинистый	25	—	4,50	0,50
Осоково-древесный	60	17,0	5,50	0,40
Тростниково-древесный	70	14,0	5,50	0,13

Определение объемов земляных работ при отсыпке насыпей на болотах. Объем земляных работ по устройству насыпей на болотах подсчитывают с учетом осадки насыпи в болоте.

Площадь поперечного сечения просевшей части насыпи на болоте I типа, отсыпаемой без выторфовывания (см. рис. 3.9, а), можно определить по формуле

$$F_s = 0,83s (B + 2mh). \quad (3.25)$$

Для насыпей на болоте III типа с нижним слоем из органического ила, устраиваемых по схеме рис. 3.9, г,

$$F_s = 0,83s (B + 2mh) + H_2 B; \quad (3.25a)$$

для насыпей, устраиваемых с полным выторфовыванием (см. рис. 3.9, б),

$$F_s = (B + mh) H_0; \quad (3.25б)$$

для насыпей с дренажными прорезями

$$F_s = (B - l_k) s, \quad (3.25в)$$

где l_k — расстояние от края подошвы насыпи до бровки первой прорези, м; остальные обозначения см. на рис. 3.9.

Для понижения уровня высокостоящих грунтовых вод на лесовозных дорогах широко применяют открытый дренаж — осушительные канавы. Лишь в отдельных случаях, например в выемках, устраивают закрытый подкюветный дренаж из труб, уложенных в канавы, заполненные дренирующим материалом (песок, гравий и др.). Закрытый дренаж применяют и для перехвата воды из водоносного слоя, вскрытого при разработке выемки (рис. 3.11, в).

В инструкции [17] рекомендуется осушительные канавы прокладывать на расстоянии не ближе 2 м от подошвы насыпи.

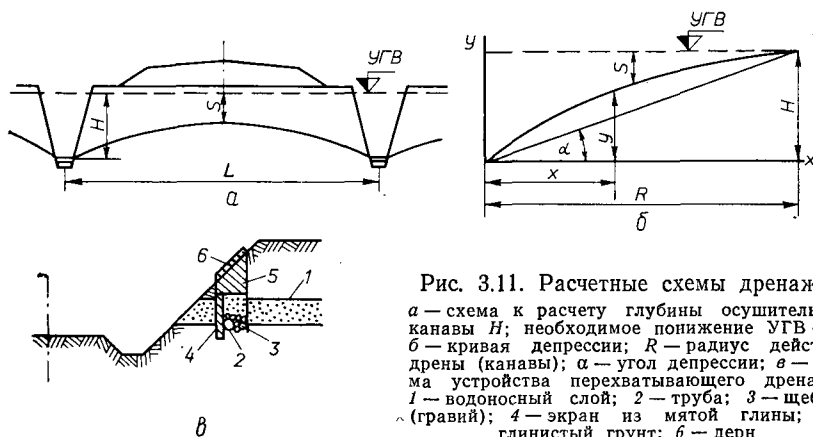


Рис. 3.11. Расчетные схемы дренажа:

а — схема к расчету глубины осушительной канавы H ; необходимое понижение УГВ — s ; б — кривая депрессии; R — радиус действия дрены (канавы); α — угол депрессии; в — схема устройства перехватывающего дренажа; 1 — водоносный слой; 2 — труба; 3 — щебень (гравий); 4 — экран из мягкой глины; 5 — глинистый грунт; 6 — дерн

Ширина канавы по дну — не меньше 0,6 м, а глубина — по расчету, но не менее 0,8 м при крутизне откосов стенок 1 : 1. При глубине залегания водоупора, большем (несовершенный дренаж), чем предполагаемая глубина канавы, последние назначают с обеих сторон дорожного полотна. Их наличие вызовет понижение (депрессию) уровня грунтовых вод (УГВ) в виде кривой депрессии (рис. 3.11, а, б), представляющей собой параболу второй степени с уравнением

$$y = H \sqrt{x/R}, \quad (3.26)$$

где H — понижение УГВ у канавы (максимальное); R — ширина осушаемой дренажной (канавной) полосы местности (в одну сторону), называемая радиусом действия дренажа.

Его принимают равным $R = H : \operatorname{tg} \alpha$, где α — угол депрессии, т. е. угол наклона хорды, стягивающей концы кривой депрессии. Для торфяных грунтов $\operatorname{tg} \alpha = 10 \div 70$; супесей 10—25; суглинков 25—50; глин 50—100 %, в зависимости от коэффициента фильтрации водоносного пласта, определяемого экспериментальным путем.

Зная расстояние между дренами L и принимая $x=0,5 L$, в формуле (3.26) получим, что

$$s = H (1 - \sqrt{L/2R}), \quad (3.27)$$

где s — величина понижения УГВ на оси дороги.

Задаваясь необходимым значением s и заменяя R его значением (см. выше), получим квадратное уравнение

$$\left(\frac{s}{H}\right)^2 - \left(2 + \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{2s}\right) \frac{s}{H} + 1 = 0, \quad (3.28)$$

решая которое, можно определить необходимую глубину канавы (считая ее до горизонта воды в канаве).

При проектировании закрытого дренажа диаметр трубы находят из равенства количества притекающей воды и расхода трубы:

$$k h i_{\text{сд}} l = 24 d^{8/3} \sqrt{i_d}, \quad (3.29)$$

где k — коэффициент фильтрации грунта водоносного слоя; h — глубина воды в слое; $i_{\text{сд}}$ — уклон водоносного слоя; l — длина дрены; d — диаметр трубы; i_d — уклон дрены.

Величину необходимого уклона i_d определяют, задаваясь скоростью течения воды в трубе. (в пределах $0,6 < v_{\text{доп}} < 1,2$ м/с), пользуясь формулой

$$i_d = v_{\text{доп}}^2 / 30,4^2 d^{4/3} = v_{\text{доп}}^2 / 924 d^{4/3}. \quad (3.30)$$

Ориентировочные значения коэффициента фильтрации: у песков 10^{-2} — 10^{-3} ; у супесей 10^{-4} — 10^{-5} ; у суглинков 10^{-5} — 10^{-7} ; у глин 10^{-7} ; у торфа 10^{-3} — 10^{-4} . При неглубоком (до 1,5 м) залегании слоя водоупора закрытую дренажную трубу можно укладывать на его поверхности только с верховой стороны.

Глава 4

ВОДОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И ВОДООТВОД

§ 1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ, НАЗНАЧЕНИЕ И РАЗМЕЩЕНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Прокладываемая лесовозная дорога встречает на местности различные природные препятствия: реки, ручьи, овраги, суходолы, болота и др. Для проложения дороги через эти препятствия необходимо устраивать водопропускные сооружения: мосты, трубы, лотки и фильтрующие насыпи. Водопропускные сооружения представляют собой технически сложную и дорогостоящую часть дороги, и расходы на их строительство достигают 10 % стоимости дороги в равнинной местности и до 25 % при горном рельефе.

Основными видами водопропускных сооружений являются мосты и трубы. В зависимости от размеров водосборной пло-

щади и длины поверху L мосты разделяют на малые при $F < 100$ км² и $L < 30$ м; средние при $F > 100$ км² и L от 30 до 100 м и большие при $L > 100$ м. Наибольшее распространение имеют малые мосты и трубы, перекрывающие небольшие речки и ручьи, а также временные водотоки (суходолы). При проектировании таких сооружений широко используют типовые проекты, привязанные к конкретным условиям местности и отметкам продольного профиля. Большие мосты строят по индивидуальным проектам, как правило, специализированные строительные организации. Размещение водопропускных сооружений, выбор их типа и определение размеров проводят на основе тщательного изучения рельефа местности, лесорастительных, грунтовых и климатических условий. При камеральном проектировании водопропускные сооружения намечают по продольному профилю в местах пересечений долин постоянными и временными водотоками, где имеются местные понижения поверхности земли. В то же время следует рассматривать и план дороги, так как при пересечении дорогой седловины на водоразделе, несмотря на понижение на продольном профиле поверхности, необходимости в водопропускном сооружении не будет. При пересечении нескольких расположенных близко друг к другу логов или водотоков можно уменьшить количество мостов или труб за счет объединения нескольких водотоков в один. О целесообразности такого мероприятия можно судить по результатам технико-экономических расчетов.

Трубы, а также малые и средние мосты можно проектировать на любых сочетаниях плана и профиля трассы, допускаемых нормативами для данной категории дороги. На больших мостах продольный уклон должен быть не более 20 ‰. Переломы продольного профиля на мостах с дощатым настилом не допускаются. Мосты через водные пространства должны удовлетворять требованиям судоходства и лесосплава и обеспечивать пропуск корчехода и ледохода. Для уменьшения стоимости строительства мосты через реки не следует располагать ниже крупных притоков из-за возможного заиливания подмостового сечения, в местах возможного подмыва берегов, в местах, где имеются несколько рукавов. Лучшие места для устройства мостов — на прямом, спокойном и узком русле. Выбор места перехода на крупных реках является сложной технико-экономической задачей, которая решается в процессе изысканий.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СТОКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РАСХОДА МАЛЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Количество воды, притекающей к водопропускному сооружению в единицу времени (м³/с), называется расходом, а количество воды, протекающей за период времени через живое се-

чение, — объемом стока W (м^3). Поверхностный сток зависит от ряда факторов — климатических условий, площади водосборного бассейна, уклонов лога и склонов, наличия растительности, впитываемости почвы и пр. Максимальный расход воды возникает либо летом во время интенсивных ливней, такой сток называется ливневым, либо весной в результате таяния снега — сток талых вод.

Определение расхода от ливневых вод. Для определения расчетного расхода от ливневых вод используют метод, разработанный МАДИ и Союздорпроектом. В основе этого метода лежит общая формула определения ливневого стока

$$Q_{\text{л}} = 16,7 a_{\text{р}} F \alpha \varphi, \quad (4.1)$$

где $a_{\text{р}}$ — расчетная интенсивность ливня той же вероятности превышения, что и искомый расход, мм/мин; F — площадь водосбора, км^2 ; α — коэффициент стока, зависящий от вида грунтов (табл. 4.1); φ — коэффициент редукиции, учитывающий возрастание неполноты стока с увеличением площади; при $F < 100 \text{ км}^2$ $\varphi = 1 : \sqrt{10F}$; при $F < 0,1 \text{ км}^2$ $\varphi = 1$; 16,7 — коэффициент, учитывающий размерность различных величин ($1 \cdot 10^6 / 60 \cdot 10^3$).

Определяемый по формуле (4.1) максимальный расход наблюдается очень короткое время. В связи с этим расчетный

Таблица 4.1

Тип и характер поверхности	Коэффициент α при площади водосбора, км^2		
	0—1	1—10	10—100
I. Скала без трещин	1	1	1
II. Жирная глина	0,7—0,95	0,65—0,95	0,65—0,90
III. Суглинки, подзолистые и болотистые почвы	0,6—0,90	0,55—0,80	0,50—0,75
IV. Каштановые и карбонатные почвы	0,55—0,75	0,45—0,70	0,35—0,65
V. Супеси, степные почвы	0,30—0,55	0,20—0,50	0,2—0,45
VI. Песчаные гравелистые рыхлые каменные почвы	0,2	0,15	0,10

расход у сооружения будет значительно меньше. Наиболее полные статистические данные об интенсивности ливней имеются для его часовой продолжительности. В то же время найдена зависимость между интенсивностью ливня и его продолжительностью (t мин): $a = K/t^{2/3}$, где K — климатический коэффициент.

Используя данные о часовой интенсивности ливня, $a_{\text{ч}}$, можно получить

$$a = \frac{60^{2/3}}{t^{2/3}} a_{\text{ч}}. \quad (4.2)$$

Таблица 4.2

Район	Интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин. при вероятности повышения (ВП), %				
	10	5	3	2	1
2	0,29	0,36	0,42	0,45	0,50
3	0,29	0,41	0,52	0,58	0,70
4	0,45	0,59	0,69	0,74	0,90
5	0,46	0,62	0,75	0,82	0,97
6	0,49	0,65	0,81	0,89	1,01
7	0,54	0,74	0,89	0,97	1,15
8	0,79	0,98	1,15	1,24	1,41
9	0,81	1,02	1,20	1,28	1,48
10	0,82	1,11	1,35	1,46	1,74

Обычно за расчетную, самую опасную продолжительность ливня принимают такую, которая равна времени добегаия воды от наиболее удаленной точки бассейна до водопропускного сооружения l_6 , км. Это время зависит как от расстояния l_6 , так и от скорости добегаия $v_{\text{доб}}$, км/мин. Следовательно, расчетное время равно $t_p = l_6/v_{\text{доб}}$.

Подставляя полученное значение в формулу (4.2), получим

$$a_p = \left(\frac{60v_{\text{доб}}}{l_6} \right)^{2,3} a_{\text{ч}} = K_T a_{\text{ч}}. \quad (4.3)$$

В скобках находится безразмерная величина K_T , представляющая собой коэффициент перехода от интенсивности часового

Таблица 4.3

l_6 , км	Значения K_T при уклоне бассейна							
	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
0,15	4,21							
0,30	2,57	3,86						
0,50	1,84	2,76	3,93					
0,75	1,41	2,08	2,97	4,50	5,05			
1,0	1,16	1,71	2,53	3,74	4,18	4,50	4,90	5,18
1,5	0,88	1,30	1,93	2,82	3,15	3,40	3,70	3,90
2	0,73	1,07	1,59	2,35	2,64	2,85	3,09	3,27
3	0,56	0,82	1,21	1,79	2,00	2,16	2,34	2,49
4	0,46	0,68	1,00	1,48	1,65	1,78	1,94	2,11
5	0,40	0,58	0,86	1,27	1,42	1,54	1,67	1,82
6	0,35	0,52	0,76	1,13	1,26	1,36	1,48	1,61
7	0,32	0,47	0,69	1,02	1,14	1,23	1,33	1,45
8	0,29	0,43	0,63	0,93	1,04	1,12	1,22	1,33
9	0,27	0,39	0,58	0,86	0,96	1,04	1,13	1,23
10	0,25	0,37	0,54	0,80	0,90	0,97	1,05	1,14
12	0,22	0,32	0,48	0,71	0,79	0,86	0,93	0,98
14	0,20	0,29	0,43	0,64	0,72	0,79	0,84	0,91
20	0,16	0,23	0,34	0,50	0,56	0,61	0,66	0,72

ливня к его расчетной интенсивности. Расчетные значения интенсивности часового ливня $a_{\text{ч}}$ приведены в табл. 4.2, а значения переходного коэффициента $K_{\text{т}}$ (для задернованных поверхностей бассейнов) — в табл. 4.3.

Номер ливневого района определяется по карте-схеме (рис. 4.1), составленной Союздорпроектом.

Длину бассейна $l_{\text{б}}$ определяют по карте в горизонталях, скорость добегания $v_{\text{доб}}$ для обычных задернованных поверхностей — по приводимым ниже формулам, полученным в результате обработки данных Д. Л. Соколовского: $v_{\text{доб}} = 3,5 l_{\text{б}}^{1/4}$ м/с, или $v_{\text{доб}} = 0,2 l_{\text{б}}^{1/4}$ км/мин.

Таким образом, коэффициент $K_{\text{т}}$ зависит от уклона бассейна $i_{\text{б}}$ и его длины $l_{\text{б}}$. Его максимальное значение составляет 5,24. Эта величина относится к продолжительности ливня 5 мин и менее, когда имеется полный сток.

Подставив полученные значения в формулу (4.1), получим формулу для определения расчетного значения ливневого стока ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q_{\text{л}} = 16,7 a_{\text{ч}} K_{\text{т}} F \alpha \varphi. \quad (4.4)$$

Входящий в формулу коэффициент стока α приведен выше.

При определении расчетной часовой интенсивности ливня по табл. 4.2 учитывается срок работы сооружения. На лесовозных дорогах водопропускные сооружения проектируют с вероятностью повторения максимального расхода для железобетонных и других капитальных мостов 1 раз в 50 лет, для труб и деревянных мостов 1 раз в 33 года ($\text{ВП} = 3\%$), для сооружений на ветках со сроком работы 5—6 лет 1 раз в 10 лет.

При предельных значениях коэффициента $K_{\text{т}} = 5,24$ и $\varphi = 1$ расход полного стока определяют по формуле

$$Q_{\text{п.с}} = 87,5 a_{\text{ч}} F \alpha. \quad (4.5)$$

Расчет на полный ливневый сток производится только при очень коротких бассейнах с относительно небольшой площадью.

Объем ливневого стока представляет собой произведение слоя стока $h_{\text{л}}$ на площадь водосбора F . В этом случае

$$h_{\text{л}} = a_{\text{р}} \alpha \varphi t_{\text{р}} = K_{\text{т}} a_{\text{ч}} \frac{l_{\text{б}}}{v_{\text{доб}}} \alpha \varphi.$$

Следовательно, объем стока (в м^3) будет равен

$$W = 60\,000 a_{\text{ч}} \frac{F}{\sqrt{K_{\text{т}}}} \alpha \varphi. \quad (4.6)$$

Кроме ливневого стока, для сравнения определяют и сток талых вод.

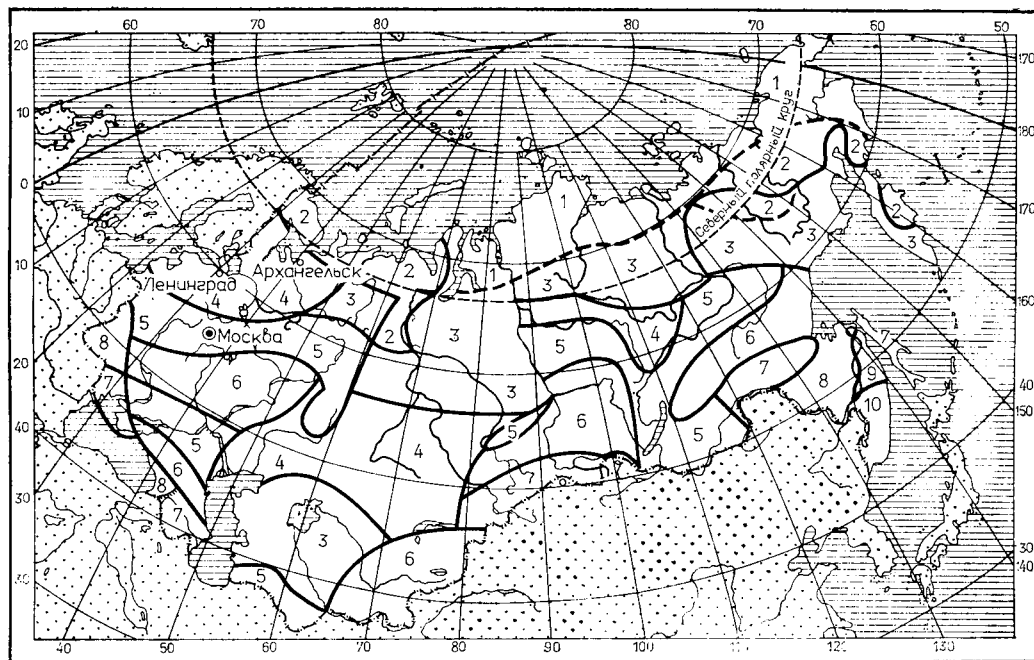


Рис. 4.1. Карта-схема ливневых районов

Сток талых вод. Расчетный максимальный расход талых вод рекомендуется (по СН 435—72) определять по редуccionной формуле Государственного гидрологического института (ГГИ)

$$Q_T = \frac{K_0 h_p F}{(F + 1)^n} \delta_1 \delta_2, \quad (4.7)$$

где K_0 — коэффициент дружности половодья; для лесной зоны европейской территории СССР и для лесостепной зоны 0,020; для Восточной Сибири 0,010, для Западной Сибири 0,013, для горных районов он зависит от высоты бассейна над уровнем моря H_y , например, для Урала при H_y до 500 м $K_0=0,0025$; при $H_y>500$ м $K_0=0,0018$, для Алтая при H_y до 1000 м $K_0=0,023$ и при H_y от 1000 до 2000 $K_0=0,0015$, для Карпат $K_0=0,045$, для Северо-Востока СССР $K_0=0,0030$, для Камчатки $K_0=0,0010$ и Сахалина $K_0=0,0014 \div 0,0020$.

Величина расчетного слоя суммарного стока h_p (мм) определяется по трем показателям: среднему многолетнему слою стока h , коэффициенту вариации C_v и коэффициенту асимметрии C_s . Многолетний слой стока h определяется по карте (рис. 4.2), но для $F<100$ км² в значения, взятые по карте, вводят поправки: 1,1 при холмистом рельефе и глинистых почвах и 0,9 при плоском рельефе и песчаных почвах. При возможности особенно больших потерь стока (сосновые леса на песках) поправка уменьшается до 0,5.

Коэффициент вариации C_v берется по карте на рис. 4.3, причем его величину следует умножить на 1,25 при $F=0 \div 50$ км² и на 1,20 при $F=51 \div 100$ км² и на 1,15 при $F=101 \div 150$ км². По величине C_v определяется коэффициент асимметрии: для равнинных водосборов $C_s=2C_v$, для северо-запада и северо-востока СССР и для горных районов $C_s=3C_v$. По значениям C_s , пользуясь графиком на рис. 4.4, находят величину отношения $K_p=h_p/h$, а затем и размер расчетного слоя суммарного стока $h_p=K_p h$. Величина коэффициента δ_1 , учитывающего снижение расходов в бассейнах, на территории которых имеются озера, равна при озерности 2—5 % 0,9, при 5—10 % 0,8, при 10—15 % 0,75 и при озерности больше 15 % 0,7. Коэффициент δ_2 учитывает площадь лесов $F_{л}$ и площадь болот $F_б$.

Коэффициент β определяют по формуле $\beta=5 \frac{F_{л}}{F} + 10 \frac{F_б}{F} + 1$.

По величине β находят δ_2

Коэффициент β	1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент δ_2	1	0,76	0,62	0,52	0,44	0,38	0,32	0,27

Коэффициенты δ_1 и δ_2 для малых водосборов можно принять равными 1. Показатель степени n для равнинных водосборов лесной территории европейской части СССР и Восточной Сибири равен 0,17, для Западной Сибири 0,25, для горных водосборов с уклоном больше 0,05—0,15.

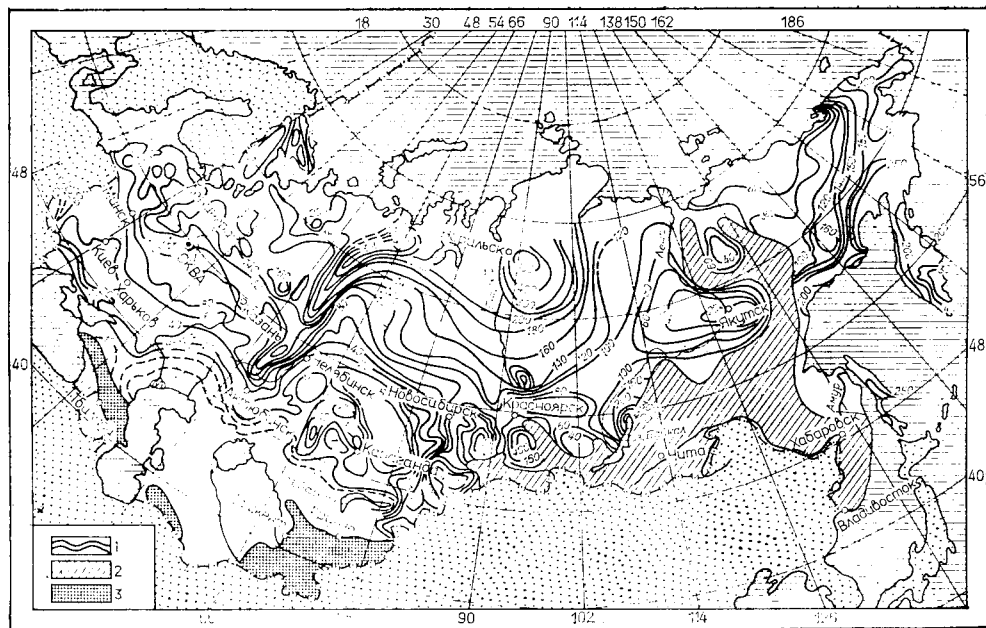


Рис. 4.2. Карта средних слоев стока талых вод:

1 — районы, в которых расчетными для больших бассейнов являются расходы половодья; 2 — районы с более опасным ливневым стоком; 3 — горные районы

Учет аккумуляции. Полученные расчетные значения расхода при стоке талых и ливневых вод сравнивают и для расчета водопропускных сооружений выбирают наибольшее. Однако в последнее время от такого сравнения отказываются. Дело в том, что малые водопропускные сооружения обычно сильно стесняют поток, изменяя его бытовой режим и вызывая временное накоп-

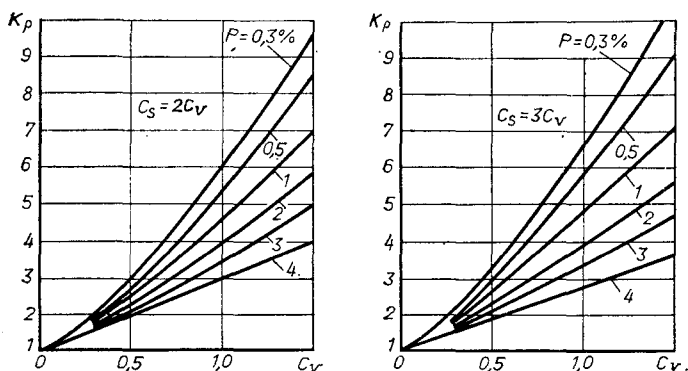


Рис. 4.4. Кривые модульных коэффициентов K_p слоев стока (P — вероятность превышения расхода)

ление перед сооружением части паводка. В результате этого гидрограф притока ливневых вод переходит в более растянутый во времени гидрограф сброса (рис. 4.5), в результате чего расчетный расход, определяемый в этом случае по гидрографу сброса Q_c , существенно уменьшается по сравнению с расчетным расходом ливневого стока Q_m . Это снижение особенно значи-

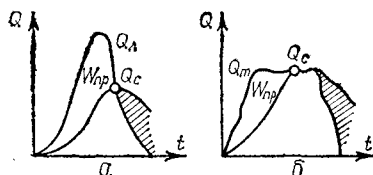


Рис. 4.5. Трансформация гидрографа притока воды к сооружению в гидрограф сбросных расходов:

а — ливневый сток; б — сток талых вод

тельно при развалистых и слабо выраженных логах с незначительными уклонами. Конечно, при этом происходит иногда значительное по площади подтопление участков лога, но именно для лесовозных дорог это обстоятельство несущественно. В том случае, если нет угрозы подтопления каких-либо построек, возможность аккумуляции вод перед сооружением следует обязательно учитывать и таким способом уменьшать расчетные размеры водопропускных устройств. Как показывают проведенные Союздорпроектом расчеты, учет аккумуляции может снизить общую стоимость устройства водопропускных сооружений до 30 %.

Характер гидрографа талых вод мало отличается от гидрографа сбросных расходов, в этом случае практически не снижается расчетный расход за счет аккумуляции. Поэтому в ряде случаев может оказаться, что несмотря на то, что наибольший приток талых вод меньше притока ливневых ($Q_T < Q_L$), более опасным и поэтому расчетным может оказаться сток талых вод, если $Q_T > Q_c < Q_L$. Таким образом, максимальный расход талых вод надо сравнивать не с полным расходом ливневых вод, а с сбросным расходом Q_c ливневых вод.

При аккумуляции объем накапливающейся в образующемся пруде воды $W_{пр}$ представляет собой часть общего объема стока W . Объем аккумулированной воды зависит от гидрографа притока, отверстия сооружения и рельефа участка местности, на котором образуется временный водоем. Отношение между объемами задержанного паводка (т. е. пруда) $W_{пр}$ и суммарным притоком воды с бассейна W характеризует степень трансплантации паводка и емкость лога перед возводимым сооружением. Объем пруда зависит от глубины воды перед сооружением, крутизны склона лога и его продольного уклона. Если обозначить заложения откосов склонов лога m_1 и m_2 и уклон его дна i_L , то объем пруда будет равен

$$W_{пр} = \frac{m_1 + m_2}{6i_L} H^3 = K_0 H^3, \quad (4.8)$$

где K_0 — коэффициент, учитывающий форму лога; H — глубина воды перед сооружением, которой задаются исходя из возможного затопления или определяют по скорости течения воды в зависимости от проектируемого типа укрепления русла:

$$H = 1,43\sigma_0^2/g.$$

Если форму гидрографа приближенно принимать треугольной, то, по предложению Д. И. Кочерина, можно получить следующую формулу, связывающую расход при учете аккумуляции Q_c с полным ливневым расходом Q_L :

$$Q_c = Q_L (1 - W_{пр}/W) = Q_L (1 - K_0 H^3/W). \quad (4.9)$$

Если величины H и Q_c неизвестны, то расчет можно выполнить только методом последовательного приближения. Чтобы избежать многочисленных последовательных расчетов, можно воспользоваться результатами расчетов на ЭЦВМ, выполненных А. А. Кургановичем, и использовать полученные им значения коэффициентов трансформации $\lambda_p = Q_c/Q_L$ для различных условий. Величина этого коэффициента зависит от отношения $W_{пр}/W$:

$W_{пр}/W$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
λ_p	0,97	0,90	0,82	0,73	0,62	0,53	0,49	0,45

$W_{\text{пр}}/W$	0,45	0,50	0,55	0,60
λ_p	0,35—0,40	0,30—0,35	0,26—0,31	0,23—0,27

Меньшие значения относятся к случаю, когда $F < 10 \text{ км}^2$. При учете аккумуляции, исходя из рельефа местности, задают предельную высоту подпора перед сооружением H , вычисляют объем пруда $W_{\text{пр}}$. Зная объем ливневого стока W , находят по полученному отношению объемов величину λ_p и затем Q_c .

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ И ДЛИНЫ ТРУБ

Большую часть водопропускных сооружений (80—95 %), строящихся на лесовозных дорогах, составляют трубы. Использование труб позволяет применять индустриальные методы строительства, так как их устраивают полностью сборными из железобетонных и бетонных элементов относительно небольших размеров, что дает возможность применять краны небольшой грузоподъемности. На автомобильных дорогах преимущество труб перед мостами увеличивается, так как при использовании труб не меняются условия движения автомобилей, не требуется изменения типа дорожной одежды и не происходит стеснения проезжей части и обочин.

Основным типом как круглых, так и прямоугольных железобетонных труб являются унифицированные конструкции, применяемые как для автомобильных, так и для железных дорог.

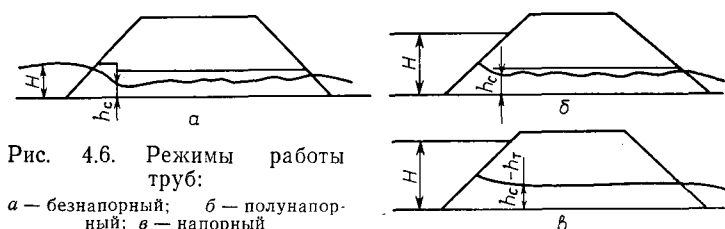
Для удобства эксплуатации рекомендуется применять при длине до 20 м трубы отверстием не менее 1 м, а при большей длине не менее 1,25 м. Трубы нельзя укладывать на водотоках, где возможны ледоход или наледи, а на горных водотоках — при наблюдающемся карчеходе.

Водопропускные металлические трубы из гофрированного и оцинкованного железа являются прогрессивной экономичной конструкцией, обеспечивающей значительное повышение производительности труда и ускорение строительства. Эти трубы не требуют громоздких фундаментов, легко стыкуются, удобны при транспортировке и монтаже. Они имеют практически одинаковый расход металла по сравнению с потребностью в арматуре для железобетонных труб, имеющих фундаментные блоки, при том же размере отверстия. Эти трубы, как правило, сооружают без устройства специальных выходных и входных оголовков. Трубы отверстием 1—3 м устраивают круглыми, собирают из листов с профилем гофрирования 130—32,5 мм и толщиной металла 1,5—2,5 мм. Поперечное сечение труб образуется из нескольких стандартных элементов массой 30—40 кг, соединенных болтами. Полезная длина элемента 1600 мм позволяет создавать трубы с интервалом отверстия через 0,5 м. Ко-

личество стандартных элементов по периметру трубы равно удвоенному диаметру отверстия трубы в метрах (для трубы диаметром 1 м нужно два элемента). Откосы укрепляют бетонными плитами, мощением камнем или другими способами.

При пропуске расчетных расходов трубы должны работать, как правило, в безнапорном режиме.

Безнапорный режим (рис. 4.6, а) обеспечивается, если подпор воды перед трубой меньше ее высоты на входе или превышает ее не более чем на 20 %. В этом случае на всем протяжении трубы поток воды соприкасается по свободной поверхности с воздухом. При безнапорном режиме возвышение низшей точки поверхности трубы над водой должно обеспечить



пропуск плавущих случайных предметов и составлять в круглых (и сводчатых) трубах высотой до 3 м не менее $1/4$ высоты трубы в свету, а в прямоугольных не менее $1/6$ высоты.

Полунапорный режим возникает при обычных оголовках труб (т. е. порталных и раструбных) при превышении величины подпора над высотой трубы более чем на 20 %. В этом случае на входе труба работает полным сечением, а на всем остальном протяжении поток имеет свободную поверхность.

Напорный режим достигается только при специальных входных оголовках обтекаемой конической формы и при подтоплении верха трубы на входе более чем на 20 %. В этом случае труба работает полным сечением без отрыва потока от потолка трубы почти на всем ее протяжении; только на выходе поток может отрываться от потолка трубы.

Полунапорный и напорный режимы допускаются только как исключение при обязательном условии соблюдения специальных мер, обеспечивающих устойчивость труб, и предупреждения фильтрации воды через земляное полотно.

Пропускная способность безнапорных труб определяется по расчетной схеме водослива с широким порогом:

$$Q_c = \varphi_6 \omega_c \sqrt{2g(H - h_c)}, \quad (4.10)$$

где φ_6 — коэффициент скорости, обычно равный 0,82—0,85 (кроме обтекаемых оголовков); ω_c — площадь сжатого сечения в трубе при глубине h_c , м²; H — уровень воды перед сооружением, м; h_c — уровень воды в сжатом сечении, м.

Глубина в сжатом сечении меньше критической и приближенно равна $h_c \approx 0,9 h_k$. Как известно, $h_k = v^2/g$, поэтому $h_c = 0,9 v_k^2/g$ и $v_c = v_k/0,9$, следовательно, $h_c = 0,73 v_c^2/g$. Связь между H и h_c выражается формулой

$$H = h_c + v_c^2/2g\varphi_6^2 = h_c (1 + 1/2 \cdot 0,9^3 \varphi_6^2) \approx 2h_c.$$

Принимая полученное соотношение, получаем

$$Q_c = \varphi_6 \omega_c \sqrt{gH}. \quad (4.11)$$

При прямоугольных сечениях с шириной отверстия b $\omega_c = 0,5 bH$

$$Q_c = 0,5 \varphi_6 \sqrt{g} b H^{3/2} = Mb H^{3/2} = 1,35b H^{3/2}. \quad (4.12)$$

Для круглых поперечных сечений при вычислении площади используют графики. При расчете пропускной способности труб в условиях полунапорного режима (по аналогии истечения из-под щита) имеем

$$Q_c = \varphi_{п\epsilon} \omega \sqrt{2g(H - h_c)}. \quad (4.13)$$

Обычно $\varphi_{п\epsilon} = 0,85$ и $\epsilon = 0,6$, $h_c = 0,6 h_T$, где h_T — высота входа в трубу. Поэтому

$$Q_c = 0,5 \omega_T \sqrt{2g(H - 0,6h_T)}, \quad (4.14)$$

где ω_T — полная площадь сечения входа для прямоугольного или круглого сечения.

Полунапорный режим устанавливают при затопленном входе в трубу и уклоне трубы $i > i_w$, где $i_w = Q_c^2/K_p^2$. Расходная характеристика целиком заполненной трубы $K_p = \omega C \sqrt{R}$ зависит от ее очертания. Для наиболее распространенных круглых труб $K_p = 24d^{8/3}$.

В связи с постоянством гидравлических характеристик труб для них на основе формул пропускной способности при разных режимах протекания воды составляют расчетные таблицы, и подбор труб с необходимой пропускной способностью производят по этим таблицам.

Минимальная длина трубы и соответственно ее наименьшая стоимость имеют место при пересечении водотока под прямым углом. Обозначим длину собственно трубы без оголовков L_T и длину порталных или раструбных оголовков l_0 . В этом случае при откосе насыпи 1:1,5 и ее высоте $H_n \leq 6 + d$ длина собственно трубы равна

$$L_T = \frac{0,5B + 1,5(H_n - d)}{1 + 1,5i_{Tp}} + \frac{0,5B + 1,5(H_n - d)}{1 - 1,5i_{Tp}}, \quad (4.15)$$

где B — ширина земляного полотна, м; d — диаметр трубы (или для прямоугольной трубы h_T), м; i_{Tp} — уклон трубы (можно принять равным уклону лога).

Как правило, длину трубы округляют до числа, соответствующего целому числу звеньев. Полная длина трубы $L_{T.п} = L_T + 2l_0$.

§ 4. РАСЧЕТ ОТВЕРСТИЙ И ДРУГИХ РАЗМЕРОВ МАЛЫХ МОСТОВ

При расчете малых мостов необходимо рассматривать две расчетные схемы: свободного истечения при водосливе с широким порогом и схему с затопленным водосливом, который возникает при глубоком потоке воды в отводящем русле. В первом случае из формулы (4.12) получаем

$$b = Q_c / 1,35 H^{3/2}. \quad (4.16)$$

В этом случае при расчете задаются допустимой скоростью в зависимости от принятого типа укрепления русла под мостом. Эта скорость принимается для одерновки плашмя 1 м/с, одерновки в стенку 1,8, при одиночном мощении на щебне 2,5—3,5, при двойном мощении камнем 3,5—4,5, при укрепленном грунте толщиной 5 см 1 м/с и 10 см 2,5 м/с и при укладке бетонных плит 5—7 м/с. Затем вычисляют подпор $H \approx 2h_c = 1,45v_c^2/g$. По значению H , зная уклон лога, вычисляют объем пруда $W_{пр} = K_0 H^3$ и по отношению $W_{пр}/W$ находят значение λ_p . По его величине определяют $Q_c = \lambda_p Q_{л}$ и, сравнивая это значение с $Q_c = Q_{т}$, устанавливают наибольшее из полученных двух значений расхода, которое и принимают как расчетное. После этого, определив значение b , подбирают типовой проект моста и с учетом, что в нем отверстие b_0 не будет полностью совпадать с расчетным значением, уточняют величину $H = (Q_c / 1,35 b_0)^{2/3}$.

Для того чтобы проверить применимость изложенной методики расчета и расчетной схемы, следует на профиле живого сечения русла провести уровень, соответствующий критической глубине h_k , и определить расход, пропускаемый руслом в бытовых условиях при равномерном движении потока. Для этого при $h_b = h_k$ определяют смоченный периметр, поперечное сечение и скорость в бытовых условиях. Если окажется, что $Q_b > Q_c$, то при расходе Q_c бытовой уровень h_b будет меньше h_k и водослив не затоплен. В противном случае надо построить (в виде графика) зависимость $Q_b = f(h_b)$, задаваясь последовательно все большими значениями бытового уровня: h'_b, h''_b, h'''_b и т. д. (рис. 4.7).

На оси ординат этой кривой находят $Q_b = Q_c$ и соответствующий этому расходу уровень h_b , по которому и рассчитывают отверстие моста

$$b = \frac{Q_c}{h_b v_c}. \quad (4.17)$$

В данном случае величину сбросного расхода определяют по формуле

$$Q_c = Q_{л} (1 - W_{пр}/0,7W),$$

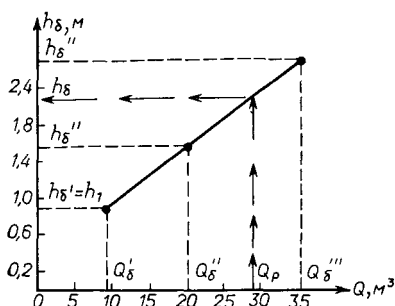


Рис. 4.7. Вспомогательный график для определения бытовой глубины потока

причем $W_{\text{пр}}$ рассчитывают по значению $H = H'$:

$$H' = h_6 + \frac{v_c^2}{2g\Phi_6^2}. \quad (4.18)$$

Необходимое отверстие моста, определяемое по формуле (4.16), измеряют по свободной поверхности потока, а при затопленном водосливе по средней линии, т. е. на глубине $0,5 h_6$.

Высота моста. Высота моста устанавливается из условия

$$H_m = 0,88H + \Delta + h_{\text{кон}}, \quad (4.19)$$

где $0,88$ — коэффициент, учитывающий некоторое снижение уровня при входе потока под мост; Δ — возвышение низа пролетного строения над уровнем потока, принимается обычно рав-

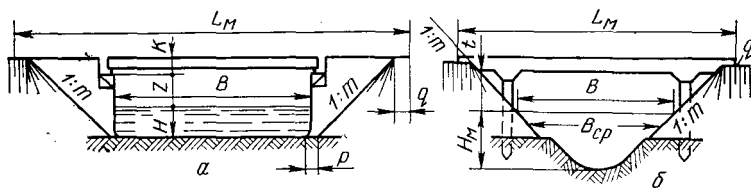


Рис. 4.8. Схемы мостов

ным $0,5$ м, а при корчеходе 1 м; $h_{\text{кон}}$ — конструктивная высота пролетных строений моста.

Бровка насыпи у моста должна быть поднята под подпертым уровнем воды не менее чем на $0,5$ м.

Длина моста. При определении длины моста величину отверстия округляют для применения типовых размеров пролетов. При этом уточняют подмостовую скорость (ее уточненное значение равно $v_y = v_c \cdot b/b_0$), а также величину подпора.

При многопролетной конструкции в длину моста включают ширину промежуточных опор d_m (при свайных опорах $0,35$ м, при опорах-стенках $0,40$ м). При конструкциях, имеющих устои с обратными стенками, длина моста равна (рис. 4.8, а)

$$L_m = b_0 + \Sigma d_m + 3H_m + 0,5, \quad (4.20)$$

где b_0 — отверстие моста, рассчитанное по формуле и округленное для использования типовых конструкций; Σd_m — суммарная ширина промежуточных опор, м.

При опорах с обсыпными устоями (рис. 4.8, б)

$$L_m = b_0 + 3(H_m - h_c) + \Sigma d_m + 2q; \quad (4.21)$$

здесь q — расстояние от вершины конуса до начала моста при высоте последнего до 6 м, равное 0,75 м и при большей высоте моста 1 м. При затопленном водосливе b_0 берут по средней линии, т. е. на половине глубины потока, а вместо h_c подставляют $0,5 h_b$.

§ 5. ВОДООТВОДНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Водоотводные сооружения устраивают для сбора воды, накапливающейся у дороги, пропуска ее вдоль дороги или отвода от земляного полотна. Основными элементами продольного водоотвода являются боковые каналы вдоль дорожного полотна (кюветы), нагорные каналы, резервы и другие устройства. Основным элементом водоотвода являются каналы. Поперечный профиль каналов зависит как от вида используемых дорожных орудий, так и от вида грунтов. При глинистых грунтах следует применять каналы, имеющие трапециевидальное сечение, которое при той же глубине имеет большую пропускную способность, чем треугольные. При песчаных и супесчаных грунтах можно применять каналы треугольного сечения. Обязательным условием успешного водоотвода является немедленный отвод воды, поступившей в канал. Для этого необходимо иметь достаточный продольный уклон дна каналов, а именно не менее 0,005 и только в исключительных случаях 0,003. При меньшем продольном уклоне происходит быстрое заиливание каналов. На начальном участке каналы имеют меньшую глубину, но не менее 0,25—0,30 м. При уклоне до 0,010 каналы не укрепляют, при уклоне 0,010—0,030 стенки и дно каналов необходимо укреплять засеваем трав или одерновкой, при уклонах 0,030—0,050 — мощением или бетонными плитами, а при уклонах более 0,050 для гашения скорости потока необходимо устройство перепадов и быстротоков. Высота стенки перепада принимается 0,4—0,8 м, а расстояние между ними l определяют из условия $h = li_2 - li_1$, следовательно

$$l = h/(i_2 - i_1),$$

где i_2 — уклон поверхности земли; i_1 — уклон дна канала.

Для того чтобы боковая канава у насыпи не была переполнена водой, необходимо через 400—500 м (при треугольном сечении через 150—200 м) отводить воду в сторону от дорожного

полотна. Вывод кювета из выемки устраивают в резерв или в пониженные места. Обязательно должен быть обеспечен вывод воды из резервов, так как накопление в них воды неизбежно приведет к смачиванию и земляного полотна. Размеры кюветов принимают в соответствии с типовыми поперечными профилями земляного полотна. Размеры нагорных и водоотводных канав назначают в зависимости от количества притекающей к ним воды. В связи с тем что по мере увеличения длины канавы расход непрерывно увеличивается, необходимо также увеличивать и площадь ее сечения, а следовательно, и ее глубину. Обычно канаву разбивают по длине на участки по 100—300 м и устанавливают расчетный расход для каждого из участков (рис. 4.9). В связи с незначительной площадью водосбора расчетный расход определяют по формуле полного стока (4.5) для

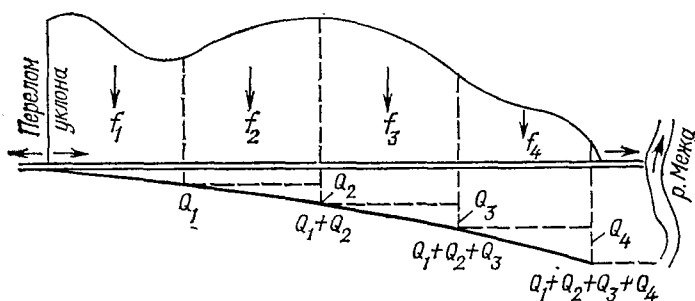


Рис. 4.9. Схема накопления стока, используемая при расчете канав:
 f_1, f_2, f_3, f_4 — части площади бассейна; Q_1, Q_2, Q_3 и Q_4 — соответствующие расходы воды

ливневых вод. Вероятность превышения принимается 5 % для магистралей и 10 % для веток и прочих дорог.

Определив расчетные расходы, назначают поперечное сечение и глубину воды, по которым определяют площадь живого сечения ω , смоченный периметр p и гидравлический радиус R . Пропускная способность канавы равна

$$Q_k = \omega C \sqrt{R i_k},$$

где i_k — продольный уклон канавы; C — скоростной множитель;

$$C = \frac{1}{n} R^y.$$

Необходимо, чтобы $Q_k \geq Q_p$. Показатель степени y принимается при $R < 1$ равным $1,5\sqrt{n}$ и при $R > 1$ равным $1,3\sqrt{n}$; n — коэффициент шероховатости; для естественного земляного русла равен 0,025, для дерна 0,033 и для бетонных стенок 0,015. Глубина нагорных канав не должна быть меньше 0,6 м на магистралях и 0,5 м на ветках.

Глава 5

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ ПОЕЗДОВ ПО ДОРОГАМ

§ 1. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ПОЕЗД ВО ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ

Изучение закономерностей движения поездов на лесовозных дорогах необходимо для установления правильных размеров земляного полотна, конструкции дорожной одежды (верхнего строения пути), инженерных дорожных сооружений, определения допускаемых полезных нагрузок на поезда, их скоростей движения, расхода горючего, необходимых тормозных средств и решения других вопросов, имеющих важное практическое значение.

Фактический режим движения поездов и одиночных тяговых машин определяется в основном следующими факторами: дорожными условиями, конструктивными особенностями подвижного состава, мощностью силовой установки тяговой машины и индивидуальными качествами и опытом водителей. При проектировании дороги необходимо учитывать влияние всех перечисленных факторов.

При движении по дороге поезд встречает ряд сопротивлений, переменных по своему характеру и величине, которые преодолеваются посредством силы тяги, развиваемой тягачом, ведущим поезд. Силы сопротивления движению поезда разделяются на основное сопротивление движению, действующее постоянно, и дополнительные сопротивления, возникающие в отдельных случаях: при движении на уклонах пути, на кривых и при трогании с места.

При движении поезда на крутых спусках необходимо замедлять его движение во избежание разгона, а также останавливать на остановочных пунктах или в пути в связи с появившимся препятствием или по сигналу. Для этого водитель тормозит поезд, используя имеющиеся у поезда тормозные средства. Появляющиеся в результате этого торможения усилия можно рассматривать как искусственно вызванные силы сопротивления движению поезда. Таким образом, на движущийся поезд действует ряд внешних сил:

вертикальные (вес поезда, вертикальная составляющая динамических усилий, возникающих при движении, и соответствующие реакции пути);

горизонтальные — продольные (т. е. действующие в направлении движения поезда), к которым относятся сила тяги тягача, силы сопротивления движению, тормозные силы и динамические усилия, возникающие при трогании поезда и изменении скорости его движения;

поперечные, к которым относятся динамические усилия, возникающие при движении поезда на кривых участках пути, при обгоне и в результате «вылипания» подвижного состава на прямых участках.

Влияние внешних поперечных сил (например, центробежных усилий, возникающих на кривых участках дороги) учитывают косвенно (принимают во внимание их влияние на увеличение сил сопротивления движению, действующих вдоль оси движения поезда).

Решающее влияние на характер движения поезда на прямом участке пути оказывают продольные горизонтальные внешние силы.

Все излагаемые ниже положения теории движения поездов в одинаковой степени применимы как для железнодорожного, так и автомобильного или тракторного транспорта с некоторыми отдельными непринципиальными отклонениями, вытекающими из особенностей устройства и эксплуатации того или иного вида лесовозных дорог и подвижного состава.

§ 2. СИЛА ТЯГИ

В общем случае движение поезда обеспечивается в результате действия на него создаваемой двигателем тяговой машины внешней силы, приложенной в точках касания ведущих (т. е. связанных с валом двигателя силовой трансмиссией) колес с путем и направленной в сторону движения поезда. По месту своего приложения эта сила называется касательной силой тяги. Ее следует отличать от силы тяги на крюке тяговой машины, которая меньше касательной силы тяги на величину сил сопротивления движению самого тягача.

Величина касательной силы тяги ограничивается мощностью двигателя тяговой машины и сцеплением ведущих колес с путем следующим образом:

$$F_K \leq M_{кр} i_m \eta_m \gamma \beta / r_K = 1000 N_e \eta_m \gamma \beta / v; \quad (5.1)$$

$$F_K' \leq 1000 \varphi g P_{сц}, \quad (5.2)$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент на валу двигателя, Н·м; i_m — общее передаточное число силовой трансмиссии; η_m — коэффициент полезного действия всей силовой передачи; γ — коэффициент использования свободной мощности двигателя по эксплуатационным условиям; β — коэффициент учета отбора мощности двигателя на привод вспомогательных механизмов (0,9—0,95 для автомобилей, 0,85 для тепловозов узкой колеи); v — скорость движения, м/с; r_K — радиус ведущего колеса, м; N_e — мощность двигателя, кВт; φ — коэффициент продольного сцепления ведущих колес тягача с путем; g — ускорение силы тяжести, м/с²; $P_{сц}$ — сцепная масса тягача, приходящаяся на ведущие колеса, т.

Скорость движения может быть вычислена по формуле

$$v = 2\pi n r_K / i_M. \quad (5.3)$$

Для колес с пневматическими шинами

$$r_K = \lambda r_0, \quad (5.4)$$

где r_0 — радиус недеформированного колеса; λ — коэффициент обжатия шины под нагрузкой ($\lambda = 0,93 \div 0,95$); n — частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин.

Двигатели лесовозных автомобилей фактически почти всегда, кроме случаев трогания с места и разгона, работают с непол-

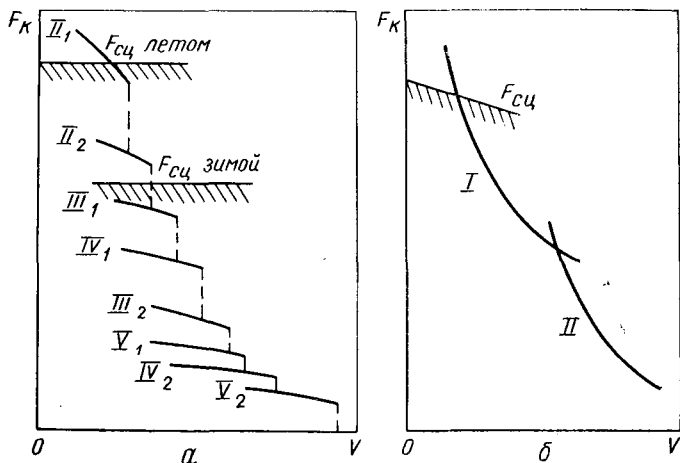


Рис. 5.1. Тяговые характеристики:

а — автомобиля (кривые для I передачи не нанесены); б — узкоколейного тепловоза с гидромеханической передачей

ным открытием дроссельной заслонки или подъемом рейки топливного насоса, что и следует учитывать введением коэффициента $\gamma = 0,85 \div 0,9$. Для локомотивов железных дорог $\gamma = 1$.

Величина коэффициента сцепления зависит от вида и состояния пути, конструкции ходовой части и скорости движения.

Для грузовых автомобилей расчетную величину ϕ принимают не зависящей от скорости и для влажных твердых покрытий (из асфальтобетона) равной 0,4—0,5, для влажных грунтовых дорог и гравийных покрытий 0,3—0,35, покрытых снегом 0,25—0,3 (меньшие значения ϕ принимают при расчете массы поезда при установившемся движении и в тормозных расчетах, большие — при проверке массы поезда по условиям трогания с места).

Для тепловозов колес 750 мм

$$\phi = 0,2 + 10 : (100 + 43v). \quad (5.5)$$

При работе тягачей в горной местности (при отметках выше 300 м) следует учитывать снижение мощности двигателей при работе в разреженном воздухе коэффициентом $k_r = 1,03 - 0,0001 h$, где h — абсолютная отметка местности.

График зависимости величины касательной силы тяги от скорости движения называется тяговой характеристикой (рис. 5.1) и широко используется в тяговых и эксплуатационных расчетах.

Для автомобилей и тракторов тяговые характеристики можно построить, пользуясь кривыми $M_{кр} = f(n)$ или $N_e = \varphi(n)$ внешней скоростью характеристики двигателя, получаемой при его стендовых испытаниях. Задавая различные значения частоты вращения коленчатого вала двигателя, определяют по графику внешней характеристики значения $M_{кр}$ или N_e и вычисляют соответствующие им значения силы тяги и скорости по формулам (5.1) и (5.3).

Имея ряд значений F_k и v , строят кривые тяговых характеристик для всех передач коробок скоростей (кроме первой) и раздаточных коробок. Для локомотивов железных дорог тяговые характеристики обычно составляют на основе данных их испытаний.

§ 3. ОСНОВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ

Основное сопротивление движению вызывается трением в подшипниках колес, трением качения колеса по дороге, затратой энергии на деформацию поверхности дороги и деформацию шин и сопротивлением движению воздушной среды. Почти все силы основного сопротивления движению изменяются пропорционально массе поезда, поэтому их измеряют величиной удельного основного сопротивления движению в Н/т.

На рис. 5.2, а видно, что

$$\begin{aligned} \text{откуда} \quad 1000gQf/d_{ш} &= W_{\text{под}}D, \\ W_{\text{под}} &= 1000f \frac{d_{ш}}{D} gQ, \end{aligned} \quad (5.6)$$

где $W_{\text{под}}$ — сопротивление от трения между шейками осей и подшипниками скольжения, Н; f — коэффициент трения пары ось — подшипник; $d_{ш}$ — диаметр шейки оси; D — диаметр колеса; Q — масса поезда, приходящаяся на колесо, т; g — ускорение силы земного тяготения, м/с².

Применение подшипников качения уменьшает величину $W_{\text{под}}$ примерно на 20—25 %.

Важным компонентом основного сопротивления движению является сопротивление качению колес по дороге (или рельсам). Движение колеса по дороге можно рассматривать как перемещение цилиндра или кольца по плоскости. В общей

форме и при учете реальных свойств колеса и пути его перемещения можно выделить следующие характерные случаи:

качение упруго-жесткого колеса по упруго-жесткой поверхности (характерен для железных дорог);

качение упругого деформируемого колеса по упруго-жесткой поверхности — наиболее распространенный случай перемещения колес с пневматическими шинами по автомобильной дороге с укрепленной проезжей частью, жесткость которой весьма значительна по сравнению с пневматиком;

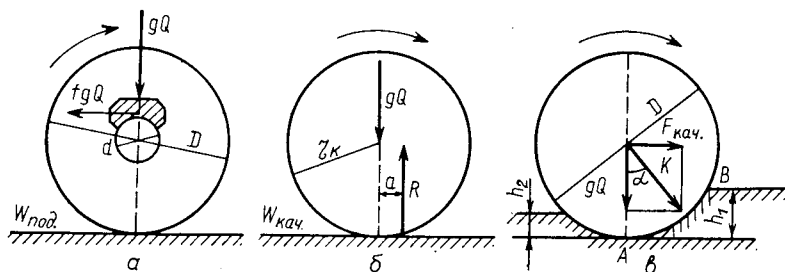


Рис. 5.2. Расчетные схемы для определения сил основного сопротивления движению:

a — сопротивление от трения в осевых подшипниках; *б* — сопротивление качению деформируемого колеса по дороге; *в* — сопротивление качению жесткого колеса по деформируемой поверхности

качение упругого деформируемого колеса по деформируемой поверхности — при движении автомобилей по грунтовым дорогам.

В первом и втором случаях, т. е. при качении упруго-жесткого или деформируемого колеса, несущего нагрузку от массы Q , по достаточно твердому (жесткому) покрытию с равномерной скоростью под действием силы тяги F_k колесо деформируется и опирается на поверхность дороги овальной площадкой (рис. 5.2, б).

В этом случае, пренебрегая сопротивлением воздушной среды, можно получить сопротивление движению колеса

$$W'_{\text{кач}} = 1000gQk_d a/r_k, \quad (5.7)$$

где отношение a/r_k изменяется в пределах от 0,01—0,015 (для усовершенствованных покрытий) до 0,02—0,025 (для гравийных покрытий); k_d — коэффициент, учитывающий затраты энергии на преодоление неровностей пути и деформацию шин, их нагрев и др.

Для третьего случая движения колеса по деформируемой поверхности колесо можно рассматривать достаточно жестким, чтобы не учитывать его деформацию. В этом случае деформация

ездовой поверхности связана с удельным давлением колеса на дорогу следующим образом [16]:

$$p = gCh^\mu, \quad (5.8)$$

где p — удельное давление колеса; h — деформация ездовой поверхности; C — коэффициент, характеризующий физико-механические свойства грунта; μ — коэффициент, характеризующий состояние (влажность, плотность) грунта.

При качении колесо вдавливаются в грунт на глубину h_1 (рис. 5.2, в). Эта деформация частично (на величину h_2) восстанавливается при выходе колеса из контакта с грунтом за счет упругости основания.

При равновесии между давлением колеса K и сопротивлением грунта W по поверхности контакта AB элементарное сопротивление грунта составляет

$$dW = qbds,$$

где q — сопротивление грунта вдавливанию, МПа; b — ширина обода, м; ds — длина элементарной полоски обода.

Давление колеса dK на элементарную полоску ds должно уравниваться сопротивлением грунта dW . Суммируя проекции элементарных сил, получим (рис. 5.2, в):

$$\Sigma x = F_K - \Sigma dW \sin \alpha = 0; \quad \Sigma y = gQ - \Sigma dW \cos \alpha = 0,$$

отсюда

$$Q = \frac{1}{g} \int_0^{a_1} q b dx; \quad F_K = \int_0^{h_1} q b dy,$$

где F_K — сила тяги, необходимая для движения колеса, Н.

Величина q зависит от глубины вдавливания колеса h . Обычно принимают $q = p$.

Приняв для упрощения, что $h_2 = 0$ и $h_1 = h$ и подставив значение $q = p$ по формуле (5.8), можно закончить интегрирование:

$$Q = \frac{C b h^\mu}{g} \left(1 - \frac{\mu}{3}\right) \sqrt{D h}; \quad (5.9)$$

$$W''_{\text{кач}} = F_K = C b h^{\mu+1} / (\mu + 1).$$

Удельное сопротивление движению

$$w''_{\text{кач}} = \frac{F_K}{Q} = \frac{10^3 g}{(\mu + 1)(1 - 0,33\mu)} \sqrt{\frac{h}{D}} = \xi \sqrt{\frac{h}{D}}. \quad (5.10)$$

А. К. Бируля предложил принимать $\mu = 0,5 \div 1,0$ в зависимости от влажности грунта, при этом $\xi = 7500 \div 8000$ Н/т.

Из формулы (5.10) можно видеть, что основное сопротивление снижается при увеличении диаметра колеса D и уменьшении глубины колеи h (т. е. при более плотном грунте).

Формула (5.10) годится только для определения $w''_{\text{кач}}$ при одном проходе колеса по ездовой поверхности.

При многократных проходах колес по одному следу значения μ в формуле (5.10) непрерывно меняются в результате уплотнения грунта на дне колеи. Кроме того, в формуле (5.10) не учитывается влияние на сопротивление движению ширины обода колеса или площади следа колеса.

Исследования [16] показали, что при учете влияния перечисленных факторов величина удельного сопротивления качению колеса по деформируемому грунту определяется выражением

$$\omega_{\text{кач}} = \frac{47 g k_{\text{п}} k_{\text{д}} (Q \lambda p_0)^{0,25}}{(E_{\text{д}} D)^{0,5}}, \quad (5.11)$$

где p_0 — давление воздуха в шине, МПа; $E_{\text{д}}$ — модуль деформации грунта, МПа; λ — коэффициент, равный среднему отношению удельного давления на грунт p к давлению воздуха в шине p_0 (при $p_0 = 0,2$ МПа $\lambda = 0,95$, при $p_0 = 0,35$ МПа $\lambda = 1,0$ и при $p_0 = 0,4 \div 0,5$ МПа $\lambda = 1,15$); $k_{\text{п}}$ — коэффициент, учитывающий, что колеса могут задевать при качении борт колеи с затратой дополнительной энергии на срезание стружки грунта ($k_{\text{п}} = 1,05 \div 1,15$).

Сопротивление воздушной среды. Сопротивление воздушной среды возникает вследствие затрат энергии на преодоление реактивного давления воздуха, на перемещение частиц воздуха и их трение о поверхность подвижного состава поезда и груза. Сопротивление воздушной среды зависит от формы и размеров лобовой поверхности поезда и скорости и не зависит от массы поезда.

Экспериментально установлено, что сопротивление воздушной среды выражается зависимостью (в Н)

$$W_{\text{в}} = 9,81 k_{\text{об}} \omega v^2, \quad (5.12)$$

где $k_{\text{об}}$ — коэффициент сопротивления воздушной среды, зависящий от совершенства формы (обтекаемости) автомобиля, локомотива или поезда в целом; ω — площадь проекции автомобиля на плоскость, перпендикулярную направлению его движения (так называемое миделевое сечение), м²; v — скорость движения, м/с.

Величина коэффициента $k_{\text{об}}$, по исследованиям В. Т. Сурикова (МЛТИ), равна для лесовозных автопоездов, груженых хлыстами, 0,28—0,30, для одиночных автомобилей 0,06—0,075.

Величину ω можно принимать для одиночных автомобилей равной $0,78BH$ и для автопоездов $0,9BH$, где B и H — габаритные ширина и высота автомобиля (с учетом груза).

Сопротивление воздушной среды является постоянно действующим фактором, в связи с чем целесообразно в расчетах режимов движения поездов рассматривать сопротивление воздушной среды как один из компонентов основного сопротивления движению, не учитывая его в отдельности.

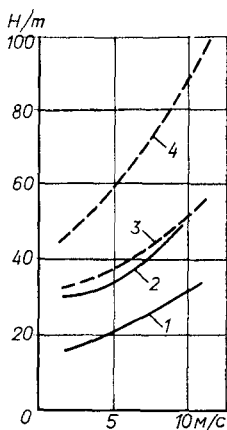


Рис. 5.3. Основное удельное сопротивление движению на железных дорогах колеи 750 мм:

1 — лесовозных вагонов-сцепов на подшипниках качения; 2 — то же на подшипниках скольжения; 3 — тепловозов как поковки (т. е. при $F_K > 0$); 4 — то же на холостом ходу (т. е. при $F_K = 0$)

С учетом формул (5.6), (5.7), (5.10), (5.11) и (5.12) величина основного удельного сопротивления движению определяется зависимостью:

на железных и автомобильных дорогах с твердым покрытием

$$\omega = 1000g(f_{d\text{ш}}/D + 2ak_d/D + k_{o6}\omega v^2/1000Q); \quad (5.13)$$

на грунтовых дорогах

$$\omega = 1000g(f_{d\text{ш}}/D + 0,047k_{пk_d}(Q\lambda\rho_0)^{1/4}/(E_dD)^{1/2} + k_{o6}\omega v^2/1000Q). \quad (5.13a)$$

Многочисленные эксперименты по определению величины основного удельного сопротивления движению (с учетом влияния воздушной среды) ω показали, что она зависит от скорости движения следующим образом:

$$\omega = c + dv + ev^2, \quad (5.14)$$

где c , d и e — коэффициенты, зависящие от вида и состояния пути и подвижного состава.

В отдельных случаях, при скоростях движения не свыше 10—11 м/с или небольшом значении ω можно принимать

$$\omega = c_1 + d_1v. \quad (5.14a)$$

Например, при хорошем состоянии гравийной дорожной одежды на лесовозной дороге В. Т. Суриков (МЛТИ) получил для автопоезда КрАЗ-214+полуприцеп 2-ЛП-18+ропуск 2Р-12: $c=132$, $d=0,5$, $e=0,385$; для автопоезда МАЗ-501+ропуск 2Р-15: $c_1=147$, $d_1=2,94$; для асфальтобетонного покрытия В. И. Кнороз и А. С. Шелухин получили: $c_1=167$, $d_1=11,5$.

Для лесовозных автомобильных дорог с покрытиями переходного типа при производстве тяговых расчетов можно принять усредненную формулу

$$\omega = 170 + 12,5v. \quad (5.15)$$

Зависимость ω от скорости для локомотивов и вагонов-сцепов лесовозных железных дорог колеи 750 мм представлена на рис. 5.3.

Для ряда покрытий на лесовозных дорогах экспериментальные зависимости видов (5.14) или (5.15) еще не получены, и для них величину основного удельного сопротивления движению автопоезда определяют по формуле

$$\omega = \omega_1 + gk_{o6}\omega v^2/Q, \quad (5.16)$$

где w_1 — расчетная величина удельного сопротивления движению при малых скоростях (до 5 м/с), принимаемая равной: для покрытий из железобетонных плит 200—250; грунтов, обработанных вяжущими, 250—300; для грунтовых дорог 400—600; для ледяных (бесколейных) 300 Н/т. Меньшие значения w_1 соответствуют условиям движения на постоянных путях, большие — на временных. На усах влияние воздушной среды невелико и им пренебрегают. Другие обозначения см. в формуле (5.12).

§ 4. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ

Сопротивление от уклона пути. Его величину можно определить, пользуясь расчетной схемой (рис. 5.4);

$$I = 1000gQ \sin \alpha,$$

где Q — масса поезда, т; α — угол наклона элемента профиля дороги к горизонту.

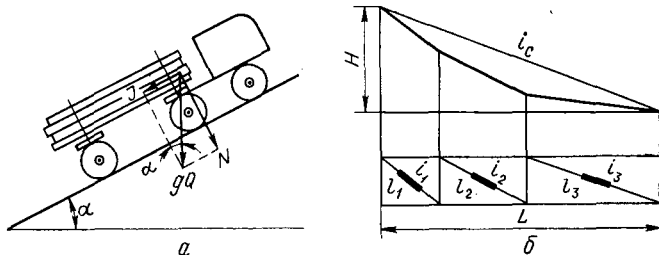


Рис. 5.4. Расчетные схемы:

а — для определения сопротивления движению от уклона пути; б — спрямления продольного профиля дороги

Для малых углов $\sin \alpha \simeq \operatorname{tg} \alpha$. С учетом этого $I = 1000 gQtg \alpha$. Таким образом, удельное сопротивление движению от уклона

$$w_i = I/Q = 1000g \operatorname{tg} \alpha = gi, \quad (5.17)$$

т. е. численное значение удельного сопротивления движению от уклона пути равно величине уклона, выраженной в ‰ и умноженной на ускорение силы тяжести.

Сопротивление от кривой. При движении на кривых участках пути поезд испытывает дополнительное сопротивление в результате действия центробежной силы, которая на автомобильных дорогах вызывает деформацию шин в поперечном относительно продольной оси дороги направлении (увод колеса) и некоторых других причин (см. главу 8), а на железных дорогах — в результате бокового трения, поперечного скольжения колес по рельсам и прижатия реборд колес к головкам рельсов. Кроме того, на кривых участках железных дорог появляется

трение продольного скольжения колес по рельсам в связи с различием радиусов наружного и внутреннего рельсов на кривых и глухого закрепления колес на осях подвижного состава. Общая закономерность зависимости сопротивления от кривой имеет вид

$$\omega_{кр} = gA/R. \quad (5.18)$$

На автомобильных дорогах $A=800 \div 1000$, на узкоколейных железных дорогах $A=425 \text{ кг} \cdot \text{м/т}$.

Если радиус кривой выразить через ее длину l_k и угол поворота через α° , т. е. $R=57,3l_k/\alpha^\circ$, то формула (5.18) примет вид

$$\omega_{кр} = 0,0175gA\alpha^\circ/l_k. \quad (5.19)$$

Сравнивая формулу (5.18) с (5.17), можно видеть, что $\omega_{кр}$ и ω_i имеют одинаковый множитель g . С учетом этого при тяговых расчетах влияние дополнительного сопротивления на кривой учитывают путем добавления к геометрическому уклону пути величины $i_{эк}=A/R$, которую называют эквивалентным (т. е. заменяющим влияние кривой) уклоном. Сумма геометрического и эквивалентного уклонов называется приведенным уклоном.

Сопротивление при трогании поезда с места. Дополнительное сопротивление при трогании поезда $\omega_{тр}$ возникает в связи с повышением трения качения колеса по дороге из-за увеличения вдавливания колеса в ее поверхность при стоянках, в результате прихватаывания (примерзания) тормозных колодок, стекания и остывания смазки в подшипниках скольжения осей железнодорожного подвижного состава, примерзания полозьев у санного прицепного состава и некоторых других причин. В первый момент трогания величина рассматриваемого сопротивления может быть весьма значительной, однако в связи с тем, что при трогании отдельные единицы подвижного состава поезда сходят с места не сразу, а поочередно, общая величина сопротивления троганию резко уменьшается. При расчетах принимают на автомобильных дорогах $\omega_{тр}=100 \div 150 \text{ Н/т}$, на железных дорогах колес 750 мм 50 Н/т.

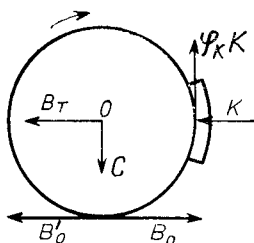
§ 5. ТОРМОЗНАЯ СИЛА

Торможение поездов необходимо при их остановке в заданном месте, а также для ограничения скорости на спусках. Движение автопоездов на крутых спусках с большими скоростями, особенно при неровном или скользком покрытии и наличии кривых в плане, очень опасно. Поэтому водители в зависимости от величины спуска принимают необходимые меры для снижения скорости: уменьшают подачу рабочей смеси, притормаживают, не выключая сцепления, переходят на торможение двигателем, включая одну из понижающих передач и, наконец, включают в действие колесную тормозную систему тяговой машины.

Автомобили МАЗ-509 и КрАЗ-255Л (КрАЗ-260) имеют выпускной тормоз-замедлитель, действие которого основано на создании противодействия в выпускном трубопроводе работающего двигателя путем перекрытия его дроссельной заслонкой, установленной перед глушителем [27].

Для упрощения тормозные расчеты выполняют, принимая за основу торможение поездов колесными тормозами, т. е. без учета использования для замедления скорости движения двигателя. На автомобильных дорогах последний вид торможения производится силой трения тормозных колодок, действующих внутри тормозных барабанов колес. На железных дорогах тор-

Рис. 5.5. Расчетная схема для определения величины тормозной силы



мозные колодки имеют наружное расположение. Имеются и другие конструкции тормозных устройств, но принцип их действия одинаков и заключается в следующем.

В момент торможения к тормозному барабану или ободу колеса прижимается тормозная колодка силой K (рис. 5.5). Эта сила внутренней и замедляющего действия не производит, но вызывает появление силы трения $K\varphi_K$ (φ_K — коэффициент трения между колодкой и бандажом или тормозным барабаном) и равной ей по величине реакции OC . Силы $K\varphi_K$ и OC образуют пару сил, которую по законам теоретической механики можно заменить эквивалентной парой сил B_T и B_0 с таким же плечом R . Очевидно, что $K\varphi_K = B_0 = B_T$. Сила B_0 , действуя на путь, при наличии достаточного сцепления вызывает появление горизонтальной реакции пути B'_0 , уравновешиваясь последней.

Сила B_0 будет уже внешней силой и ее можно рассматривать как тормозную. При этом $B'_0 = B_T = B_0 = K\varphi_K$. Затормаживающее действие будет производить оставшаяся неуравновешенной сила B_T . Сила B_0 будет действовать до тех пор, пока не превысит силы сцепления колеса с путем, т. е. пока

$$K\varphi_K \leq \psi g P'_T,$$

где P'_T — масса, приходящаяся на тормозное колесо; ψ — коэффициент сцепления колеса с путем.

Как только $K\varphi_K > \psi g P'_T$, колесо заклинится, перестанет вращаться и заскользит по дороге (или рельсам) «юзом».

На лесовозных автомобильных дорогах допускают торможение автопоездов на границе скольжения колес по дороге, т. е. принимают $K_{\phi_k} = \psi g P_T$. С учетом этого тормозная сила автомобильного поезда будет

$$B = 1000 \psi g P_T, \quad (5.20)$$

а удельная тормозная сила (в Н/т)

$$b = B/(P_T + Q) = 1000 \psi g P_T / (P_T + Q), \quad (5.21)$$

где P_T — тормозная масса, т. е. масса, приходящаяся на все тормозные оси автопоезда, т; Q — масса, приходящаяся на нетормозные оси или полозья саней санного поезда, т. Значения ψ в этой формуле принимаются для неблагоприятных условий работы дороги: летом при влажном ($\psi = 0,27 \div 0,3$), а зимой — обледенелом состоянии ее поверхности ($\psi = 0,15 \div 0,2$).

На железных дорогах нельзя допускать движения заторможенных колес, так как, во-первых, при этом значительно снижается тормозная сила поезда в связи с тем, что коэффициент трения бандажей колес по рельсам меньше, чем у тормозных колодок, сделанных из специальных фрикционных материалов, и, во-вторых, такое скольжение вызывает неравномерный износ рельсов и бандажей, ведущий к преждевременному выходу их из строя. Поэтому необходимо, чтобы

$$K : (g P_T) \leq \psi / \phi_k, \text{ или } K \leq g \delta P_T,$$

где $\delta = \psi / \phi_k$ — коэффициент нажатия тормозных колодок равный 0,3—0,35 для тепловозов и груженых сцепов с автотормозами и 0,6—0,65 для порожних сцепов.

Для железных дорог колес 750 мм

$$\phi_k = 0,45 \frac{0,1K + 10}{0,8K + 10} \cdot \frac{25}{3,6v + 25}, \quad (5.22)$$

где K — расчетная сила нажатия колодок (на одну ось), кН; v — скорость, м/с.

Полная тормозная сила железнодорожного поезда равна

$$B = (K_L n_L + K_B n_B) \phi_k, \quad (5.23)$$

где K_L и K_B — расчетные нажатия тормозных колодок на ось для локомотивов и тормозных вагонов, кН; n_L и n_B — число тормозных осей у локомотивов и тормозных вагонов.

Удельная тормозная сила поезда

$$b = 1000 B / (P + Q_{пр}) = 1000 \phi_k \theta, \quad (5.24)$$

где P — масса локомотива, т; $Q_{пр}$ — масса прицепного состава, т; θ — тормозной коэффициент поезда, равный

$$\theta = (K_L n_L + K_B n_B) / (P + Q_{пр}).$$

§ 6. УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА

Характер движения поезда на режиме тяги определяется величиной и направлением равнодействующей силы, равной

$$R_d = (F_k - W \pm I)/(1 + \gamma),$$

где F_k — касательная сила тяги; W — сила основного сопротивления движению; I — дополнительное сопротивление от уклона пути; поправка $1 + \gamma$ учитывает, что приложенная к поезду сила расходуется на приобретение некоторыми частями поезда (колеса, шестерни, маховики и т. п.) не только поступательного, но и вращательного ускорения.

Величина γ для автомобильных колесных поездов может быть определена по эмпирической формуле

$$\gamma = 0,04 + \alpha i_k^2, \quad (5.25)$$

где α — коэффициент, равный для грузовых автомобилей 0,05—0,075; i_k — передаточное число коробки скоростей.

Для автопоездов с санным прицепным составом, тракторных и железнодорожных поездов принимают в среднем $\gamma = 0,06$.

Рассматривая поезд как материальную точку, к которой приложена равнодействующая R_d , на основании второго закона Ньютона можно написать $R_d = 1000Q \frac{dv}{dt}$, откуда

$$\frac{dv}{dt} = \frac{R_d}{1000Q} = \frac{F_k - W \pm I}{1000Q(1 + \gamma)} = \frac{f - w \pm gi}{1000(1 + \gamma)}, \quad (5.26)$$

где Q — масса поезда, т; $f = F_k/Q$ — называется удельной силой тяги, Н/т; w — основное средневзвешенное удельное сопротивление движению, Н/т; i — уклон пути, ‰.

Выражение (5.26) называется уравнением движения поезда. Соответственно, для движения поезда в режиме торможения можно получить

$$\frac{dv}{dt} = - \frac{b + w \mp gi}{1000(1 + \gamma)}, \quad (5.26a)$$

где $b = B/Q$ — удельная тормозная сила, Н/т; B — полная тормозная сила поезда, Н.

Уравнение движения поезда представляет собой математическую зависимость ускорения движения поезда от сил, действующих на поезд, и его массы и широко используется в расчетах скоростей движения поездов, полезной нагрузки на поезд и др.

В зависимости от характера движения поезда его ускорение может быть положительным, отрицательным или равным нулю соответственно при ускоренном, замедленном или

равномерном движении. В последнем случае, т. е. при $dv/dt=0$ из формулы (5.26) можно получить $f-\omega \pm gi=0$, или

$$F_k = Q(\omega \pm gi). \quad (5.27)$$

Формула (5.27) выражает равенство силы тяги и всех сил сопротивления движению поезда при равномерном движении последнего и поэтому называется уравнением тягового баланса. Его используют при расчетах массы поезда и полезной нагрузки.

§ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МАССЫ ПОЕЗДА И ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ

На лесовозных дорогах предельно допускаемое значение расчетной массы поезда с грузом определяют из условий обеспечения возможности его равномерного движения на руководящем подъеме. С учетом этого из формулы (5.27) можно получить величину максимально допускаемой массы поезда

$$Q_{бр} = F_k/(\omega + gi), \quad (5.28)$$

где $Q_{бр}$ — масса поезда (с грузом), т; i_p — руководящий подъем, ‰.

Для автомобильных дорог расчетное значение F_k определяют по формуле (5.1) при максимальном значении $M_{кр}$ для II передачи коробки скоростей и низшей передачи раздаточной коробки. При этом необходима проверка по условиям сцепления по формуле (5.2).

При расчете массы поезда следует учитывать, что он начинает свое движение с грузом на усах, для которых следует принимать повышенные значения величины удельного сопротивления движению.

Определив $Q_{бр}$, подбирают из выпускаемых типов прицепного состава такой состав поезда, при котором его масса с грузом была бы возможно ближе к расчетному значению $Q_{бр}$. Затем переходят к расчету массы полезной нагрузки, определяя ее по формуле

$$Q_{пол} = (Q_{бр} - P_a - P_{пр})/\gamma, \quad (5.29)$$

где P_a и $P_{пр}$ — масса автомобиля и прицепного состава без груза, т; γ — объемная масса древесины, т/м³.

Принятая величина $Q_{пол}$ не должна превышать номинальной грузоподъемности подвижного состава, что проверяется по неравенству

$$Q_{пол} \leq (q_a + q_{пр})/\gamma, \quad (5.30)$$

где q_a и $q_{пр}$ — паспортная (номинальная) грузоподъемность автомобиля и прицепного состава, т.

На лесовозных автомобильных дорогах с тяжелым продольным профилем, имеющим преимущественные (т. е. на большей

части протяжения дороги) подъемы в грузовом направлении $i_{\text{пр}} = 20 \div 25 \text{ ‰}$ и более, массу поезда с грузом, определенную по формуле (5.28), следует проверить по условию преодоления указанных подъемов на прямой передаче во избежание перегрева двигателя автомобиля и усиленного его износа. Для этого можно воспользоваться формулой (5.28), принимая в ней $i_{\text{пр}} = i_{\text{р}}$, а величину силы $F_{\text{к}}$ определить для прямой передачи по графику тяговой характеристики или по формуле (5.1) при $M_{\text{кр}} = \text{тах}$.

При определении массы полезной нагрузки на поезд в случаях, когда тягач не несет на себе полезной нагрузки (например, на железных дорогах или при вывозке леса тракторными поездами), сначала следует определить массу прицепного состава поезда с грузом. Для этого в формуле (5.28) следует подставить $P + Q_{\text{пр}} = Q_{\text{бр}}$, где P — масса локомотива и $Q_{\text{пр}}$ — масса прицепного состава. При этом

$$Q_{\text{пр}} = F_{\text{к}}/(\omega + gi_{\text{р}}) - P. \quad (5.31)$$

Средневзвешенное значение ω можно определить по формуле

$$\omega = (P\omega'_0 + Q_{\text{пр}}\omega''_0)/(P + Q_{\text{пр}}), \quad (5.32)$$

где ω'_0 — основное удельное сопротивление движению тягачей; ω''_0 — то же прицепного состава.

С учетом этого окончательно получим, что масса прицепного состава с грузом

$$Q_{\text{пр}} = [F_{\text{к}} - P(\omega'_0 + gi_{\text{р}})]/(\omega''_0 + gi_{\text{р}}). \quad (5.33)$$

Для тепловозов с механической или гидродинамической передачей величина расчетной минимальной скорости принимается по точке пересечения кривых ограничения силы тяги по мощности двигателя и по сцеплению на тяговых характеристиках.

Для определения массы полезной нагрузки на прицепной состав сначала определяют количество прицепов (сцепов)

$$n = Q_{\text{пр}}/(q_{\text{н}} + q_{\text{т}}), \quad (5.34)$$

где $q_{\text{н}}$ — грузоподъемность одного сцепа, т; $q_{\text{т}}$ — масса сцепа без груза, т.

Полученное значение n округляют до ближайшего целого числа. Полезная нагрузка

$$Q_{\text{пол}} = (Q_{\text{пр}} - nq_{\text{т}})/\gamma. \quad (5.35)$$

Полученное значение $Q_{\text{пол}}$ необходимо проверить по условию неперевышения номинальной (паспортной) грузоподъемности прицепного состава, пользуясь неравенством

$$Q_{\text{пол}} \leq nq_{\text{н}}/\gamma. \quad (5.35a)$$

Расчетная масса железнодорожного или тракторного поезда в грузовом направлении определяется по формуле

$$Q_{гр} = Q_{пол} + P_{т} + P_{пр}, \quad (5.36)$$

а в негрузовом направлении

$$Q_{негр} = P_{т} + P_{пр} + Q_{хоз}, \quad (5.37)$$

где $P_{т}$ — масса тягача, т; $P_{пр}$ — масса прицепного состава без груза, т; $Q_{хоз}$ — масса хозяйственных грузов, перевозимых в составе порожняка, т.

Проверка расчетной массы поезда по условиям трогания с места. Принимаемую расчетную массу поезда необходимо проверить по условиям обеспечения трогания с места, пользуясь неравенством

$$Q_{гр} \leq F_{к.т}/(\omega + \omega_{тр} + gi_{ос} + j1000), \quad (5.38)$$

где $F_{к.т}$ — максимальная сила тяги тягача (при трогании применяется I передача), Н; $\omega_{тр}$ — дополнительное удельное сопротивление троганию с места, Н/т; $i_{ос}$ — предельная величина подъема на погрузочных пунктах, разъездах и других остановочных пунктах, ‰; j — начальное ускорение поезда при трогании (для автомобильных дорог $j=0,3 \div 0,5$ м/с², для железных дорог колеи 750 мм $j=0,015$ м/с²).

§ 8. РАСЧЕТ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ И ВРЕМЕНИ ХОДА ПОЕЗДОВ

Способы определения скоростей движения поездов. Режимы движения поездов по лесовозной дороге определяются динамическими качествами автомобилей (локомотивов), величиной полезной нагрузки, дорожными условиями и субъективными особенностями водителей, избирающих в зависимости от оценки ими дорожных условий наиболее подходящую скорость движения. При этом на ряде участков водители не полностью используют тяговые возможности тягача ради обеспечения безопасности движения, уменьшения тряски машины и др.

Дорожные условия движения определяются на каждом участке дороги величиной удельного сопротивления движению поезда, наличием определенного уклона, а также кривых участков пути, сужений проезжей части (например, на мостах) и другими местными особенностями, включая плохую видимость пути (особенно во время туманов), его скользкость (при гололеде), ведущими к ограничению скорости движения. В связи с указанным движение поездов по дороге происходит с переменной скоростью. Существует ряд способов определения скорости движения поезда. Их можно разделить на две основные группы: приближенные и условно точные. Последние учитывают неравномерное движение поезда, использование его кине-

тической энергии и основаны на интегрировании уравнения движения поезда.

Из приближенных методов наиболее широкое распространение получил способ равновесных скоростей.

Подготовка продольного профиля к расчетам. Скорости движения поезда изменяются на каждом элементе профиля вследствие изменения величины уклона. Поэтому для уменьшения количества расчетов применяют спрямление профиля. Суть его заключается в объединении нескольких смежных элементов профиля в один, имеющий длину $l_c = \sum l_i$ и уклон $i_c = (H_1 - H_2) : l_c$, где H_1 и H_2 — отметки крайних точек спрямленного элемента.

Возможность такого спрямления профиля основана на предположении, что механическая работа сил сопротивления движению поезда по спрямленному элементу равна механической работе при движении по действительным элементам профиля.

Как видно из рис. 5.4, б, механическая работа сил сопротивления движению равна:

при движении поезда по действительным элементам

$$R_1 = Q_{\text{бр}} [(gi_1 + w) l_1 + (gi_2 + w) l_2 + (gi_3 + w) l_3] = Q_{\text{бр}} (Lw + gH);$$

при движении поезда по спрямленному элементу

$$R_2 = Q_{\text{бр}} L (gi_c + w) = Q_{\text{бр}} (Lw + gH),$$

где $Q_{\text{бр}}$ — масса поезда.

Таким образом, равенство механической работы подтверждается. Однако в приведенных выше расчетах не было принято во внимание, что основное удельное сопротивление движению зависит от скорости движения и поэтому будет различным для разных элементов.

Из этого следует, что предположение о равенстве механической работы в обоих рассмотренных случаях не вполне точно и будет тем ближе к действительности, чем меньше разница между уклонами действительного и спрямленного элементов.

Практически спрямление профиля не приводит к искажению результатов расчета времени хода на железнодорожном транспорте, если отметки на переломах действительного профиля отклоняются от спрямленного не более чем на 2 м. С учетом этого условие возможности спрямления профиля может быть выражено так

$$l_i \leq 2000/\Delta i, \quad (5.39)$$

где l_i — длина каждого спрямленного элемента, м; Δi — алгебраическая разность уклонов действительного и спрямленного элементов, ‰.

Для автомобильных дорог числитель в формуле (5.39) можно принимать равным 5000—7500.

Влияние кривых на спрямленном участке учитывается эквивалентным уклоном [см. формулу (5.19)]

$$i_{\text{эк}} = a \Sigma \alpha^{\circ} / s_c, \quad (5.40)$$

где a — коэффициент, равный 15 для автомобильных, 12 для железных дорог колеи 1520 мм и 7,5 для железных дорог колеи 750 мм; $\Sigma \alpha^{\circ}$ — сумма углов поворота в пределах спрямленного элемента, град.; s_c — длина спрямленного элемента, м.

При подсчете скоростей движения эквивалентный уклон суммируют с геометрическим уклоном спрямленного элемента. При спрямлении продольного профиля не следует объединять элементы с уклонами разного знака, т. е. подъемы и спуски. Нельзя спрямлять элементы профиля с руководящим подъемом и максимальным спуском, а также элементы, на которых расположены станции или разъезды.

Широко применяется и другой прием сокращения количества расчетов, заключающийся в том, что все элементы профиля с одинаковым приведенным (см. с. 74) уклоном предварительно суммируют, вычисляя время хода для каждой суммы длин элементов с одинаковыми уклонами.

Метод равновесных скоростей. Этот метод основан на двух допущениях: а) принимается, что поезд на каждом элементе профиля движется равномерно с постоянной скоростью, соответствующей крутизне данного уклона и б) скорость движения поезда при переходе с одного элемента поезда на другой изменяется мгновенно. Эти равномерные скорости поезда соответствуют равенству силы тяги и сил сопротивления движению поезда на каждом элементе профиля дороги и поэтому называются равновесными.

Фактически при переходе поезда, например, с трудного элемента профиля на более легкий скорость его будет повышаться не мгновенно, а постепенно, поэтому время хода в целом по данному элементу профиля будет больше, чем получится при расчете по методу равновесных скоростей. При переходе же поезда с более легкого элемента продольного профиля дороги на более трудный будет иметь место обратное явление.

Предполагается, что при чередовании на дороге трудных и легких элементов профиля указанные отклонения будут друг друга компенсировать. Исключение при этом составляют лишь затраты времени на разгон при трогании поезда с места и на замедление его движения перед остановкой, которые не погашаются.

С учетом указанного равновесные скорости движения поезда на каждом элементе продольного профиля дороги могут быть определены графо-аналитическим способом — нанесением на тяговую характеристику тяговой машины поезда кривых сил полного сопротивления движению, вычисленных для раз-

личных уклонов пути (рис. 5.6). Точки пересечения этих линий с кривой силы тяги определяют искомые равновесные скорости движения поезда для разных уклонов, зная которые, легко определить и время хода поезда на данном элементе профиля. Кривые полного сопротивления движению поезда на разных уклонах профиля строят по двум-четырем точкам (для различных значений скорости движения), вычисляя его значения по формулам:

для автомобильных дорог

$$\Sigma W = Q_{\text{ср}} (\omega \pm gi); \quad (5.41)$$

для железных и тракторных дорог

$$\Sigma W = P (\omega'_0 \pm gi) + Q_{\text{тр}} (\omega''_0 \pm gi), \quad (5.41a)$$

где значения ω , ω'_0 и ω''_0 принимают по формулам и данным, приведенным в настоящей главе.

В таком же порядке производится определение скоростей движения поезда и в негрузовом направлении.

Способ равновесных скоростей применим лишь на подъемах, площадках и на спусках величиной не более предельного безвредного. На более крутых спусках величина скорости движения определяется с учетом использования тормозных средств поезда (см. ниже).

Величина предельного безвредного уклона определяется по формуле

$$i_{\text{без}} = \omega/g, \quad (5.42)$$

где ω — средневзвешенное основное удельное сопротивление движению (на железных дорогах при выключенном двигателе локомотива), Н/т.

На участках вертикальных кривых, разбиваемых на переломах профиля, величина преодолеваемого поездом уклона изменяется постепенно от $\pm i_1$ (уклон предыдущего элемента продольного профиля) до $\pm i_2$ (уклон последующего элемента). В связи с этим на лесовозных дорогах влияние вертикальных кривых на скорость движения поезда при определении времени хода можно учитывать введением вместо них фиктивных элементов профиля согласно рис. 5.7.

При радиусе вертикальных кривых $R \leq 5000$ м и при использовании метода равновесных скоростей допустимо не учитывать наличия на переломах профиля вертикальных кривых. Ошибка, полученная при этом, невелика (не более 2—3 %).

При радиусе кривых более 5000—10 000 м, когда длина каждой вертикальной кривой становится значительной (более 100—200 м) и их общее протяжение на дороге имеет большой удельный вес, а также когда требуется повышенная точность расчетов, следует каждую длинную вертикальную кривую разбить на несколько участков длиной l_0 (рис. 5.7, в) и опреде-

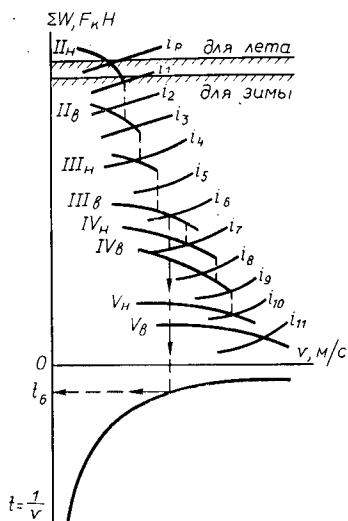


Рис. 5.6. График для определения скоростей движения и времени хода по способу равновесных скоростей:

стрелкой указан порядок применения графика; римскими цифрами — номера передач; i — уклоны

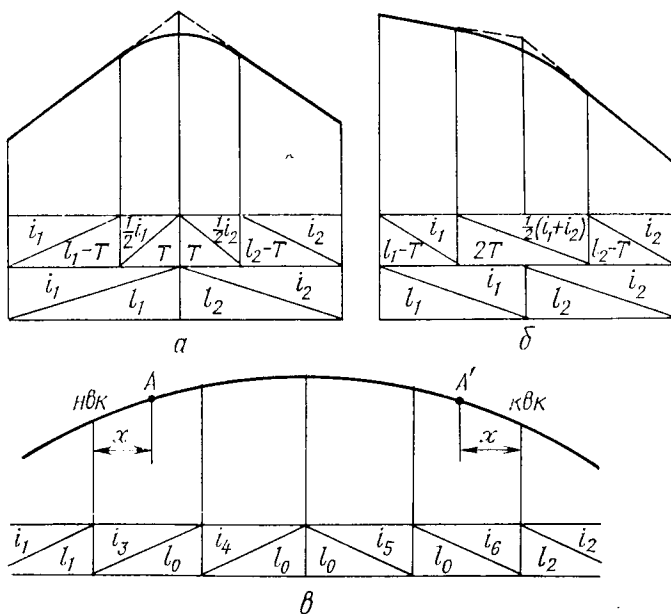


Рис. 5.7. Учет наличия вертикальных кривых на переломах профиля при определении скоростей движения поезда:

а — при наличии обратных уклонов; б — при уклонах одного знака; в — при значительной длине вертикальной кривой; T — тангенс вертикальной кривой; i_1 и i_2 — уклоны прямолинейных элементов профиля, примыкающих к вертикальной кривой

лить для каждого участка средний уклон, пользуясь зависимостью

$$i_A = i_1 - \frac{x}{R} 10^3, \quad (5.43)$$

где i_A — величина уклона в точке A , ‰; i_1 — уклон элемента профиля, примыкающего к вертикальной кривой в точке $НВК$ (начало вертикальной кривой), ‰; x — расстояние от $НВК$ до A ; R — радиус вертикальной кривой.

Для кривых, размещенных между элементами с уклонами разных знаков, величину среднего уклона каждого участка следует определять для первой половины кривой, измеряя x от $НВК$ и для второй половины — от $КВК$ (конца вертикальной кривой).

Средняя техническая скорость движения поезда определяется по формулам:

для грузового направления

$$v_{гр} = 10^3 k_{эк} \Sigma l_i / (\Sigma t_{гр} + \tau_p + \tau_3); \quad (5.44)$$

для негрузового направления

$$v_{негр} = 10^3 k_{эк} \Sigma l_i / (\Sigma t_{негр} + \tau_p + \tau_3), \quad (5.45)$$

где $k_{эк}$ — коэффициент, учитывающий снижение скоростей движения на подходах к мостам и на мостах, на кривых малых радиусов, в ночное время, из-за ухудшения видимости и других причин (для магистралей $k_{эк} = 0,85 \div 0,9$ и для веток $k_{эк} = 0,70 \div 0,75$); Σl_i — длина участка дороги, км; $\Sigma t_{гр}$ — суммарное время хода по участку в грузовом направлении, с; $\Sigma t_{негр}$ — то же в негрузовом направлении, с; $\tau_p + \tau_3$ — время на разгон поезда при трогании и замедление при остановке поезда (на лесовозных автомобильных дорогах принимают $\tau_p + \tau_3 = 60$ с, на железных дорогах колеи 750 мм 120 с).

Среднюю скорость движения поезда в обоих направлениях можно найти из выражения, определяющего суммарную затрату времени на движение поезда по участку дороги длиной L $L/v_{гр} + L/v_{негр} = 2L/v_{ср}$, откуда

$$v_{ср} = 2v_{гр}v_{негр}/(v_{гр} + v_{негр}). \quad (5.46)$$

§ 9. ОСНОВЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ИНТЕГРИРОВАНИЯ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА

При движении поезда в тяговом режиме уравнение движения поезда можно представить так:

$$dt = [10^3 (1 + \gamma) dv] / (f - w \pm gi),$$

откуда

$$\Delta t = 10^3 (1 + \gamma) \int_{v_H}^{v_K} \frac{dv}{f - w \pm gi}, \quad (5.47)$$

где Δt — время хода поезда на участке пути с уклоном i , на котором скорость изменяется от v_H (начальная скорость) до v_K (конечная скорость), с.

Зависимость $s=f(v)$ при тяговом режиме движения может быть получена из уравнения (5.26), если в левой части вместо dt подставить его значение из равенства $v=ds/dt$.

При этом будем иметь

$$ds = [10^3 (1 + \gamma) v dv] / (f - w \pm gi).$$

Интегрирование этого выражения дает

$$\Delta s = s_K - s_H = 10^3 (1 + \gamma) \int_{v_H}^{v_K} \frac{v dv}{f - w \pm gi}. \quad (5.48)$$

Знаменатель подынтегрального выражения в формулах (5.47) и (5.48), называемый удельной равнодействующей силой, зависит от скорости и поэтому для того чтобы закончить интегрирование, необходимо сначала установить зависимость $f - w = \varphi(v)$.

Как видно из рис. 5.1, кривые зависимости $F_K = f(v)$, а следовательно, и $f = \varphi(v)$ имеют переломы и поэтому неоднородны. Кроме того, у тягачей с механическими коробками передач таких кривых имеется столько, сколько передач в коробке. Все это затрудняет интегрирование рассматриваемых выражений.

С учетом указанного в данном случае используется метод приближенного интегрирования, заключающийся в том, что вместо бесконечно малых приращений скорости, пути и времени в уравнении движения поезда принимаются их малые конечные приращения, в пределах которых величина удельной равнодействующей силы принимается неизменной. Это дает возможность свести решение рассматриваемой задачи к последовательному интегрированию для небольших интервалов изменения скорости Δv (порядка 1,5—3 м/с), при котором среднее значение удельной равнодействующей силы как величины постоянной, может быть вынесено из-под интеграла.

Решение сложных интегральных выражений таким путем приводится к решению простейших интегралов с последующим суммированием результатов расчетов. Используя этот метод, получим для каждого интервала скорости

$$\Delta t = [10^3 (1 + \gamma) (v_2 - v_1)] / (f - w \pm gi); \quad (5.49)$$

пройденный путь

$$\Delta s = 10^3 (1 + \gamma) \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 (f - w \pm gi)}, \quad (5.50)$$

где v_1 и v_2 — скорость движения в начале и в конце принятого интервала скоростей, м/с; Δt — отрезок времени, затраченный

на изменение скорости от v_1 до v_2 , с; Δs — отрезок пути, м, пройденный за время Δt .

В пределах каждого интервала $\Delta v = v_2 - v_1$ удельная равнодействующая сила $f - w \pm gi$ принимается по средней скорости, равной $0,5(v_1 + v_2)$, причем f определяется из равенства $f = F_k : (P + Q)$, где F_k берется по графику тяговой характеристики, а w определяется по формулам или данным, приведенным выше в настоящей главе.

На железных дорогах ранее находил применение графический метод интегрирования уравнения движения поезда [7, 12]. Однако в последние годы этот метод практически не применяется в связи с широким использованием в тяговых расчетах ЭЦВМ или аналоговых вычислительных машин (АВМ). На лесовозных автомобильных дорогах вычисление скоростей движения и времени хода с выдачей на печать предусмотрено программой САПАД-2 [8, 23].

§ 10. ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ И ТОРМОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ

Безопасность движения лесовозных поездов в большой степени зависит от наличия у поезда надежных тормозных средств.

При проектировании лесовозной дороги необходимо:

не допускать спусков, на которых невозможно затормозить поезд в пределах установленного расстояния видимости, сигналов или препятствий;

подбирать прицепной состав, снабженный тормозами, достаточными для безопасного движения на спусках;

предусматривать в особо трудных случаях на крутых спусках мероприятия для повышения сопротивления движению (применяется на зимних дорогах) и увеличения сцепления тормозных колес с поверхностью дороги (посыпка песком, устройство шероховатых покрытий, применение шин с шипами и т. п.).

При тормозных расчетах за основу принимают уравнение движения поезда (5.26а), интегрируя которое, можно получить

$$s = s_2 - s_1 = -10^3 (1 + \gamma) \int_{v_1}^{v_2} \frac{v dv}{b + w \mp gi}, \quad (5.51)$$

где s — путь, пройденный за время торможения, м.

Используя описанный выше аналитический метод приближенного интегрирования, можно получить, что для каждого интервала скоростей $\Delta v = v_1 - v_2$

$$s = 10^3 (1 + \gamma) \frac{v_1^2 - v_2^2}{2(b + w \mp gi)}. \quad (5.52)$$

Определяя значение s для каждого интервала скоростей в пределах всего диапазона изменения последних (величину интервала в этом случае можно также принять равной 1,5—3 м/с) и просуммировав результаты расчета, можно получить протяжение пути, пройденного поездом за время торможения.

В практике часто применяется упрощенный метод тормозных расчетов, основанный на допущении, что удельное сопротивление движению и удельная тормозная сила не зависят от скорости движения. Величину γ при этом принимают равной нулю. С учетом указанного

$$s = [10^3 (v_n^2 - v_k^2) k] / [2 (b + w \mp gi)], \quad (5.53)$$

где k — коэффициент, учитывающий эксплуатационное состояние тормозов (для автомобильных дорог принимают $k=1,4$, для железных дорог $k=1$); v_n и v_k — скорости движения поезда в начале и конце торможения, м/с.

Для определения длины полного тормозного пути (при торможении до остановки поезда) в формуле (5.53) следует принять $v_k=0$ при этом

$$s_T = 10^3 v_n^2 k / [2 (b + w \mp gi)]. \quad (5.54)$$

В соответствии с требованиями правил технической эксплуатации лесовозных дорог [46] величина полного тормозного пути должна удовлетворять условию

$$s_T = s_B - s_P - s_{\Pi} = s_B - s_P - t_{\Pi} v_n = s'_B - t_{\Pi} v_n, \quad (5.55)$$

где s_T — полный тормозной путь, м; s_B — расчетное расстояние видимости препятствий или сигналов, м; s_P — резервное расстояние, на котором поезд должен остановиться, не доезжая до препятствия (обычно $s_P=0 \div 10$ м); s_{Π} — путь, пройденный за время подготовки тормозов к действию, м; t_{Π} — время подготовки к торможению (для автопоездов 2 с, для узкоколейных поездов до 15 с).

Приравняв правые части равенств (5.54) и (5.55), получим квадратное уравнение

$$10^3 v_n^2 k / [2 (b + w \mp gi)] = s'_B - t_{\Pi} v_n, \quad (5.56)$$

решая которое, найдем, что допускаемая скорость движения поезда в начале торможения на уклоне i

$$v_n = \frac{b + w \mp gi}{10^3 k} \left(\sqrt{t_{\Pi}^2 + \frac{2 \cdot 10^3 k s'_B}{b + w \mp gi}} - t_{\Pi} \right), \quad (5.57)$$

или с некоторым упрощением

$$v_n = \frac{b + w \mp gi}{10^3 k} \left(\sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 k s'_B}{b + w \mp gi}} - t_{\Pi} \right). \quad (5.57a)$$

Значения b и w при определении v_n следует вычислять по формулам, приведенным выше, для скорости равной $0,5 v_p$, где v_p — расчетная скорость движения для дорог данной категории и типа.

Из равенства (5.56) можно найти необходимую величину удельной тормозной силы при заданных значениях v_n , i и s_b или допускаемое предельное значение спуска при заданных значениях v_n , b и s_b .

В целях обеспечения большой безопасности движения на дорогах общего пользования принимают $w=0$.

Для получения более точных результатов расчетов учитывают влияние скорости движения на величину основного сопротивления движению. Приняв согласно (5.14а), что $w=c+dv$ и подставив это значение в (5.51), получим в результате интегрирования

$$s = \frac{1000}{dg} \left\{ (v_1 - v_2) - \frac{b + c \mp gi}{d} [\ln(b + c + dv_1 \mp gi) - \ln(b + c + dv_2 \mp gi)] \right\}. \quad (5.58)$$

Если принять $v_k=0$ и ввести упомянутый выше коэффициент k , получим формулу для определения полного тормозного пути

$$s_T = \frac{1000k}{dg} \left(v_1 - \frac{b + c \mp gi}{d} \ln \frac{b + c + dv_1 \mp gi}{b + c \mp gi} \right). \quad (5.59)$$

Глава 6

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

§ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Современное лесозаготовительное предприятие (ЛЗП) представляет собой сложный комплекс путей лесотранспорта, производственных зданий, сооружений и оборудования, находящихся в тесной технологической зависимости друг от друга. Проекты таких предприятий должны быть комплексными и охватывать все стадии технологического процесса лесозаготовок, а также лесовосстановительных и некоторых других работ.

Проектные институты руководствуются в своей работе Инструкцией по разработке проектов и смет для промышленного строительства (СН 202—76). Согласно этой инструкции проекты промышленных предприятий, зданий и сооружений разрабатываются на основе технико-экономических обоснований (ТЭО), подтверждающих экономическую целесообразность и

хозяйственную необходимость их строительства. На основе утвержденных в соответствующем порядке ТЭО и задания на проектирование проектные организации выполняют необходимые изыскательские работы, разрабатывают технорабочие проекты предприятий, широко используя типовые проекты отдельных зданий и сооружений.

Проектирование предприятий в две стадии — технический проект и рабочие чертежи — ведут для крупных и сложных промышленных комплексов, а также в случае применения новой, неосвоенной технологии производства.

Технорабочие проекты разрабатывают по очередям строительства.

Проектные институты руководствуются законами СССР, указами Президиума Верховного Совета СССР, решениями Правительства СССР и другими директивными актами по вопросам капитального строительства, строительными нормами и правилами (СНиП), государственными стандартами на строительные материалы, детали и конструкции, другими нормативными документами по проектированию и капитальному строительству, сметными нормативами, расценками и ценниками для определения сметной стоимости строительства. При проектировании ЛЗП проектные институты, кроме того, руководствуются ведомственными строительными нормами (ВСН), в частности отраслевой «Инструкцией по проектированию лесозаготовительных предприятий» (в составе которой приведены нормы проектирования лесовозных дорог [17, 25]), «Нормами технологического проектирования лесозаготовительных предприятий» [21] и др.

Основанием для составления ТЭО нового ЛЗП могут служить разрабатываемые Гипролестрансом для основных лесных районов страны генеральные схемы развития лесной промышленности, в которых на основе имеющихся материалов лесоустройства и учета лесного фонда разрабатываются вопросы размещения новых предприятий по заготовке и обработке древесины (лесопильные, целлюлозно-бумажные и др.), реконструкции действующих. В ТЭО уточняются размеры сырьевой базы ЛЗП, определяются необходимые капиталовложения (по укрупненным измерителям), определяются технико-экономические показатели работы будущего предприятия и др. На основе ТЭО выбирают в натуре площадки для размещения нижнего склада и поселка ЛЗП, составляют задание на проектирование, в котором заказчик определяет местоположение ЛЗП, его сырьевую базу, производственную мощность, необходимую переработку древесины и другие данные.

Проекты дорог разрабатываются на их протяжение, необходимое для работы ЛЗП в течение первых 5 лет. По истечении этого срока разрабатывают проекты удлинения дорог еще на 5 лет и т. д.

В состав технорабочего (технического) проекта ЛЗП входят пояснительная записка, чертежи, сметы и приложения. В пояснительной записке, как правило, имеются следующие разделы: общая часть, технико-экономическая часть, генеральная схема размещения лесовозных путей в сырьевой базе ЛЗП с ее обоснованием, технология лесосечных работ, сухопутный транспорт леса, нижний склад, обеспечение энергоресурсами, генплан площадки нижнего склада и размещение промышленных зданий, организация труда и управление предприятием, строительная часть, организация строительства, жилищно-гражданское строительство.

В состав чертежей входят: картограмма запасов леса в сырьевой базе ЛЗП с нанесением генеральной схемы размещения лесовозных путей, генеральные планы нижнего склада, центрального и лесных (вахтовых) поселков, продольные профили, планы и поперечные профили лесовозных дорог, чертежи проектируемых мостов, основные чертежи нетиповых зданий и сооружений и др.

К технорабочему проекту прилагают основные рабочие чертежи всех объектов строительства первой очереди. Привязанные к участку строительства детальные чертежи типовых и повторно применяемых индивидуальных экономических проектов зданий и сооружений, детальные чертежи нетиповых проектов, перечни примененных стандартов, нормалей и типовых конструкций, планы, профили и разрезы дорог и других коммуникаций на нижнем складе, чертежи установки оборудования и связанных с ним коммуникаций, фундаментов и т. п. выдаются заказчику после утверждения технорабочего проекта.

В состав сметной документации входят: сводная смета, сметы и сметные расчеты на строительство отдельных объектов, строительные и специальные работы, вертикальную планировку промышленных площадок и их благоустройство, приобретение оборудования и монтаж.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ

До начала изысканий следует провести подготовительные работы, заключающиеся в сборе и изучении всех имеющихся материалов, характеризующих местные, природные и экономические условия строительства дороги (топографические карты, материалы аэрофотосъемки, данные многолетних наблюдений водомерных постов на пересекаемых реках и их гидрологии, материалы дорожных изысканий прошлых лет по инженерной геологии, экономике и др.). На основе собранных материалов разрабатывают генеральную схему транспортного освоения сырьевой базы ЛЗП, в которой отражают решения по следующим основным вопросам проекта: 1) установление границ

сырьевой базы; 2) уточнение расчетного годового объема вывозки; 3) выбор пункта примыкания лесовозной дороги к транзитной магистрали, по которой доставляется лес потребителям; 4) выбор типа лесотранспорта; 5) выбор принципиальной схемы размещения лесовозных путей в пределах базы; 6) установление основного направления магистрального пути; 7) определение оптимальных расстояний между ветками и их размещение в пределах базы; 8) выделение зоны первоочередной эксплуатации сырьевой базы. На основе разработанной генсхемы производят камеральное трассирование лесовозных дорог по картам в горизонталях (аэрофотоснимкам).

Камерально запроектированную трассу переносят в натуру, внося необходимые улучшения на основе учета местных особенностей рельефа, расположения древостоев и других факторов, не учтенных при камеральном трассировании.

При отсутствии соответствующих картографических материалов или данных аэрофотосъемки изыскания лесовозной дороги выполняют в натуре, проводя предварительные рекогносцировки местности, прокладку в трудных участках нескольких вариантов трассы или контрольных тахеометрических ходов по просекам, визирам и имеющимся лесным дорогам. На трудных участках выполняют тахеометрическую съемку планов в горизонталях (для укладки трассы по этим планам) или прокладку теодолитного хода (совпадающего с генеральным направлением трассы) со съемкой вдоль него плана местности. Изыскания лесовозных дорог (инженерно-геодезические, инженерно-геологические и инженерно-гидрометеорологические) выполняют в соответствии с требованиями СНиП [24]. В состав инженерно-геодезических работ при изысканиях лесовозных дорог входят: изыскание трассы лесовозной дороги с ее угломерной съемкой, нивелировкой, снятием поперечников на косогорах и закреплением трассы на местности, снятие плана местности вдоль трассы дороги на ширину до 100 м в каждую сторону от трассы, снятие планов местности на трудных участках для укладки трассы, мест перехода через водотоки, станций, разъездов, пунктов перегрузки леса, поселков, лесных складов и т. п. в масштабе 1:5000—1:10 000 с горизонталями через 1—2 м, привязка съемок к пунктам государственной геодезической и нивелирной сетей.

В состав инженерно-геологических изысканий входят: сбор и изучение имеющихся материалов по инженерной геологии; инженерно-геологическое обследование района изысканий дороги с разведкой необходимых дорожно-строительных материалов и источников водоснабжения; инженерно-геологическая съемка полосы вдоль трассы дороги в масштабе 1:10 000—1:25 000 на ширину до 300 м с двумя-четырьмя выработками на 1 км; инженерно-геологические съемки площадок под застройку и участков перехода через постоянные водотоки в том

же масштабе с расстояниями между выработками 100—300 м; съемка разведанных месторождений песка, гравия, камня и других дорожно-строительных материалов.

Глубину выработок назначают не менее чем на 2 м ниже поверхности земли под насыпями и на 2—3 м глубже проектируемых выемок. Болота зондируют специальным зондом или с закладкой скважин с заглублением в минеральное дно на 0,5—1,0 м. В местах искусственных сооружений глубину скважин назначают не менее чем на проектную глубину забивки свай (или заглубления других видов оснований) плюс 2—4 м.

На основе данных бурения и шурфования составляют подробные описания грунтов и их напластований, вычерчивают колонки бурения, грунтовые разрезы и грунтовые продольные профили, совмещенные с продольным профилем дороги.

При определении запасов полезных ископаемых обычно назначают сетку буровых скважин 100×100 м или чаще, охватывающую все месторождение в плане и пользуются методом треугольных призм, по которому запас полезного ископаемого составляет

$$V_{\Pi} = \sum \frac{f(h_1 + h_2 + h_3)}{3}, \quad (6.1)$$

где f — площадь треугольника, в вершинах которого сделаны скважины, м^2 ; h_1 , h_2 , h_3 и т. д. — мощность (толщина) слоя полезного ископаемого в вершинах углов треугольников, м.

В последние годы в практике дорожных изыскательских работ стали применять методы электроразведки грунтов, основанные на их различном электрическом сопротивлении, сейсмические, ультразвуковые и радиоизотопные.

§ 3. ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИНИМАЕМЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Общие положения. При разработке проектов промышленных предприятий используют следующие методы обоснования принимаемых проектных решений:

методы оптимизации с использованием соответствующего математического аппарата с применением и без применения ЭВМ;

способ сравнения основных технико-экономических показателей проекта (себестоимости продукции или работы, например вывозки леса и удельных капиталовложений) с базовыми или нормативными показателями;

метод сравнения нескольких конкурентоспособных вариантов с выявлением наилучшего.

Наиболее совершенными являются методы оптимизации, позволяющие найти наилучшее проектное решение из всех воз-

можных и основанные на применении положений прикладной математики. Эти методы обеспечивают нахождение минимума целевой функции, выражающей собой зависимость затрат на постройку и эксплуатацию проектируемого объекта от объемов производства, местных природных и экономических факторов с учетом влияния смежных технологических и транспортных операций.

Подготовка целевой функции требует глубокого знания влияния перечисленных факторов на величину критерия оптимальности и может быть связана с необходимостью проведения предварительных исследований. Поэтому методы оптимизации при проектировании объектов лесотранспорта используются лишь для поисков оптимальных решений отдельных крупных задач, например при проектировании продольного профиля дороги, размещении сети лесовозных дорог в лесном массиве и других, отличающихся своей сложностью и многовариантностью.

Способ сравнения технико-экономических показателей за проектированного объекта с нормативными показателями является наименее совершенным, так как он дает возможность лишь установить, насколько данное проектное решение лучше или хуже принятого за норму. Наиболее широко используют способ сравнения вариантов, позволяющий выявить лучший вариант из числа сравниваемых. Его недостатком является отсутствие гарантии в том, что в числе сравниваемых обязательно имеется и оптимальный вариант, который нужно выявить. Однако этот недостаток в основном имеет больше теоретическое, чем практическое значение, так как отбор вариантов для последующего сравнения выполняется опытными проектировщиками, знающими свое дело.

Для отбора лучшего варианта пользуются основным критерием — минимумом приведенных затрат, вычисляемых по формулам

$$R_{\text{пр}} = E_{\text{н}}K + C \quad \text{или} \quad S_{\text{пр}} = K + C/E_{\text{н}}, \quad (6.2)$$

где $E_{\text{н}}$ — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений ($E_{\text{н}} = 0,15$); K — капиталовложения (единовременные затраты) по каждому варианту; C — себестоимость годовой продукции или работы (например, вывозки леса) по вариантам. Из формулы (6.2) видно, что $R_{\text{пр}} = E_{\text{н}}S_{\text{пр}}$.

Широко применяют также показатель удельных приведенных затрат (т. е. отнесенных к единице продукции, например 1 м³ вывезенного леса), вычисляемых по формулам

$$P_{\text{пр}} = R_{\text{пр}}/Q_{\text{год}} \quad \text{или} \quad P_{\text{пр}} = S_{\text{пр}}/Q_{\text{год}}T_{\text{ок}}, \quad (6.3)$$

где $Q_{\text{год}}$ — годовой объем продукции (грузооборот дороги); $T_{\text{ок}}$ — нормативный срок окупаемости ($T_{\text{ок}} = 1/E_{\text{н}}$), лет.

При сравнении вариантов пользуются методикой определе-

ния экономической эффективности [20] и отраслевой инструкцией [22].

Учет разновременности капитальных вложений эксплуатационных расходов. Формулой (6.2) можно пользоваться при сравнении вариантов трассы дороги для обхода какого-либо препятствия, пункта примыкания дороги, мостовых переходов и других инженерных сооружений, строящихся одновременно, а не в несколько очередей. В последнем случае при сравнении вариантов необходимо учитывать разновременность капиталовложений. Согласно указанной выше Методике [20] фактор времени в этом случае учитывается путем приведения к одному моменту времени (началу расчетного года) единовременных и текущих затрат, т. е. капитальных вложений и эксплуатационных расходов, по формуле

$$\alpha_t = (1 + E_t)^t, \quad (6.4)$$

где α_t — коэффициент приведения; E_t — норматив приведения ($E_t = 0,1$); t — число лет, отделяющее затраты и результаты данного года от начала расчетного года.

Затраты и результаты, осуществляемые до начала расчетного года, умножаются на коэффициент α_t , а после начала расчетного года делятся на этот коэффициент.

При выборе типа транспорта леса, конструкции дорожной одежды и решении других аналогичных вопросов необходимо учитывать, что строительство дороги производится постепенно, а не сразу на всю длину, и стоимость вывозки леса в связи с увеличением расстояния вывозки из года в год возрастает.

В первую очередь строят пути лесовозной дороги, необходимые для нормальной работы предприятия в течение первых 5 лет эксплуатации (иногда больше). В дальнейшем ежегодно или очередями через каждые 3—6 лет магистральные пути дороги удлиняют и строят ветки, приобретают дополнительный подвижной состав и др.

При проектировании новых лесовозных дорог затраты, учитываемые при сравнении вариантов, целесообразно приводить к году сдачи в эксплуатацию I очереди строительства дорожной сети (так называемый нулевой год отсчета времени). При этом

$$\begin{aligned} S'_{\text{нр}} = & K_1 + K_2/(1 + E_t)^t + K_3/(1 + E_t)^{2t} + \dots + \\ & + K_m/(1 + E_t)^{(m-1)t} + C_1/(1 + E_t)^0 + C_2(1 + E_t)^1 + \dots + \\ & + C_n/(1 + E_t)^{n-1} = K_1 + \sum_{j=1}^{m-1} \frac{K_j}{(1 + E_t)^{t(j-1)}} + \\ & + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1 + E_t)^{i-1}}, \end{aligned} \quad (6.5)$$

где m — количество очередей строительства; t — средний интервал между очередями строительства, лет; $K_1, K_2 \dots K_m$ — капиталовложения в соответствующие очереди строительства; j — порядковый номер очереди строительства; i — порядковый номер года работы дороги; n — срок работы дороги, лет; C_i — стоимость вывозки леса в i -й год работы дороги, определенная с учетом возрастания расстояния вывозки и других изменений в обозримом будущем, намечаемых в проекте (например, переход на двухступенчатую вывозку).

При пользовании формулой (6.5) могут встретиться затруднения в определении количества будущих очередей строительства, размера капиталовложений в каждую очередь и стоимости вывозки леса в каждый год эксплуатации дороги. В связи с этим формулу (6.5) целесообразно упростить, приняв: 1) удлинение магистрали и постройка веток после осуществления строительства I очереди выполняется ежегодно, с равными затратами, величиной $(K_{об} - K_1) : (n - t_1)$; 2) размер годового грузооборота дороги по годам не меняется, а стоимость вывозки ежегодно возрастает на величину $(C_{max} - C_1) : (n - 1)$. При этом выражение (6.5) примет вид:

$$\begin{aligned} S'_{пр} &= K_1 + \sum_1^{n-t_1} \frac{K_{об} - K_1}{(n - t_1)(1 + E_t)^{t_1+i}} + \\ &+ \sum_1^n \left(C_1 + \frac{(i-1)(C_{max} - C_1)}{n-1} \right) \cdot \frac{1}{(1 + E_t)^{i-1}} = \\ &= K_1 + \frac{K_{об} - K_1}{n - t_1} \cdot \sum_1^{n-t_1} \frac{1}{(1 + E_t)^{t_1+i}} + C_1 \sum_1^n \frac{1}{(1 + E_t)^{i-1}} + \\ &+ \frac{C_{max} - C_1}{n - 1} \sum_1^{n-1} \frac{i-1}{(1 + E_t)^{i-1}}, \end{aligned} \quad (6.6)$$

где $K_{об}$ — общие капиталовложения на дорожную сеть и транспортные средства для освоения всей сырьевой базы дороги; t_1 — интервал времени между годом сдачи в эксплуатацию I очереди строительства и годом начала строительства II очереди (5—6 лет); C_1 — стоимость вывозки леса в первый год эксплуатации дороги; C_{max} — стоимость вывозки леса в последний год эксплуатации, т. е. при максимальном расстоянии вывозки.

Удельные приведенные затраты в этом случае будут равны

$$P_{пр} = S'_{пр} / nQ_{год} = S'_{пр} / M, \quad (6.7)$$

где M — запас леса (товарный) в сырьевой базе (зоне тяготения) лесовозной дороги в год разработки проекта, м³.

Например, при $t_1 = 5$ лет и $n = 40$ лет

$$S'_{\text{пр}} = K_1 + 0,17 (K_{\text{об}} - K_1) + 10,76 C_1 + 2,51 (C_{\text{max}} - C_1), \quad (6.6a)$$

$$P_{\text{пр}} = 0,025 S'_{\text{пр}} / Q_{\text{год}}, \quad (6.7a)$$

где $Q_{\text{год}}$ — расчетный годовой грузооборот дороги, м^3 .

При сравнении вариантов необходимо, чтобы размеры расчетного годового грузооборота и сырьевая база (осваиваемый дорогой лесной массив) по всем вариантам были бы одинаковы.

Срок действия лесовозной дороги также должен приниматься по всем вариантам одинаковым и равным сроку наиболее долговечного варианта (но не более 40 лет). При этом по менее долговечным вариантам должны быть учтены в капитальных вложениях затраты на усиление, замену или переустройство инженерных сооружений, обеспечивающие их функционирование в течение срока действия наиболее долговечного варианта.

Затраты, одинаковые по всем вариантам, при сравнении можно не учитывать. Затраты на капитальный ремонт дороги и подвижного состава учитываются при сравнении вариантов в капитальных вложениях.

При выборе наилучшего варианта проектного решения в необходимых случаях учитывают и другие технико-экономические показатели (размер удельных трудовых затрат, энергоемкость, металлоемкость строительных конструкций и др.), а также факторы социального характера.

§ 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУХОПУТНОГО ТРАНСПОРТА ЛЕСА

Основные показатели эффективности. Повышение экономической эффективности общественного производства является важнейшей хозяйственной задачей. При определении экономической эффективности сухопутного транспорта леса следует пользоваться такими основными показателями: размером необходимых общих и удельных, т. е. на 1 м^3 вывозимой древесины, капиталовложений на строительство дороги, приобретение необходимых транспортных средств, машин для ухода за дорогой и т. п.; себестоимостью вывозки леса; величиной приведенных затрат; размером удельных затрат труда на вывозку древесины.

Перечисленные показатели во многом зависят от производительности лесовозного тягача, измеряемой количеством леса, вывезенного в единицу времени (смену, сутки, год). Производительность тяговой машины на вывозке леса в смену составляет

$$П = nQ_{\text{пол}} = [(T - t_{\text{п.з}}) k_{\text{в}} Q_{\text{пол}}] : [2L_{\text{ср}}/v'_{\text{ср}} + \Sigma t_{\text{пр}}], \quad (6.8)$$

где n — количество ездов в смену; $Q_{\text{пол}}$ — полезная нагрузка на поезд, м^3 ; T — продолжительность рабочей смены; $t_{\text{п.з}}$ — подготовительно-заключительное время; $L_{\text{ср}}$ — среднее расстояние вывозки (с учетом усов); $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость движения в обоих направлениях; $\Sigma t_{\text{пр}}$ — продолжительность простоев за один цикл (рейс) на пунктах погрузки, разгрузки и на разъездах, определяемая по нормативам, приведенным в работе [21]; $k_{\text{в}}$ — коэффициент использования рабочего времени.

Если измерять скорость движения в м/с , время в мин, расстояние вывозки в км и учесть отдельно время на движение поездов по усам, где скорости малы, то получим

$$\Pi = \frac{(T - t_{\text{п.з}}) k_{\text{в}} Q_{\text{пол}}}{33,3 (l_{\text{ср}}/v_{\text{ср}} + l_{\text{ус}}/v_{\text{ус}}) + \Sigma t_{\text{пр}}} \quad (6.9)$$

Как видно из формулы (6.8), производительность лесовозной тяговой машины возрастает с увеличением полезной нагрузки на поезд и скорости движения поездов и уменьшается с увеличением расстояния вывозки древесины и времени пребывания тягача в лесу (на усах, погрузочном и формировочных пунктах) и на нижнем складе.

Определение себестоимости вывозки леса при сравнении проектных вариантов. Эксплуатационные затраты на вывозку леса (или себестоимость при учете общезаводских расходов) могут быть определены путем составления соответствующих калькуляций по правилам, изучаемым при прохождении дисциплины «Экономика и организация лесозаготовительной промышленности».

Однако этот метод неудобен при проработке и сравнении различных вариантов проектных решений, так как для составления калькуляции необходимо иметь значительное количество исходных данных, которые можно получить в полном объеме лишь в результате проработки всего проекта до конца. Кроме того, калькуляции себестоимости составляют в виде таблиц, неудобных для математического анализа влияния на величину эксплуатационных затрат размера грузооборота дороги, расстояния вывозки и других факторов. Поэтому в проектной практике при обосновании принимаемых проектных решений для расчета эксплуатационных затрат широко используют различные полуэмпирические формулы и логические математические модели.

Для ориентировочных подсчетов себестоимости вывозки леса используют также и ТЭП Гипролестранса [21], где приведены усредненные значения стоимости вывозки леса для различных грузооборотов дорог и расстояний вывозки. Зависимость стоимости вывозки леса от основных влияющих факторов можно представить следующим образом:

$$x = (x_{\text{дор}} + x_{\text{тр}}) k_{\text{н}} k_{\text{тер}}; \quad (6.10)$$

$$x_{\text{дор}} = B_{\text{пут}}L/Q + 0,01n_{\text{ам}}C_{\text{ср}}L/Q + k_{\text{ус}}/100\gamma_{\text{л}}d_{\text{ус}} + A_{\text{а}}/Q;$$

$$x_{\text{тр}} = M/P,$$

где x — стоимость вывозки 1 м³ леса, р/м³; $k_{\text{н}}$ — коэффициент, учитывающий накладные расходы (1,12—1,16); $k_{\text{тер}}$ — территориальный районный коэффициент, учитывающий повышение стоимости вывозки в лесных районах, удаленных от промышленных центров и путей сообщения (можно принимать по ТЭП Гипролестранса [21]); $x_{\text{дор}}$ — дорожная составляющая стоимости

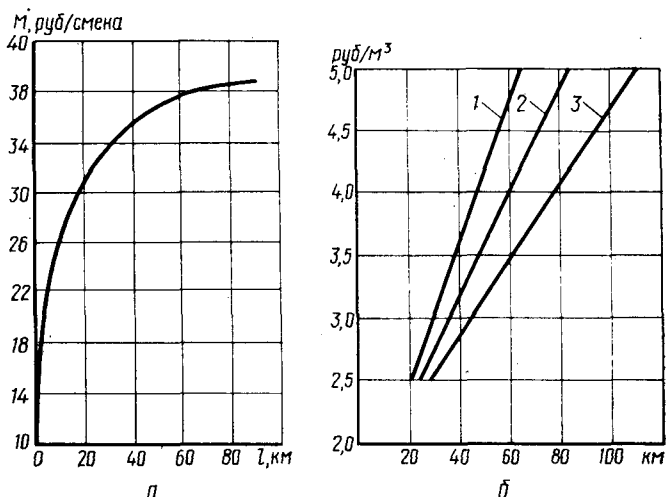


Рис. 6.1. Зависимости от расстояния вывозки:

а — стоимости машино-смены лесовозного автопоезда (с учетом зарплаты водителя); б — стоимость вывозки леса: 1 — при годовом грузообороте $Q=200$ тыс. м³; 2 — при $Q=400$ тыс. м³; 3 — при $Q=600$ тыс. м³

вывозки леса; $x_{\text{тр}}$ — машинная (транспортная) составляющая стоимости вывозки; $B_{\text{пут}}$ — затраты на эксплуатацию и содержание в исправности 1 км пути постоянного типа (магистральной и веток) с учетом станций и разъездов на железных дорогах; L — эксплуатационная длина дороги, км; Q — годовое грузооборот дороги, м³; $C_{\text{ср}}$ — средняя стоимость строительства 1 км пути постоянного типа, р.; $n_{\text{ам}}$ — средний процент годовых амортизационных отчислений от стоимости строительства дороги, %; $k_{\text{ус}}$ — затраты на постройку и содержание 1 км уса, р.; $\gamma_{\text{л}}$ — запас ликвидной древесины на 1 га эксплуатационной площади, м³/га; $d_{\text{ус}}$ — среднее расстояние между усами, км; $A_{\text{а}}$ — годовые затраты на содержание административно-технических работников управления дороги, обслуживающего и вспомогательного персонала, ремонт и содержание конторы управления дороги, диспетчерской и прочие производственные затраты, не учитываемые при калькуляции стоимости машино-смены авто-

поезда или локомотива, р.; P — производительность тяговой машины, м³/смена.

Полная стоимость машино-смены автомобиля или локомотива (с прицепным составом) зависит от расстояния вывозки леса (рис. 6.1) и, как показали исследования, может быть выражена зависимостью [2]

$$M = s + tl_{\text{ср}}/(l_{\text{ср}} + h), \quad (6.11)$$

где s — часть стоимости машино-смены, не зависящая от пробега (зарплата водителя, амортизационные отчисления по подвижному составу и гаражному хозяйству и прочие производственные затраты); t — расходы на текущий ремонт, горючее, смазочные и шины за смену при движении поездов без простоев

$$h = v'_{\text{ср}} \Sigma t_{\text{пр}}/33,3, \quad (6.12)$$

где $v'_{\text{ср}}$ — средняя скорость движения в обоих направлениях (с учетом уса), м/с.

Приняв в формуле (6.11) $l_{\text{ср}}=0$, получим условную стоимость 1 маш.-смены поезда во время стоянок, т. е. $M_1=s$. Приняв в формуле (6.12) $\Sigma t_{\text{пр}}=0$, получим, что условная стоимость 1 маш.-смены во время движения

$$M_2 = s + t. \quad (6.13)$$

Значения s и t можно вычислить по методике, изложенной в работе [2]. С учетом указанного и используя формулу (6.9), получим, что величина транспортной составляющей

$$x_{\text{тр}} = \frac{33,3M_2L_{\text{ср}}/v_{\text{ср}} + M_1\Sigma t_{\text{пр}}}{(T - t_{\text{п.з}})k_{\text{в}}Q_{\text{пол}}}. \quad (6.14)$$

Величины $B_{\text{пут}}$ и $A_{\text{а}}$ зависят от размеров грузооборота дороги следующим образом:

$$B_{\text{пут}} = r + qQ; \quad A_{\text{а}} = d + fQ,$$

где r , q , d , f — коэффициенты, зависящие в основном от типа транспорта, вида дорожной одежды; их величина может быть определена по материалам ТЭП Гипролестранса.

Примерные значения коэффициентов для автомобильных дорог: $d=10 \div 25$ тыс. р.; $f=0,1$ р/м³; для гравийных дорожных одежд $r=400 \div 500$ р. и $q=(10 \div 15) \cdot 10^{-4}$ р.; для колеяных покрытий из железобетонных плит $r=250 \div 350$ р. и $q=(7 \div 10) \times 10^{-4}$ р.

Между L и $l_{\text{ср}}$ существует зависимость (см. главу 1) $L = l_{\text{ср}}/\alpha_{\text{пр}}$, где $\alpha_{\text{пр}}$ — коэффициент пробега (в среднем $\alpha_{\text{пр}}=0,6$).

Принимая указанное во внимание и подставив значения $B_{\text{пут}}$ и $A_{\text{а}}$, приведенные выше, получим следующую основную зависимость стоимости вывозки 1 м³ леса от важнейших харак-

теристик размеров транспортной работы дороги — ее годового грузооборота и среднего расстояния вывозки:

$$x = [a + (b + c/Q) t_{cp} + d/Q] k_n k_{тер}; \quad (6.15)$$

$$a = \frac{M_1 \Sigma t_{пр}}{(T - t_{п.з}) k_B Q_{пол}} + \frac{k_{ус}}{100 \gamma_d d_{ус}} + f; \quad (6.16)$$

$$b = \frac{33,3 M_2}{(T - t_{п.з}) k_B Q_{пол} v_{cp}} + \frac{q}{\alpha_{пр}}; \quad (6.17)$$

$$c = (r + 0,01 n_{ам} C_{ср}) / \alpha_{пр}. \quad (6.18)$$

В формуле (6.15) величина a учитывает затраты на постройку и содержание усов и стоимость простоев автопоездов во время работы, зависящие от объема вывозки; величина b представляет собой стоимость пробега автопоезда, отнесенную к $1 \text{ м}^3 \cdot \text{км}$ грузовой работы, и часть расходов на содержание дорог, зависящих от размера выполняемой грузовой работы; величина c учитывает остальные путевые расходы.

Формула (6.15) представляет собой логическую, т. е. полученную расчетным путем экономико-математическую модель работы дороги, которой можно пользоваться в проектных расчетах и на производстве с применением методов математического анализа. В ней в наглядной форме выражено влияние на стоимость вывозки леса: 1) годового грузооборота дороги, с увеличением которого стоимость вывозки 1 м^3 снижается; 2) расстояния вывозки, с увеличением которого стоимость вывозки увеличивается (рис. 6.1, б); 3) скорости движения поездов, с увеличением которой уменьшается величина b , а следовательно, и стоимость вывозки; 4) полезной нагрузки на поезд, с увеличением которой уменьшаются величины a и b , а следовательно, снижается стоимость вывозки; 5) концентрации запасов древесины в эксплуатационных древостоях, с увеличением которой уменьшается величина a , а следовательно, снижается стоимость вывозки; 6) затрат времени на погрузку и разгрузку древесины, влияющих на величину a , с уменьшением которой стоимость вывозки леса уменьшается; 7) организации работ по уходу за дорогой, увеличение эффективности которых ведет к уменьшению значений r и q , а следовательно, и стоимости вывозки леса; 8) эффективности работы управленческого аппарата и вспомогательного персонала, с уменьшением которого (что возможно при внедрении современных методов управления) уменьшаются значения величин d и f , а следовательно, и стоимость вывозки леса.

Формула (6.15) позволяет учесть и проанализировать влияние на стоимость вывозки массы тягача, его касательной силы тяги и удельного сопротивления движению. Для этого необхо-

димо величину $Q_{\text{пол}}$ в формулах (6.16) и (6.17) заменить выражением

$$Q_{\text{пол}} = \frac{F_k - P(\omega'_0 + g i_p)}{(\omega''_0 + g i_p) \gamma (k_T + 1)}, \quad (6.19)$$

где k_T — коэффициент тары, равный отношению массы лесовозного поезда без груза к массе его полезной нагрузки; γ — объемная масса древесины, равная 0,8.

При этом

$$a = \frac{M_1 \Sigma t_{\text{пр}} (\omega''_0 + g i_p) \gamma}{(T - t_{\text{п.з}}) k_B [F_k - P(\omega'_0 + g i_p)] (k_T + 1)} + \frac{k_{\text{yc}}}{100 \gamma_{\text{л}} d_{\text{yc}}} + f; \quad (6.20)$$

$$b = \frac{33,3 M_2 (\omega''_0 + g i_p) \gamma}{(T - t_{\text{п.з}}) k_B v_{\text{ср}} [F_k - P(\omega'_0 + g i_p)] (k_T + 1)} + \frac{q}{\alpha_{\text{пр}}}. \quad (6.21)$$

Формулы (6.20) и (6.21) удобны для определения и анализа стоимости вывозки древесины по железным дорогам.

Определение строительной стоимости лесовозной дороги. В технорабочем проекте строительную стоимость дороги определяют составлением сметы, используя соответствующие нормативные справочники. Однако при сравнении проектных вариантов можно применить более простой метод расчета стоимости строительства по укрупненным измерителям, приведенным в технико-экономических показателях (ТЭП) Гипролестранса. В этом случае следует пользоваться формулой

$$K_d = (C_M L_M + C_{\text{л. в}} L_{\text{л. в}} + C_{\text{з. в}} L_{\text{з. в}} + C_{\text{с. п}} L_{\text{с. п}} + Y) k_{\text{пр}} k_{\text{тер}}, \quad (6.22)$$

где K_d — стоимость строительства дороги, руб.; C_M , $C_{\text{л. в}}$, $C_{\text{з. в}}$, $C_{\text{с. п}}$ — стоимость строительства 1 км магистрали, летних и зимних веток, складских путей на нижнем складе, р.; L_M , $L_{\text{л. в}}$, $L_{\text{з. в}}$, $L_{\text{с. п}}$ — протяжение магистрали, летних и зимних веток, складских путей, км; Y — затраты, не учтенные укрупненными измерителями (постройка мостов длиной более 25 м, перенос линий связи, постройка хозяйственной дороги, отвод и спрямление русел пересекаемых водотоков и т. д.); $k_{\text{пр}}$ — коэффициент, учитывающий прочие неучтенные затраты на строительство дороги (1,1—1,2); $k_{\text{тер}}$ — территориальный коэффициент, учитывающий удорожание строительства вдали от промышленных центров и путей сообщения.

При пользовании формулой (6.22) значения C_M , $C_{\text{л. в}}$, $C_{\text{з. в}}$, $k_{\text{пр}}$, $k_{\text{тер}}$ могут быть приняты по ТЭП [21].

Затраты на капитальный ремонт дорог и подвижного состава определяют по формуле

$$K_{\text{к.р}} = \sum \frac{C_{\text{к.р}}^{\text{дор}} I_{\text{дор}}}{n_{\text{дор}}} + \sum \frac{C_{\text{к.р}}^{\text{п}} N_{\text{рп}}}{n_{\text{п}}}, \quad (6.23)$$

где $C_{\text{к.р.}}^{\text{дор}}$, $C_{\text{к.р.}}^{\text{п}}$ — стоимость одного капитального ремонта 1 км дороги и одного поезда (автомобиля, локомотива с прицепным составом); l — протяжение участков дороги, работающих в течение $r_{\text{дор}}$ лет (по видам дорог); $r_{\text{дор}}$ — срок действия отдельных участков дорожной сети; N — потребность (списочная) в подвижном составе в течение $r_{\text{п}}$ лет; $r_{\text{п}}$ — период работы дороги с потребностью подвижного состава и количестве N комплектов, лет; $n_{\text{дор}}$, $n_{\text{п}}$ — периодичность капитальных ремонтов дороги и подвижного состава.

Удельные трудозатраты на транспорт леса. Их величина определяется выражением

$$p_{\text{тр}} = p_{\text{в}} + p_{\text{ис}} + p_{\text{ус}}, \quad (6.24)$$

где $p_{\text{тр}}$ — суммарные удельные затраты труда на транспорт леса, чел.-дни/м³; $p_{\text{в}}$ — удельные трудозатраты на перевозку древесины; $p_{\text{ис}}$ — удельные трудозатраты на содержание в исправности и текущий ремонт дороги; $p_{\text{ус}}$ — удельные трудозатраты на постройку усов.

Удельные трудозатраты на вывозку леса

$$p_{\text{в}} = \frac{N_{\text{тр}}}{\Pi} = \frac{N_{\text{тр}} [33,3 (l_{\text{ср}}/v_{\text{ср}} + l_{\text{ус}}/v_{\text{ус}}) + \sum t_{\text{пр}}]}{(T - t_{\text{п.з}}) k_{\text{в}} Q_{\text{пол}}}, \quad (6.25)$$

где $N_{\text{тр}}$ — количество рабочих, обслуживающих одну тяговую машину.

Удельные трудозатраты на содержание и ремонт выражаются эмпирической зависимостью

$$p_{\text{ис}} = [(h + j\alpha_{\text{пр}}Q) L_{\text{эк}} + e]/Q, \quad (6.26)$$

где $L_{\text{эк}}$ — эксплуатационная длина дороги, км; Q — годовой объем вывозки, м³; $\alpha_{\text{пр}}$ — коэффициент пробега (см. главу 1); h и j — коэффициенты, характеризующие зависимость числа рабочих рассматриваемой группы от длины дороги и объема грузовой работы; e — число рабочих, не зависящее от грузооборота дороги и ее длины.

Значения показателей единичных трудозатрат, входящих в формулы (6.25) и (6.26), могут быть определены по действующим нормам технологического проектирования. Для автомобильных дорог могут быть приняты такие значения величин: $N_{\text{т}} = 1,1 \div 1,2$; $h = 80 \div 90$ чел.-дней/км; $j = 0,2 \div 0,3$ чел.-дня/1000 м³/км; $e = 500 \div 1500$ чел.-дней.

Удельные трудозатраты на постройку усов

$$p_{\text{ус}} = \frac{z_{\text{с}}}{100\gamma_{\text{л}}d_{\text{ус}}}, \quad (6.27)$$

где $z_{\text{с}}$ — трудозатраты на постройку 1 км уса, чел.-дни; $\gamma_{\text{л}}$ — запас ликвидной древесины на 1 га лесосеки, м³/га; $d_{\text{ус}}$ — среднее расстояние между усами, км.

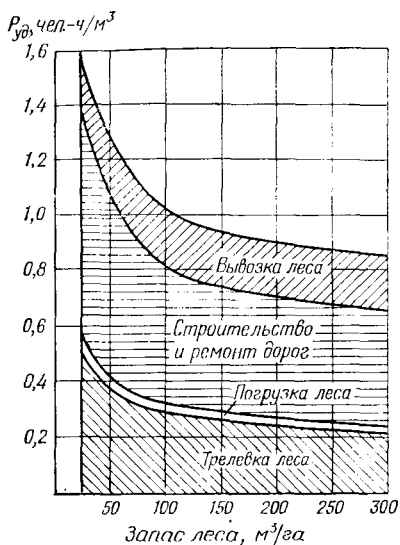


Рис. 6.2. Удельные трудовзатраты на весь комплекс транспортных операций от пня до нижнего склада и постройку дорог в условиях Северо-Запада СССР (дорога с гравийной одеждой, автопоезд МАЗ-509+ТМЗ-803)

Из формул (6.25), (6.26) видно, что основное влияние на величину удельных затрат на транспорт леса оказывают расстояние вывозки и размеры годового грузооборота дороги. Трудозатраты на трелевку, постройку и содержание дорог зависят от концентрации запасов леса на единицу площади (рис. 6.2).

Удельная энергоёмкость сухопутного транспорта леса. Для всего транспортного цикла этот показатель определяется выражением

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \mathcal{E}_{\text{тр}} + \mathcal{E}_{\text{ус}} + \mathcal{E}_{\text{в}} + \mathcal{E}_{\text{м}} + \mathcal{E}_{\text{пог}} + \mathcal{E}_{\text{раз}},$$

где в правой части показаны удельные энергоёмкости трелевки, вывозки леса по усам, веткам и магистрали, погрузке и разгрузке, кВт·ч/м³.

Для каждой фазы транспортного процесса

$$\mathcal{E} = \frac{\gamma k_p}{3600 \eta \beta Q_{\text{пол}}} \left(v_{\text{гр}} \Sigma W_{\text{гр}} \frac{l_{\text{ср}}}{v_{\text{ср}}} + v_{\text{негр}} \Sigma W_{\text{негр}} \frac{l_{\text{ср}}}{v_{\text{негр}}} \right).$$

Имея в виду, что

$$\Sigma W_{\text{гр}} = (Q_{\text{пол}} + Q_{\text{т}}) (w_{\text{гр}} \pm g i_{\text{ср}});$$

$$\Sigma W_{\text{негр}} = Q_{\text{т}} (w_{\text{негр}} \pm g i_{\text{ср}}),$$

получим

$$\mathcal{E} = \frac{\gamma k_p l_{\text{ср}}}{3600 \eta \beta} [w_{\text{гр}} + k_{\text{т}} (w_{\text{гр}} + w_{\text{негр}}) \mp g i_{\text{ср}}], \quad (6.28)$$

где $w_{\text{гр}}$, $w_{\text{негр}}$ — основное удельное сопротивление движению в грузовом и негрузовом направлениях, Н/т; γ — объёмная масса древесины; $l_{\text{ср}}$ — средний продольный уклон дороги, ‰; остальные обозначения — см. выше.

Из формулы (6.28) видно, что затраты энергии на вывозку или трелевку леса зависят в основном от расстояния вывозки, коэффициента тары, удельного сопротивления движению и среднего продольного уклона пути.

Затрата энергии на погрузочные и разгрузочные работы может быть определена по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{пог}} = \frac{N_e \eta_{\text{ис}} t k_{\text{хол}}}{60 Q_{\text{пол}}}, \quad (6.29)$$

где N_e — номинальная мощность двигателя, кВт; t — продолжительность погрузки, мин; $\eta_{\text{ис}}$ — коэффициент использования мощности; $k_{\text{хол}}$ — коэффициент, учитывающий расход энергии в промежутках между циклами погрузки.

§ 5. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ГЕНЕРАЛЬНОЙ СХЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ

Основные положения. Чтобы обеспечить бесперебойную работу лесозаготовительных предприятий в течение всего предусмотренного срока их действия, за ними закрепляют определенные участки территории, покрытые лесом и называемые лесосырьевыми базами.

Если лесозаготовительное предприятие имеет одну лесовозную дорогу, то его сырьевая база одновременно является и сырьевой базой лесовозной дороги. Если лесозаготовительное предприятие имеет несколько лесовозных дорог, то лесосырьевая база предприятия в целом составляется из лесосырьевых баз отдельных лесовозных дорог, входящих в его состав. Последние могут иметь один или несколько лесных массивов.

При разработке схемы транспортного освоения лесосырьевой базы дороги или отдельного лесного массива должны быть решены следующие основные вопросы: обоснование границ сырьевой базы, установление расчетного годового объема вывозки древесины, выбор пункта примыкания; выбор типа транспорта леса и принципиальной схемы размещения путей в базе, установление основного направления магистральных путей; определение оптимальных расстояний между ветками и нанесение последних на карту; выделение зоны первоочередной эксплуатации сырьевой базы.

Генеральная схема размещения путей представляет собой карту сырьевой базы в масштабе 1 : 25 000—1 : 50 000, на которой нанесены существующие дороги, линии электропередач, водотоки, болота, поселки, пункт примыкания дороги, проектируемые магистрали, ветки и дороги хозяйственного значения (с их вариантами, подлежащими проработке во время изысканий).

Установление границ сырьевой базы. При решении вопросов транспортного освоения лесов особое значение имеют следующие основные транспортно-эксплуатационные параметры сырьевых баз лесовозных дорог (см. рис. 1.2): общая площадь сырьевой базы $S_{\text{об}}$ (км²); эксплуатационная площадь сырьевой базы (площадь, занятая приспевающими, спелыми и перестойными

древостоями) при концентрации запасов не менее $50 \text{ м}^3/\text{га}$ $S_{\text{эк}}$ (км^2 или га); общий запас древесины в сырьевой базе $M_{\text{об}}$ (м^3); ликвидный запас древесины в сырьевой базе (ликвидный запас припевающих, спелых и перестойных древостоев, произрастающих на эксплуатационной площади) $M_{\text{л}}$ (м^3); длина базы, измеренная по направлению лесного грузопотока, A (км); средняя ширина базы B , равная $B = S_{\text{об}} : A$ (км); концентрация ликвидных запасов леса на единице эксплуатационной площади $\gamma_{\text{л}}$

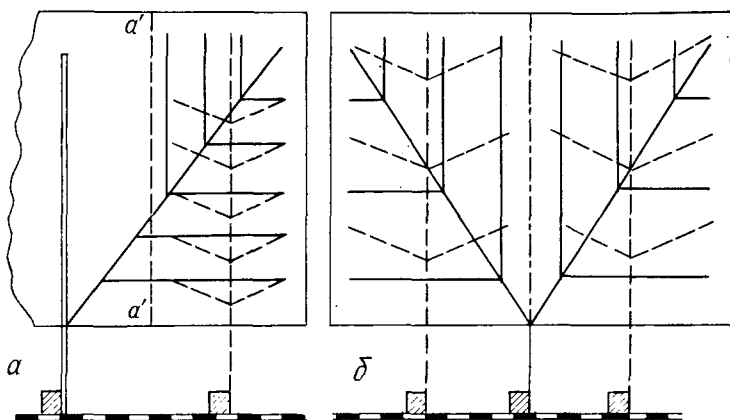


Рис. 6.3. Варианты освоения лесного массива:

a — с использованием соседней существующей лесовозной дороги (сплошной линией) или с постройкой самостоятельной дороги (пунктиром); $б$ — с постройкой одной лесовозной дороги (изображен сплошной линией случай применения двух магистралей с одним нижним складом) или с постройкой двух самостоятельных лесовозных дорог (изображен пунктиром). Существующая лесовозная дорога показана двойной линией

($\text{м}^3/\text{га}$); среднее расстояние вывозки леса по базе в целом $l_{\text{ср}}$ (км).

Особенностью показателей $M_{\text{об}}$ и $M_{\text{л}}$, характеризующих наличие запасов древесины в сырьевой базе, является их переменный характер, так как наряду с вырубкой леса растущие древостои изменяют свой запас с течением времени за счет естественного прироста и отпада, а также факторов стихийного порядка (лесные пожары, вредители леса и т. п.).

Границы сырьевой базы лесовозной дороги назначают с учетом естественных рубежей (землепользования колхозов и совхозов, открытых незалесенных пространств, труднопреодолимых водоразделов водотоков в горной местности и др.). Если по соседству с сырьевой базой проектируемой дороги имеются действующие лесовозные дороги, необходимо прежде всего решить вопрос о целесообразности освоения рассматриваемой сырьевой базы, не строя новой дороги, а путем удлинения веток соседних дорог. Для этого следует сравнить по методике, изложенной выше, два варианта освоения сырьевой базы: но-

вой дорогой и существующими дорогами за счет удлинения их веток (рис. 6.3, а).

Общей границей сырьевых баз новой и каждой из существующих дорог должна быть линия $a'a'$, для которой затраты по вывозке леса по обеим дорогам были бы одинаковы (линия равных расходов по транспортировке леса).

Следует иметь в виду, что чем больше сырьевая база лесовозной дороги, тем крупнее ее грузооборот. Если же грузооборот ограничивается расчетной лесосекой, то срок работы дороги будет больше. И то и другое весьма выгодно, так как ведет к снижению стоимости транспортировки леса и лесопroduкции в целом. С учетом этого при установлении границ сырьевой базы дороги следует проверять возможность ее расширения даже в условиях резкопересеченной местности, так как весьма часто затраты на постройку пути на участке водораздела получаются не такими значительными, чтобы в какой-либо существенной степени увеличить общий размер капиталовложений на постройку дороги.

Если по соседству с сырьевой базой действующих предприятий нет, а лесной массив более или менее вытянут вдоль транзитной магистрали, необходимо решить вопрос о количестве лесовозных дорог для освоения данного лесного массива (рис. 6.3, б), а также проанализировать целесообразность расширения сырьевой базы дороги в глубину, т. е. в сторону, противоположную направлению вывозки леса.

Обоснование длины сырьевой базы представляет собой частный случай решения задачи установления общей границы сырьевых баз двух соседних лесовозных дорог, рассмотренный выше, но отличающийся тем, что вывозка леса производится к различным транзитным магистралям. Поэтому расходы по вывозке следует определять до какого-то общего пункта лесного грузопотока на стыке транзитных магистралей.

Установление расчетного годового объема вывозки. При решении этого вопроса принимают во внимание: запасы леса в базе и размеры установленного ежегодного отпуска древесины, степень загруженности транзитного пути транспорта леса, экономически целесообразные сроки работы ЛЗП.

Расчетный годовой грузооборот лесовозной дороги в предприятиях с ограниченным сроком действия определяют с учетом имеющихся запасов леса M_n и установленного срока эксплуатации n лет по формуле

$$Q_r = M_n/n. \quad (6.30)$$

Срок эксплуатации лесного массива и грузооборот лесовозной дороги устанавливаются с учетом объемов отпуска леса, наличия свободной (неиспользуемой) провозной способности транзитного пути, типа намечаемого транспорта леса и др.

Как видно из формулы (6.15), стоимость вывозки леса при увеличении грузооборота дороги уменьшается, поэтому выгоднее назначать крупные годовые объемы вывозки. Однако при ограниченных размерах сырьевой базы такое решение приведет к уменьшению срока работы предприятия, неполному использованию его основных фондов и преждевременной ликвидации. Из этого следует сделать вывод, что короткие сроки действия

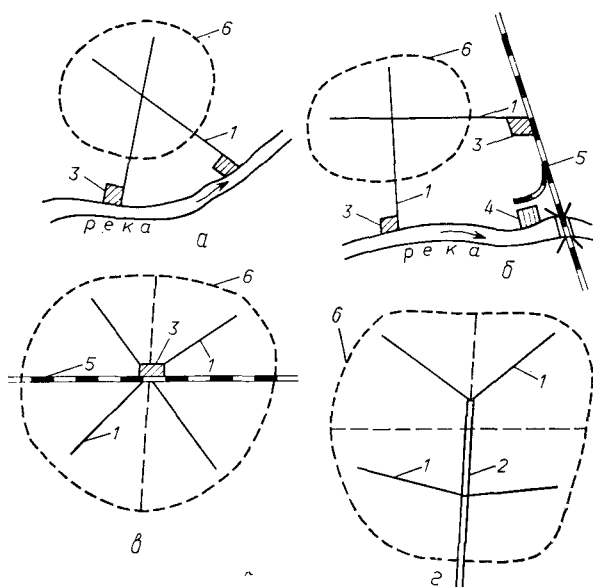


Рис. 6.4. Варианты примыкания лесовозных дорог:

а — к сплавной реке; *б* — к сплавной реке или к железной дороге МПС; *в* — к лесопромышленному комплексу (комбинату); *г* — к грузосборочной магистрали; 1 — магистрали лесовозных дорог; 2 — грузосборочная лесовозная магистраль; 3 — нижний склад; 4 — лесоперевалочная база; 5 — железная дорога МПС; 6 — границы лесных массивов (сырьевых баз)

ЛЗП невыгодны. Практика работы проектных институтов показывает, что наиболее выгодны предприятия со сроком действия не менее 40 лет при годовом объеме вывозки действия не менее 300 тыс. м³/год. Оптимальные значения объемов вывозки находятся в пределах 500—600 тыс. м³/год.

В последнее время намечается определенная тенденция к превращению леспромхозов в постоянно действующие предприятия. В составе таких предприятий появляются различные деревообрабатывающие производства и цехи, а нижний склад лесовозной дороги превращается в деревообрабатывающий комбинат, выпускающий пиломатериалы, шпалы, стройдетали, технологическую щепу, древесноволокнистые плиты, лесохимическую продукцию и т. п. Производственная мощность такого

предприятия, а следовательно, и годовой грузооборот дороги устанавливается равным годовичному отпуску леса, определяемому лесохозяйственными расчетами из условий постоянного обеспечения его сырьем.

Выбор пункта примыкания. В районе пункта примыкания (рис. 6.4) необходимо наличие площадки, удобной и достаточной для размещения нижнего склада, поселка, производственных зданий и других сооружений, требующихся для нормальной работы предприятия.

Решение вопроса выбора пункта примыкания тесно связано не только с обоснованием направления магистрали лесовозной дороги за пределами сырьевой базы, но и с обоснованием границ последней. Поэтому все эти проблемы должны решаться при проектировании одновременно и взаимосвязанно. Если в районе сырьевой базы находится несколько транзитных магистралей, которые можно использовать для отгрузки готовой лесопродукции потребителям, необходимо обосновать не только пункт примыкания лесовозной дороги, но и наиболее выгодный транзитный путь доставки лесопродукции к потребителям (рис. 6.4, б).

При примыкании лесовозной дороги к железной дороге МПС решающим фактором является местоположение железнодорожных станций.

Выбор типа транспорта леса. На выбор типа транспорта основное влияние оказывают объем предстоящей транспортной работы, определяемый годовым грузооборотом дороги и средним расстоянием вывозки, местные природные условия (рельеф местности, грунты, водный режим и др.), сроки действия предприятия, вид пути транзитного транспорта древесины, к которому примыкает лесовозная дорога, наличие существующей дорожной сети и другие факторы технико-экономического порядка.

В настоящее время основным видом сухопутного транспорта леса являются автомобильные дороги, что объясняется: высокой эффективностью труда рабочих автотранспорта; широким использованием зимних дорог, снижающим капиталовложения на постройку пути; возможностью быстрого развертывания лесозаготовок в новых предприятиях; широким использованием местных материалов для постройки дорог; универсальностью, обеспечивающей экономичную вывозку леса в разнообразных природных условиях; сохранением постоянных лесовозных путей по окончании вывозки леса, что имеет особо важное значение при лесовосстановительных работах, охране лесов от пожаров, а также для развития общей транспортной сети района.

Таким образом, вполне закономерно преимущественное применение у нас в стране и за рубежом на вывозке леса автомобильных лесовозных дорог. Недостатком автомобильных дорог является их зависимость от погодных условий.

Узкоколейные железные дороги лишены ряда перечисленных выше преимуществ вывозки леса по автомобильным дорогам. Они, как правило, имеют большую (не менее чем на 1 год) продолжительность строительства, отличаются большой потребностью в металле на строительство пути (40—55 т на 1 км) и не могут быть включены в состав единой транспортной сети района без устройства дорогостоящих в эксплуатации пунктов перегрузки. При применении узкоколейных железных дорог для вывозки леса обеспечивается практически независимость от погодных условий.

В связи с указанным новых лесовозных железных дорог колеи 750 мм за последние 20 лет не строили. Однако необходимо отметить, что при благоприятных условиях в равнинной или холмистой местности (при руководящем подъеме не более 40‰) при вывозке в год не менее 500—700 тыс. м³ на расстояние не менее 60—80 км применение узкоколейной железной дороги, особенно в качестве грузосборочной магистрали, обслуживающей два или более леспромхозов, может быть экономически выгодным.

Железные дороги нормальной колеи (1520 мм) играют большую роль при освоении многолесных районов Севера и Сибири. Их строят для вовлечения в эксплуатацию крупных лесных массивов, удаленных от имеющихся путей транспорта, при объеме вывозки не менее 1000 тыс. м³/год. В качестве лесовозных путей, непосредственно собирающих древесину с территории сырьевой базы, железные дороги нормальной колеи не используют.

Благоустроенные автомобильные дороги с усовершенствованными покрытиями с успехом применяют в качестве грузосборочных магистралей, обеспечивающих транспортировку древесины, заготавливаемой несколькими леспромхозами, к крупным комбинатам или лесопромышленным комплексам (рис. 6.4, з). В этом и других аналогичных случаях для выбора наилучшего вида транспорта леса следует пользоваться общей методикой сравнения вариантов, изложенной выше.

Используя формулу (6.2), можно написать следующее условие целесообразности применения более капиталоемкого первого варианта лесотранспорта по сравнению со вторым, менее капиталоемким:

$$E_n(K_1 - K_2) \leq C_2 - C_1, \quad (6.31)$$

где K_1 и K_2 — капитальные затраты по вариантам; C_1 и C_2 — стоимость вывозки по вариантам.

Воспользовавшись формулой (6.15), получим следующее условие выгодности применения более капиталоемкого варианта:

$$Q \geq \frac{E_n(K_1 - K_2) - (C_1 - C_2) l_{cp} - d_2 + d_1}{a_2 - a_1 + (b_2 - b_1) l_{cp}}. \quad (6.32)$$

Выбор типа лесовозного тягача (автомобиля, локомотива). Из формулы (6.16) и (6.17) следует, что при увеличении полезной нагрузки на автопоезд себестоимость вывозки леса снижается.

Таким образом, выгоднее применять лесовозные автомобили с двигателем большой мощности, возможно большим количеством грузонесущих осей в составе поезда и с большой нагрузкой на ось. Однако последнее условие вызывает удорожание дорожной одежды в связи с повышением требований к ее прочности, а следовательно, и рост капиталовложений. Наилучшее решение может быть найдено путем сравнения вариантов применения лесовозных автомобилей тяжелого и более легкого типа, пользуясь формулой (6.6).

Лесовозные автомобили должны отвечать следующим основным требованиям: иметь три оси (не менее двух ведущих), повышенную мощность двигателя (не менее 9—10 кВт на 1 т массы груженого автомобиля), многоскоростную силовую трансмиссию, дополнительные устройства для торможения при помощи двигателя.

ЦНИИМЭ разработал вопрос о применении на вывозке леса двух типов автомобилей: более тяжелых на постоянных путях и более легких на временных, с устройством пунктов перегрузки [58]. При большом (свыше 50 км) расстоянии вывозки леса, а также на грузосборочных магистралях такая двухступенчатая вывозка в принципе может быть выгодной. Однако целесообразность ее применения в каждом конкретном случае должна быть обоснована путем сравнения вариантов по формуле (6.5). Изложенное выше относится и к выбору типа локомотива на лесовозных железных дорогах (УЖД).

Необходимо отметить, что двухступенчатый способ вывозки леса на УЖД, где на постоянных путях используют тепловозы, а на усах — более легкие мотовозы, широко применяется уже много лет.

Выбор состава лесовозного автопоезда. Основные виды лесовозных автопоездов представлены на рис. 6.5. Основным из них является автопоезд, состоящий из автомобиля и роспуска. При благоприятном рельефе местности значительное увеличение полезной нагрузки и производительности автомобиля можно получить за счет применения седельных или многокомплектных поездов. Использование автопоездов с числом осей свыше пяти может быть ограничено мощностью двигателя автомобиля и условиями сцепления ведущих колес [12, 2]. Удельная мощность двигателя, отнесенная к массе автопоезда, должна быть не менее 4 кВт/т, а коэффициент сцепной массы 0,35—0,4. Следует также учесть, что при выходе лесовозных автопоездов на дорогу общего пользования их общая длина с грузом согласно ГОСТ 9314—59 и [45] должна быть не более 20—24 м с задним свесом перевозимых хлыстов не более чем на 2 м от габарита

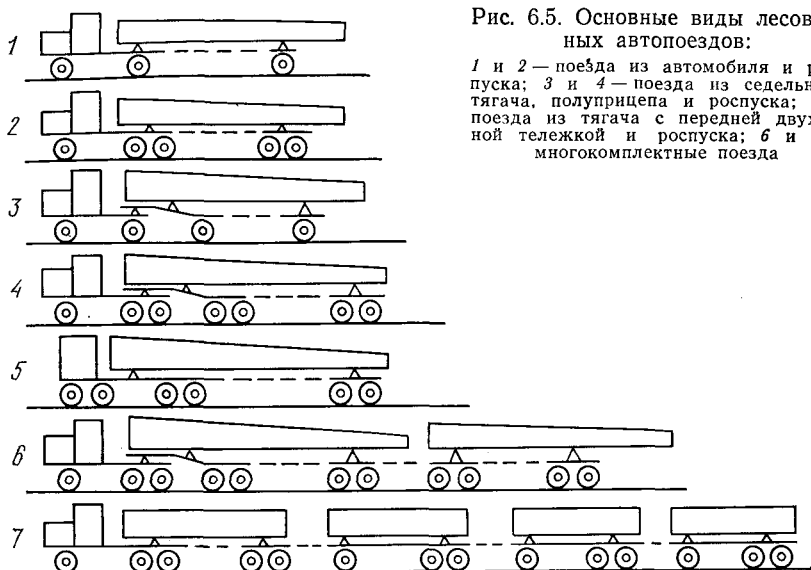


Рис. 6.5. Основные виды лесовозных автопоездов:

1 и 2 — поезда из автомобиля и ропуска; 3 и 4 — поезда из седельного тягача, полуприцепа и ропуска; 5 — поезда из тягача с передней двухосной тележкой и ропуска; 6 и 7 — многокомплектные поезда

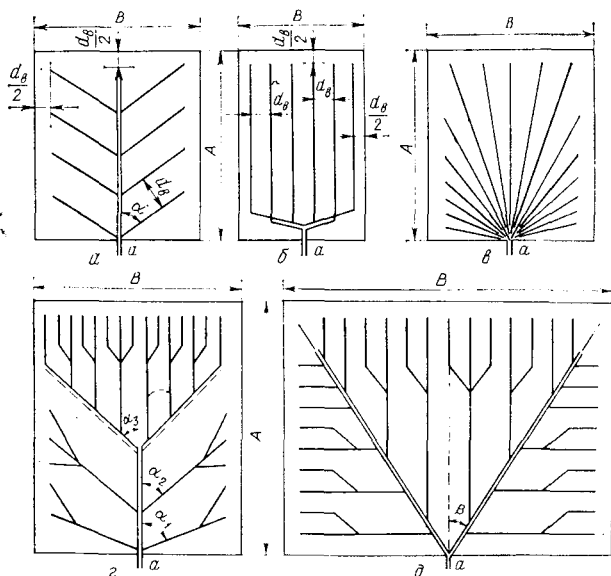


Рис. 6.6. Основные принципиальные схемы размещения лесовозных путей: а — в «елочку»; б — вилчатого типа; в — верная; г — комбинированная; д — с раздвоенной магистралью

прицепа или роспуска для обеспечения достаточно безопасного разъезда со встречными автомобилями на кривых участках пути. При наличии на лесовозной магистрали достаточно регулярного движения транспортных средств нелесовозного назначения и легковых автомобилей такого рода ограничения могут быть введены госавтоинспекцией и на ведомственных лесовозных дорогах.

Выбор принципиальной схемы размещения лесовозных дорог в лесном массиве. На рис. 6.6 представлено несколько основных принципиальных схем размещения лесовозных дорог в лесном массиве. Чаще всего пользуются схемой путей в «елочку» (рис. 6.6, а), которую можно сравнить с разветвленной речной системой. На рис. 6.6, б приведена так называемая вильчатая схема, которую используют в горной местности при укладке трасс веток на склонах гор параллельно горизонталям и для освоения небольших массивов. Для освоения крупных лесных массивов с соотношением $B/A > 1,5$ применяют схему путей с раздвоенной магистралью (рис. 6.9, д). Для большей ясности на всех схемах показаны только ветки и магистральные пути (усы не обозначены).

Основной характеристикой, определяющей качество той или иной схемы размещения путей в лесу, является средневзвешенное расстояние вывозки леса за весь период его эксплуатации, определяемое как частное от деления суммарной грузовой работы на эксплуатационный запас леса в массиве, а также удельные приведенные затраты.

Если привести площадь лесного массива, имеющего разнообразную конфигурацию границ, к равновеликому прямоугольнику, у которого A — длина лесного массива, а B — его средняя ширина ($B = S_{об} : A$, где $S_{об}$ — общая лесопокрытая площадь массива), то, пользуясь рис. 6.6, а для схемы путей в «елочку», можно получить:

длина магистрального пути

$$L_m = (X + A - 0,5d_B) k_p; \quad (6.33)$$

общая длина веток

$$\Sigma L_B = \frac{A (B - d_B) k_p}{d_B \sin \alpha} = \frac{S_{об} - A d_B}{d_B \sin \alpha}; \quad (6.34)$$

суммарное протяжение магистрали и веток в пределах лесного массива

$$\begin{aligned} \Sigma L_{п. п} = & \left[A - \frac{d_B}{2} + \frac{A (B - d_B)}{d_B \sin \alpha} \right] k_p = \left[\frac{S_{об}}{d_B \sin \alpha} + \right. \\ & \left. + \left(1 - \frac{1}{\sin \alpha} \right) A - \frac{d_B}{2} \right] k_p \cong \frac{0,95 S_{об} k_p}{d_B \sin \alpha}; \end{aligned} \quad (6.35)$$

средневзвешенное расстояние вывозки по лесному массиву в целом

$$l_{cp} = \left(X + 0,5A + \frac{B}{4 \sin \alpha} - \frac{(B - d_B) \operatorname{ctg} \alpha}{4} \right) k_p + l_{yc} = \\ = \left(X + 0,5A + \frac{B(1 - \cos \alpha)}{4 \sin \alpha} \right) k_p + l_{yc}, \quad (6.36)$$

а с учетом конкретных условий трассирования

$$l_{cp} = \left(X + 0,5A + \frac{S_{ог}(1 - \cos \alpha)}{4A \sin \alpha} k_1 k_2 k_3 \right) k_p + l_{yc}, \quad (6.36a)$$

где X — расстояние (по прямой) от нижнего склада до границы сырьевой базы; α — средний угол примыкания веток к магистральному пути, град; d_B — среднее расстояние между ветками; k_1 — коэффициент, учитывающий увеличение расстояния вывозки древесины из-за отклонения магистрали от центрального положения при трассировании; k_2 — коэффициент, учитывающий неравномерность размещения запасов древесины в пределах базы и влияние формы базы; k_3 — коэффициент, учитывающий увеличение расстояния вывозки древесины при наличии противопоточного направления отдельных веток или их участков; k_p — коэффициент развития линии при трассировании; l_{yc} — среднее расстояние вывозки по усам.

Приближенно

$$l_{cp} = (X + 0,5A + mB) k_p + l_{yc}, \quad (6.36б)$$

где m — коэффициент, равный 0,2—0,25.

Соответственно для вильчатой схемы (рис. 6.6, б) можно получить, что [13]

$$\Sigma L_{п.п} = \left[\frac{B - d_B}{\sin \alpha_1} + \frac{(A - 0,75d_B) B}{d_B} \right] k_p, \quad (6.37)$$

где

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{B - d_B}{d_B},$$

$$l_{cp} = \left(X + 0,5A - 0,25d_B + \frac{B - d_B}{4 \sin \alpha_1} \right) k_p. \quad (6.38)$$

Сравнивая значения l_{cp} по формулам (6.36) и (6.38), можно убедиться, что при освоении узких и длинных массивов при отношении $B/A < 1$ меньшее среднее расстояние вывозки будет у вильчатой сети путей, а при $B/A > 1$, наоборот, у сети путей в «елочку».

Идеальной, с точки зрения получения наименьшего среднего расстояния вывозки леса, является веерная схема путей (рис. 6.6, в), не применяемая в чистом виде в связи с получением пучка расходящихся дорог, значительная часть протяже-

ния которых (у точки a) в технологическом отношении используется нерационально.

Для веера путей на рис. 6.6, *в*

$$l_{\text{ср}} = \frac{1}{12} (\sqrt{16A^2 + B^2} + 2\sqrt{A^2 + B^2}) = \\ = \frac{1}{12A} (\sqrt{16A^4 + S_{\text{ог}}^2} + 2\sqrt{A^4 + S_{\text{ог}}^2}). \quad (6.39)$$

Лесной массив с веером линий (рис. 6.6, *в*) можно рассматривать как силовое поле тяготения лесных грузов с грузообразующей площади лесного массива в точке a — выходу лесовозной магистрали из леса. Несомненно, что чем ближе будет совпадать сеть лесовозных дорог с направлением силовых линий тяготения, тем меньше будет среднее расстояние вывозки леса по массиву в целом. Из схемы на рис. 6.6, *в* видно, что в ближайшей к точке a части массива направление силовых линий достаточно хорошо совпадают с направлениями веток, размещенных по схеме в «елочку». В отдаленной части массива лучшее совпадение направлений веток с силовыми линиями получается для вильчатой схемы. Отсюда следует сделать вывод о целесообразности применения в крупных лесных массивах комбинированной схемы размещения дорог в лесу (рис. 6.6, *г*). Такая схема обеспечивает и некоторое снижение капиталовложений на постройку дороги за счет уменьшения длины основной магистрали и широкого применения однополосных дорог без развязок с вывозкой по кольцевой схеме с использованием смежных усов, соединенных вместе (показано пунктиром на рис. 6.6, *г*). Для лесных массивов с отношением $B/A > 1,5$ лучшее совпадение грузовых силовых линий получается для схемы путей с двумя расходящимися магистралями (рис. 6.6, *д*).

Преимуществом последнего варианта является также значительное сокращение пробега по веткам, что ведет к росту средней скорости движения поездов. Применение рассматриваемой схемы путей может быть целесообразным при освоении крупных сырьевых баз (в этом случае при расположении пункта примыкания в центре базы может быть более двух магистралей, см. рис. 6.4, *в*) в случаях, когда в середине базы имеются значительные неэксплуатационные участки, при выделении в базе отдельной зоны зимней вывозки и в других случаях. Выделение в сырьевой базе дороги зон зимней вывозки весьма выгодно, так как в их пределах будет достаточной постройка лишь зимних дорог, отличающихся весьма небольшой строительной стоимостью.

Схему путей в «елочку» целесообразно применять в пересеченной местности, где она хорошо вписывается в рельеф местности, определяемый наличием развитой речной системы,

а также для освоения средних по площади лесных массивов. Выбор лучшей схемы размещения путей для конкретных условий основывается на сопоставлении удельных приведенных затрат.

Протяжение ежегодно строящихся усов для любой схемы размещения путей можно рассчитать по формуле

$$\Sigma l_{yc} = \left(\frac{Q_{лет}}{d_{лет}} + \frac{Q_{зим}}{d_{зим}} \right) \frac{k'_p}{100 \gamma_l}, \quad (6.40)$$

где $Q_{лет}$, $Q_{зим}$ — сезонные объемы летней и зимней вывозки леса, m^3 ; $d_{лет}$, $d_{зим}$ — средние расстояния между усами летнего и зимнего действия, км; γ_l — запас леса на 1 га эксплуатационной площади, m^3 ; k'_p — коэффициент развития трассы с учетом постройки поворотных колец.

Важным показателем, характеризующим обеспеченность сетью лесовозных дорог лесного массива, является удельная густота сети дорог, равная (в м/га)

$$\Delta_{уд} = \frac{1000}{100} \cdot \frac{\Sigma L_{п.п} + n \Sigma l_{yc}}{S_{эк}} = 10 \left(\frac{0,95 \beta k_p}{d_b \sin \alpha} + \frac{k'_p}{d_{yc}} \right), \quad (6.41)$$

где n — срок эксплуатации лесного массива, лет; d_{yc} — среднее расстояние между усами.

В среднем оптимальная $\Delta_{уд} = 20 \div 22$ пог. м/га для зимней зоны работы и 12—16 пог. м/га для летней.

§ 6. УСТАНОВЛЕНИЕ ОСНОВНОГО НАПРАВЛЕНИЯ МАГИСТРАЛИ В ПРЕДЕЛАХ БАЗЫ

Этот вопрос должен решаться с учетом перспективы развития дорожной сети района и местных условий, которые часто могут предопределить направление дороги. В остальных случаях широко применяют приближенный метод решения рассматриваемой задачи, заключающийся в следующем.

Сырьевую базу лесовозной дороги делят на ряд полос шириной 8—10 км, перпендикулярных общему направлению вывозки, и находят в каждой полосе точку, которая делит эксплуатационные запасы леса в полосе на две равные части. Соединяя последовательно эти точки прямыми линиями, получают так называемую экономическую трассу магистрали, которая обладает интересным свойством, заключающимся в том, что расстояние перевозки леса по веткам до этой магистрали будет минимальным.

Как показано в работе [12], перемещение экономической трассы магистрального пути в пределах каждой полосы на Δl км в любую сторону приводит к увеличению грузовой работы на $\Delta R = q \Delta l$, где q — запас леса в полосе, находящейся между старым и новым местоположением трассы магистрали, m^3 .

При неравномерном размещении запасов древесины в базе установленное этим методом направление магистрали может иметь значительные изломы, что приведет к излишнему ее удлинению. В таких случаях необходимо спрямление магистрали.

Как видно на схеме (рис. 6.7), спрямление участка магистрали ABC уменьшает ее протяжение на $L_{\text{сп}} = AB + BC - AC$.

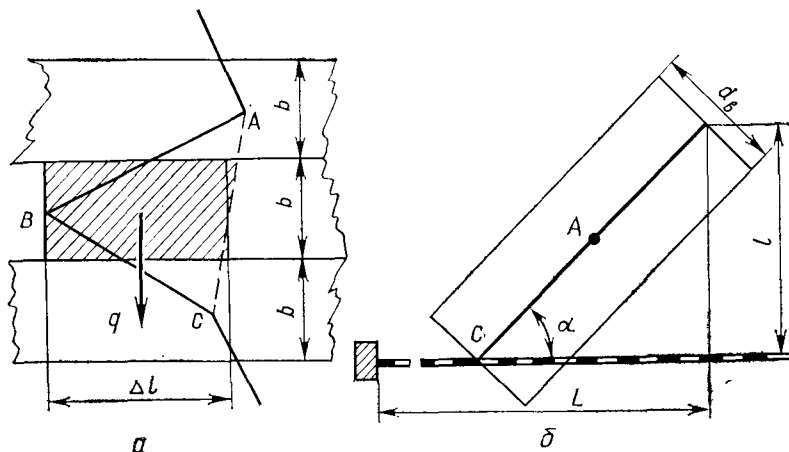


Рис. 6.7. Расчетные схемы:

a — спрямления изломанных участков магистрали; b — определения оптимального угла примыкания веток к магистрали

Целесообразность спрямления трассы определяется неравенством

$$L_{\text{сп}} C_{\text{м}} + k_{\text{м}} L_{\text{сп}} \sum_1^n \lambda_{\text{от.э}}^{\text{сум}} Q > k_{\text{в}} \Delta l q,$$

откуда

$$L_{\text{сп}} > k_{\text{в}} q \Delta l / (C_{\text{м}} + k_{\text{м}} \lambda_{\text{от.э}}^{\text{сум}} Q), \quad (6.42)$$

где $k_{\text{м}}$, $k_{\text{в}}$ — стоимость 1 м³·км пробега леса по магистрали и по ветке; $C_{\text{м}}$ — стоимость постройки 1 км магистрали, р.; Q — годовой грузооборот магистрали в месте ее спрямления, м³/год; $\lambda_{\text{от.э}}^{\text{сум}}$ — коэффициент, учитывающий разновременность эксплуатационных расходов по вывозке леса, согласно формуле (6.4) равный

$$\lambda_{\text{от.э}}^{\text{сум}} = \sum_1^n \frac{1}{(1 + E_t)^n}, \quad (6.43)$$

где n — продолжительность работы спрямленного участка, лет.

Из формулы (6.42) видно, что чем ближе к нижнему складу, тем выгоднее спрямление магистрали.

Определение оптимального угла ответвления ветки от магистрали. Из рис. 6.7, б видно, что удельные приведенные затраты на вывозку леса из точки А (центр тяжести грузов, тяготеющих к ветке)

$$S = \frac{E_n K}{Q_B} + x = \frac{E_n C_B l}{Q_B} + a + \frac{0,5 l k_B}{\sin \alpha} + \left(L - \frac{l}{\operatorname{tg} \alpha} \right) k_M + \frac{d}{Q_M},$$

где Q_B , Q_M — годовой грузооборот ветки и магистрали; k_B , k_M — стоимость вывозки 1 м³·км по ветке и магистрали.

Решая задачу на поиск минимума функции $S = f(\alpha)$, получим, что оптимальный угол примыкания ветки к магистрали

$$\alpha = \arccos \frac{k_M Q_B}{0,5 Q_B k_B + E_n C_B}. \quad (6.44)$$

Из формулы (6.44) следует, что на рис. 6.6, г необходимо, чтобы $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$.

§ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ГУСТОТЫ СЕТИ ВЕТОК И УСОВ

Определение оптимальных расстояний между ветками. Чем больше расстояние между ветками, тем меньшее протяжение веток необходимо строить, что ведет к снижению капитальных затрат на строительство и расходов по содержанию веток в исправности. С другой стороны, при увеличении расстояния между ветками возрастает длина усов, что ведет к увеличению расходов на их постройку и содержание. Возрастает и стоимость вывозки леса по усам.

Оптимальным считается такое расстояние между ветками, при котором сумма перечисленных затрат, отнесенных к 1 м³ древесины, будет минимальной.

Удельные затраты на постройку и содержание лесовозных веток применительно к схеме размещения путей «в елочку» определяются выражением (рис. 6.8)

$$p_B = \frac{\beta C_B k_p}{100 \gamma_{л d_B}} + \frac{B_B l \beta k_p}{100 D d_B \gamma_{л} / r_B \sin \alpha} = \frac{\beta k_p}{100 \gamma_{л d_B}} \left(C_B + \frac{B_B l r_B \sin \alpha}{D} \right), \quad (6.45)$$

где β — коэффициент, учитывающий прокладку веток частично по неэксплуатационным площадям ($\beta = 1,0 \div 1,2$); C_B — теряемые затраты на постройку 1 км ветки, т. е. за вычетом части стоимости материалов (например, ж.-б. плит), которые могут быть использованы повторно, р.; k_p — коэффициент развития линии; d_B — расстояние между ветками, км; $\gamma_{л}$ — ликвидный за-

пас древесины, $\text{м}^3/\text{га}$; $B_{\text{в}}$ — стоимость годового содержания и текущего ремонта 1 км ветки, р.; l — длина эксплуатируемого участка ветки, км; D — расстояние от магистрали до границы базы, км; $r_{\text{в}}$ — срок действия ветки как лесовозного пути, год; α — угол примыкания ветки к магистрали, град.

На постройку и содержание усов

$$p_{\text{ус}} = \frac{(C_{\text{ус}} + B_{\text{ус}} k_{\text{ус}}) (d_{\text{в}} - 2l_{\text{тр}}) k_{\text{р}}}{200 d_{\text{в}} l_{\text{тр}} \gamma_{\text{л}}}, \quad (6.46)$$

где $C_{\text{ус}}$ — теряемые затраты на постройку 1 км уса; $B_{\text{ус}}$ — стоимость годового содержания 1 км уса; $k_{\text{ус}}$ — коэффициент, учи-

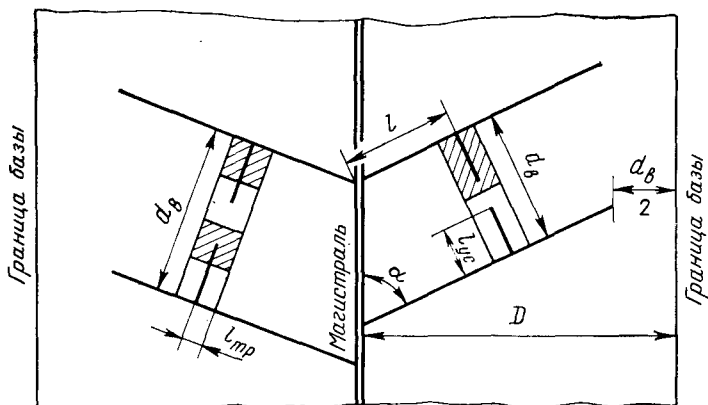


Рис. 6.8. Схема участка сети для обоснования оптимальных расстояний между ветками. Левая часть рисунка относится к случаю повторного использования уса (при сроке его службы более 1 года), правая — одноразового использования уса

тывающий повторное использование уса (см. левую сторону рис. 6.8) при вырубке тяготеющей к нему древесины в два-три приема ($k_{\text{ус}} = 1,0 \div 1,67$); $l_{\text{тр}}$ — предельное расстояние трелевки, км.

На вывозку леса по усам

$$p_{\text{вывоз}} = a_{\text{ус}} + b_{\text{ус}} l_{\text{ср}} = a_{\text{ус}} + 0,3 (d_{\text{в}} - 2l_{\text{тр}}) b_{\text{ус}} k_{\text{р}},$$

где $a_{\text{ус}}$ — постоянная (не зависящая от расстояния вывозки) часть расходов; $b_{\text{ус}}$ — переменная часть расходов по вывозке, $\text{р}/\text{м}^3 \cdot \text{км}$; $l_{\text{ср}}$ — среднее расстояние вывозки по усам; приблизительно

$$l_{\text{ср}} = 0,3 (d_{\text{в}} - 2l_{\text{тр}}) k_{\text{р}}. \quad (6.47)$$

Величину $b_{\text{ус}}$ в данном случае можно принять равной

$$b_{\text{ус}} = \frac{M t_1 k_{\text{уд}}}{(T - t_{\text{п.з}}) k_{\text{в}} Q_{\text{пол}}}, \quad (6.48)$$

где M — стоимость поезд-смены на усах (с учетом заработной платы водителей), р.; t_1 — время хода поезда на усах в обоих направлениях на 1 км, мин; $k_{уд}$ — коэффициент, учитывающий повышенный расход горючего, авторезины и т. п. на усах.

Суммируя затраты $p_c = p_v + p_{yc} + p_{выб}$ и решая задачу на нахождение минимума функции $p_c = f(d_v)$, получим оптимальное расстояние между ветками (одновременно это и ширина зоны тяготения к ветке)

$$d_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\left(C_v + \frac{l}{D} B_v r_v \sin \alpha\right) \beta - (C_{yc} + k_{yc} B_{yc})}{30 \gamma_l b_{yc}}} \quad (6.49)$$

Формула (6.49) пригодна для расчетов оптимального расстояния между ветками и при использовании других схем размещения лесовозных путей (вилчатой, с расходящимися магистралями и др.).

Если усы не строятся и трелевка леса производится непосредственно к веткам, некоторые величины, входящие в формулу (6.49), будут иметь измененные значения, а именно C_{yc} и B_{yc} — стоимость устройства и содержания 1 км магистрального тракторного волока; k_{yc} — коэффициент, учитывающий повторность применения магистральных волоков; b_{yc} — стоимость подвозки 1 м³ · км древесины при трелевке по магистральным волокам (переменная часть затрат).

При выводе формулы (6.49) было принято $C_v = \text{const}$ и $B_v = \text{const}$ на всем протяжении ветки. Правильнее будет учесть переменный характер этих величин. Дело в том, что у примыкания участок ветки работает максимально продолжительное время с наибольшим грузооборотом. В то же время в конце ветки срок ее действия и грузооборот минимальны. С учетом этого можно принять

$$\begin{aligned} C_v &= (1 - \delta) C_{v \max} + \delta C_{v \min}; \\ B_v &= B_{v \max} - 0,5 \delta (B_{v \max} - B_{v \min}), \end{aligned} \quad (6.50)$$

где $C_{v \max}$ и $C_{v \min}$ — стоимость постройки 1 км ветки у примыкания к магистрали и в конце; $B_{v \max}$ и $B_{v \min}$ — стоимость содержания и ремонта 1 км ветки в начале и конце; δ — относительное расстояние до магистрали от расчетной точки на ветке, где определяется $d_{\text{опт}}$, равное

$$\delta = \frac{l}{D} \sin \alpha. \quad (6.51)$$

Следует отметить, что значения C_{yc} и b_{yc} в формуле (6.49) также зависят от δ . Дело в том, что длина каждого уса, примыкающего к головному участку ветки, будет наибольшей, так как у магистрали $d_{\text{опт}} = \text{max}$. Общий грузооборот уса возрастает с его длиной. Соответственно должна быть большей единичная

строительная стоимость головного участка уса. Например, головной участок уса должен иметь гравийное покрытие, а его конец не иметь такого (грунтовая проезжая часть). Более совершенная проезжая часть на головном участке в свою очередь обеспечит и более высокую скорость движения лесовозных поездов. С учетом этого можно принять

$$C_{yc} = (1 - \delta) C_{yc. cp} + \delta C_{yc \min} = 0,5 (1 - \delta) (C_{yc \max} + C_{yc \min}) + \delta C_{yc \min} = 0,5 [(1 - \delta) C_{yc \max} + (1 + \delta) C_{yc \min}]. \quad (6.52)$$

В свою очередь

$$b_{yc} = \frac{2Mk_{уд}}{(T - t_{п.з}) k_B Q_{пол} v} = \frac{A}{(1 - \delta) v_{\max} - \delta v_{\min}}; \quad (6.53)$$

$$A = \frac{2Mk_{уд}}{(T - t_{п.з}) k_B Q_{пол}}, \quad (6.54)$$

где $C_{yc. cp}$ — средняя стоимость 1 км уса у примыкания (т. е. при $\delta=0$); $C_{yc \max}$ — стоимость постройки 1 км головного участка уса; $C_{yc \min}$ — стоимость постройки 1 км уса в его конце; v_{\max} — скорость движения поездов на головном участке усов; v_{\min} — скорость движения поездов на усах при $C_{yc \min}$; остальные обозначения — см. формулу (6.48).

Подставив значения C_B , B_B , C_{yc} и b_{yc} в формулу (6.49) и принимая $B_{yc} = \text{const}$, получим

$$d_{опт} = \left[\frac{(1 - \delta) v_{\max} + \delta v_{\min}}{30 \gamma_L A} \{ [C_{B \max} (1 - \delta) + \delta C_{B \min}] \beta + \right. \\ \left. + \delta r_B \beta [B_{B \max} - 0,5 \delta (B_{B \max} - B_{B \min})] - 0,5 k_{c.п} [C_{yc \max} (1 - \delta) + \right. \\ \left. + C_{yc \min} (1 + \delta)] - k_{yc} B_{yc} \} \right]^{0,5}, \quad (6.55)$$

где $k_{c.п}$ — коэффициент, введенный для учета увеличения строительной длины усов в случае их разветвления, при устройстве соединительных путей и т. п., равный 1,0—1,2.

Пользуясь формулой (6.55), можно определить оптимальную ширину зоны тяготения участка лесного массива к намечаемой ветке на любом относительном расстоянии δ от магистрали. Например, у магистрали, т. е. при $\delta=0$,

$$d'_{опт} = \left[\frac{v_{\max}}{30 \gamma_L A} \{ \beta C_{B \max} - 0,5 k_{c.п} (C_{yc \max} + C_{yc \min}) - k_{yc} B_{yc} \} \right]^{0,5}, \quad (6.55a)$$

а у границы лесного массива при $\delta=1$

$$d''_{опт} = \left[\frac{v_{\min}}{30 \gamma_L A} \{ \beta C_{B \min} + 0,5 r_B \beta (B_{B \max} + B_{B \min}) - \right. \\ \left. - k_{c.п} C_{yc \min} - k_{yc} B_{yc} \} \right]^{0,5}. \quad (6.55b)$$

Из формул (6.55a) и (6.55b) видно следующее: 1) по мере удаления от магистрали (рост величины δ) оптимальная ширина зоны тяготения к ветке уменьшается, 2) очень большое

В лесах, где предусматривается проведение лесосошительной мелиорации, желательно хотя бы частичное совмещение сети лесовозных путей и осушительных магистральных каналов и канав, что дает возможность полезного использования грунта, вынимаемого из канав для отсыпки земляного полотна дорог.

Определение оптимальных расстояний между усами. При увеличении расстояния между усами их общее протяжение, необходимое для освоения данного участка базы, уменьшается. Соответственно снижаются затраты на строительство усов и содержание их в исправности, но возрастает расстояние трелевки и ее стоимость (рис. 6.10). Оптимальным будет такое расстояние между усами, при котором суммарные затраты на постройку и содержание усов и трелевку леса, отнесенные к 1 м³ древесины, будут минимальными (точка *a* на кривой 3 рис. 6.10).

Рис. 6.10. Зависимость расходов на постройку и содержание усов (кривая 1), затрат на трелевку леса (кривая 2) и суммарных расходов (кривая 3) от расстояния между усами

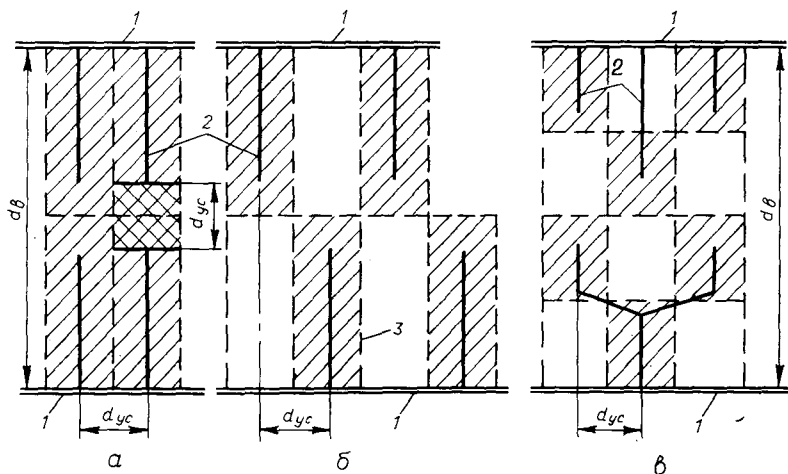
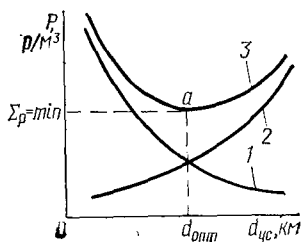


Рис. 6.11. Основные схемы рубок при промышленной эксплуатации лесов:

a — сплошные рубки без соблюдения сроков примыкания лесосек друг к другу; *б* — то же при соблюдении определенных сроков примыкания лесосек; *в* — то же, но при предельной допустимой длине лесосек меньше, чем 0,5 d_{yc} ; 1 — лесовозные ветки; 2 — усы; 3 — границы годичных лесосек. Двойной штриховкой на одной схеме отмечены участки лесосеки, в пределах которых усы не строятся. На схеме *в* показан частый применяемый вариант усов с ответвлениями при работе головного участка уса более 1-2 лет

Пользуясь расчетной схемой на рис. 6.11, а аналогично предыдущему можно получить, что суммарные затраты на указанные виды работ составляют

$$p_c = \frac{(C_{yc} + k_{yc} B_{yc}) (d_b - d_{yc}) k_{c.п} k_p}{100 \gamma_d d_b d_{yc}} + \frac{M_{тр} (\delta_1 d_{yc} k_p t' + t'')}{(T - t_{п.з}) k'_b Q'_{пол}}, \quad (6.56)$$

где $M_{тр}$ — стоимость машино-смены трелевочного трактора с учетом зарплаты водителя, р; δ_1 — коэффициент, равный отношению среднего расстояния трелевки к расстоянию между усами и зависящий от принятой схемы трелевочных волоков в пределах лесосеки ($\delta_1 = 0,25 \div 0,5$); t' — время хода трелевочного трактора на 1 км в обоих направлениях, мин; t'' — время простоев на 1 рейс в мин; $t_{п.з}$ — подготовительно-заключительное время для трактора, мин; $Q'_{пол}$ — полезная нагрузка трактора, м³. Остальные обозначения см. в формулах (6.46) и рис. 6.11.

Взяв первую производную от $p_c = f(d_{yc})$ и решая задачу на нахождение экстремумов функций, можно получить, что оптимальное расстояние между усами

$$|d_{yc}|_{опт} = \sqrt{\frac{(C_{yc} + k_{yc} B_{yc}) k_{c.п}}{100 \gamma_d \delta_1 b_{тр}}}, \quad (6.57)$$

где $b_{тр}$ — переменная часть расходов на трелевку леса [см. формулу (6.48)], руб/(м³ · км).

Формулой (6.57) можно пользоваться и при работе на лесосеках валочно-пакетирующих (ВПМ) и валочно-трелевочных (ВТМ) машин. В последнем случае следует принимать $\delta_1 = 0,5$ и $k_{c.п} = 1$ (при прокладке усов на лесосеке в виде кольца). Для ВТМ значение $b_{тр}$ получается значительным, а величина d_{yc} снижается до 0,5—0,6 км.

Вопросами определения оптимальных расстояний между усами занимались многие ученые: С. А. Сыромятников, М. М. Корунов (СССР), Мэтьюз (США) и др. Принимаемое в проекте расстояние между усами должно быть не более предельной ширины лесосеки, установленной правилами рубок для различных групп лесов и районов страны (0,5—1 км в лесах 3-й группы и 100—250 м — 1 и 2-й групп). Зная оптимальные расстояния между ветками d_b и между усами d_{yc} , можно найти размеры оптимальной грузообразующей площади, тяготеющей к данному усу (в га),

$$F_{опт} = 50 d_b d_{yc}. \quad (6.58)$$

Установление последовательности освоения лесного массива. Известны две основные схемы: 1) с постепенным продвижением лесозаготовок в глубь лесного массива, когда в первую очередь строится лишь небольшое протяжение магистрали, необходимое для обеспечения вывозки леса в течение 5—6 лет и 2) так называемая глубинная схема, при которой магистраль

строят сразу на всю длину или при очень большой длине до вахтового поселка.

Глубинная схема обладает рядом преимуществ, в частности, она обеспечивает:

концентрацию объемов строительного-монтажных работ, достаточную для эффективной работы подрядной строительной организации, оснащенной современной мощной дорожно-строительной техникой;

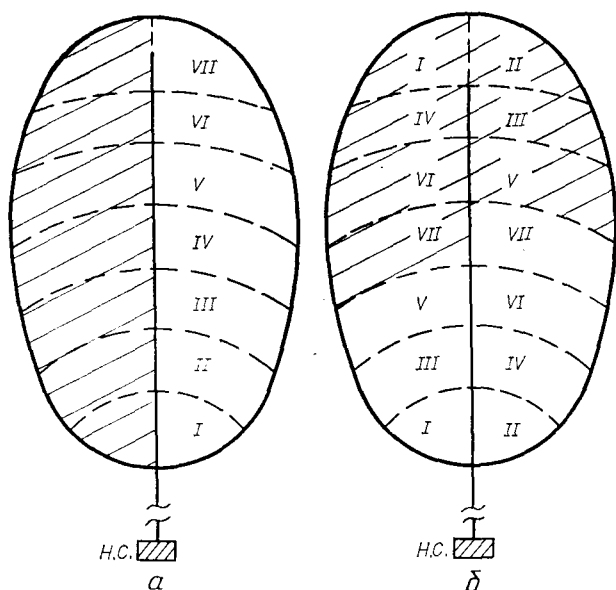


Рис. 6.12. Последовательность освоения лесного массива:

а — с постепенным продвижением лесозаготовок в глубь массива; б — с применением глубинной схемы. Заштрихованы участки леса, осваиваемые дорогами зимнего действия. Римскими цифрами обозначена очередность освоения участков лесного массива

некоторое снижение капиталовложений за счет применения прогрессивной технологии строительства и высокопроизводительных машин, возможно также удаленную часть магистрали запроектировать как дорогу зимнего действия (рис. 6.12);

возможность применения наиболее совершенных дорожных конструкций, осуществление которых при строительстве магистрали многими очередями, по несколько километров в один прием, хозяйственным способом, практически неосуществимо;

возможность применения вахтового метода работы начиная с первых лет работы предприятия;

широкое маневрирование лесосечным фондом и подбор лесосек в соответствии с плановым заданием;

лучшую сохранность лесосырьевой базы от пожаров и вредителей;

стабилизацию расстояния вывозки леса в течение всего периода эксплуатации лесного массива.

Единственный недостаток глубинной схемы — повышенные капитальные затраты на первую очередь строительства лесовозной дороги, который в последующем перекрывается перечисленными выше преимуществами.

Особенности размещения лесных дорог в комплексных предприятиях с неистощительным лесопользованием. Одной из особенностей работы таких предприятий являются разбросанность мест рубок на значительной территории лесного массива и сравнительно небольшие объемы лесных грузов, предъявляемых для вывозки в каждой точке, где ведутся лесозаготовки. Другой особенностью является интенсивное лесное хозяйство с появлением на лесных дорогах таких грузов, как машины и орудия лесного хозяйства, горючее и смазочные для них, перевозка рабочих, семян, саженцев, сена, ягод, грибов и др.

В связи с указанным дороги комплексных предприятий следует разделить на две группы: лесохозяйственные, обслуживающие участки леса, где не ведутся рубки главного пользования, и лесовозно-лесохозяйственные (основная часть протяжения лесных дорог в предприятии). При концентрированных рубках отдельных участков может возникнуть потребность в лесовозных дорогах.

Принципы размещения лесохозяйственных и лесовознолесохозяйственных дорог изложены в работе [14].

Охрана окружающей среды. При проектировании лесозаготовительных предприятий необходимые мероприятия по охране окружающей среды должны быть предусмотрены в проектах и сметной документации. Лесовозные дороги сами по себе являются важным фактором, обеспечивающим сохранность лесов от пожаров и вредителей, так как они обеспечивают возможность быстрой доставки соответствующего оборудования и персонала в район, где создалась опасная для леса ситуация. Кроме того, путь лесовозной дороги является препятствием для распространения низового пожара в лесу (кроме лежневых покрытий).

В проектах лесовозных дорог и ЛЗП в целом должны быть предусмотрены: рекультивация резервов и карьеров, снятие гумусного слоя перед началом земляных работ, его складирование и дальнейшее использование для культивации или для приведения неудобных земель взамен отводимых под дорогу в сельскохозяйственные угодья, размещение производственных зданий и линейных сооружений на неудобных для сельскохозяйственного использования землях. При пересечениях болот необходимо проверить наличие тока воды на пересекаемом участке и в этом случае предусмотреть постройку водопропускного сооружения во избежание заболачивания леса с верховой стороны. При размещении зданий, мастерских, гаражей, депо, складов горючего

необходимо предусмотреть отвод загрязненных нефтепродуктами стоков в безопасное место или соответствующие очистительные сооружения.

§ 8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Конечной целью проектирования является отыскание наилучшего (оптимального) варианта, его техническая разработка и технико-экономическая оценка. Современное развитие вычислительной техники обеспечило реальную возможность широкого применения ЭВМ в проектном деле не только для снижения трудоемкости и ускорения разного рода подсчетов (например, при определении объемов земляных работ, составлении сметной документации и т. д.), но, и это самое главное, — для поиска оптимальных решений с одновременной автоматизацией проектной работы.

В лесной промышленности активную работу по автоматизации проектирования с применением ЭВМ ведут КарНИИЛП (г. Петрозаводск), отдел математических методов Карельского филиала АН СССР, Гипролестранс, ЛТА им. С. М. Кирова и др. В области автоматизации проектирования дорог общего пользования широко известны работы ЦНИИСа, Союздорнии, КИСИ и др.

Важнейшими направлениями автоматизации проектирования лесовозных дорог являются:

- разработка схемы транспортного освоения лесных массивов с размещением в них дорожной сети;

- оптимизация трасс лесовозных дорог по заданным генеральным направлениям;

- назначение проектной линии продольного профиля;

- тяговые и эксплуатационные расчеты, проектирование водопропускных сооружений и другие.

К настоящему времени наиболее разработан вопрос автоматизации и проектирования продольного профиля лесовозной дороги по готовым материалам изысканий [8]. Созданная в КарНИИЛПе система автоматизированного проектирования лесовозных дорог САПАД-2 позволяет комплексно решить ряд важнейших задач проектирования, в частности: оптимизацию положения проектной линии, расчет вертикальных кривых, проектных и рабочих отметок, расчет объемов земляных работ, распределение земляных масс, выбор типа землеройной машины, расчет нежесткой дорожной одежды, расчет скоростей движения, времени хода, расхода горючего и определить стоимость земляного полотна и дорожной одежды. Система позволяет получить готовый чертеж продольного профиля и ведомости объемов работ. Она разработана для ЭВМ «Минск-32» и закончено ее программирование для ЭВМ типа ЕС. Оптимизация проек-

ной линии и других элементов проекта выполняется ЭВМ по критерию минимума приведенных затрат. Программой предусмотрен режим корректировки, позволяющей ввести изменения в рассмотренный вариант проектной линии с учетом особых условий, не предусмотренных программой. На проектирование 1 км дороги тратится около 10—12 мин. При разработке алгоритма и программ системы были использованы методы динамического программирования, в частности метод «пульсирующей» оптимизации (Р. А. Сюкияйнен). Широкая проверка программы САПАД-2 показала, что машинное проектирование проектной линии дает снижение удельных приведенных затрат по земельному полотну в среднем на 6—7 %.

КарНИИЛПом совместно с Карельским филиалом АН СССР разработана система программ «Сеть» для проектирования размещения лесовозных дорог в лесных массивах в условиях равнинной местности. Программы составлены для ЭВМ «Минск-22М» и «Минск-32».

Многообразие факторов, влияющих на структуру, конфигурацию и густоту сети, делает задачу разработки оптимальной сети дорог весьма сложной. В связи с этим при разработке системы было введено несколько допущений, в частности:

лесной массив, тяготеющий к дороге, разбивается на кварталы и весь запас леса в квартале считается сосредоточенным в центре квартала, в одной точке;

стоимость строительства 1 км пути не определяется, а задается в исходных данных, хотя она, несомненно, является переменной величиной, даже в пределах каждого вида пути (магистраль, ветки, усы);

себестоимость пробега леса (в $\text{р/м}^3 \cdot \text{км}$) также не определяется, а задается как исходная величина;

рельеф местности при размещении сети дорог практически не учитывается (вводятся в исходные данные субъективно назначаемый коэффициент удорожания строительства и эксплуатационных расходов);

положения развилок дорог (пунктов примыкания веток к магистралям и усов к веткам) не оптимизируются.

В связи с указанным, применение программы «Сеть» полезно в основном лишь для приближенного решения задачи и корректировок схем размещения сетей лесовозных дорог, разработанных вручную.

Трассирование дорог по карте или аэрофотоснимкам является одной из наиболее сложных задач автоматизации проектирования. Поиск оптимального положения трассы требует детальной информации о размещении запасов леса, очередности их освоения, рельефе местности, ее почвенно-грунтовых и гидрологических условиях. Для учета рельефа местности необходимо располагать ее цифровой моделью (ЦММ). Для уменьшения необходимой оперативной памяти ЭВМ предложена ЦММ

по характерным точкам рельефа (рис. 6.13, а). При этом рельеф отображается треугольниками, на которые разбивается местность, построенными на базе характерных точек, являющихся их вершинами. Весьма экономна по объему исходной информации ЦММ, основой которой является координатная ось, проложенная примерно посредине полосы, в которой пройдет трасса дороги и разделенная точками на ряд равных интервалов. В каждой точке восстанавливаются перпендикуляры, на кото-

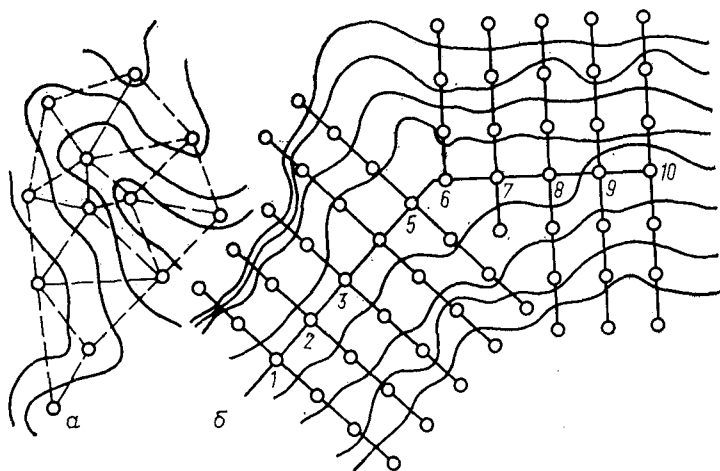


Рис. 6.13. Цифровые модели местности:

а — по характерным точкам рельефа; б — с координатной осью (ломаная линия) и поперечниками

рых фиксируются характерные точки рельефа (рис. 6.13, б). Вопросы автоматизации трассирования дорог общего пользования разрабатываются Союздорнии, ЦНИИСом с участием других НИИ (так называемая система АСТРА). Из других задач, решаемых при проектировании дорог, хорошо отработаны: методы оптимизации нежестких дорожных одежд [35, 44] и дорожных железобетонных плит; выполнение тягово-эксплуатационных расчетов на ж.-д. транспорте [7], проектирование водопропускных сооружений и составление сметной документации.

Глава 7 ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫВОЗКИ ЛЕСА

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫВОЗКИ ЛЕСА И ГРАФИКИ ДВИЖЕНИЯ

Вывозка леса должна быть тесно увязана с работой других звеньев лесозаготовительного производства. Особое значение имеют отделы (службы) подготовки производства предприятий,

обеспечивающие выполнение ремонта существующей сети дорог и постройку (удлинение) технологических лесовозных путей (веток и усов).

Для бесперебойной работы необходимо, чтобы к погрузочным пунктам лесовозной дороги ежедневно средствами трелевки доставлялось достаточное количество леса — не меньше суточного объема вывозки (если на погрузочных пунктах не был заблаговременно создан запас леса).

Весьма эффективной является организация экипажной вывозки леса автопоездами (Комилеспром), при которой за каждым автомобилем закрепляют экипаж из 3 шоферов, работающих по общему путевому листу. В течение недели каждый водитель работает пять семичасовых смен на вывозке и одну смену на профилактике. В день профилактики все 3 шофера за одну смену проводят технические обслуживания № 1 и 2.

В Сибири («Тобольсклес» и другие объединения) внедрена подрядная форма организации труда на погрузке и вывозке леса, дающая большой эффект (150—165 % выполнения планового задания). Укрупненные подрядные бригады (20—30 чел.) работают по единому наряду. За ними закрепляют необходимое количество машин (6—10 автомобилей с прицепным составом, 1—2 погрузчика, передвижную РММ и др.). Бригадная и экипажная форма организации труда обеспечивают повышение требовательности рабочих друг к другу и развивают взаимопомощь. Водители и машинисты погрузчиков чувствуют себя хозяевами производства, не допускают потерь рабочего времени, небрежного отношения к технике, неэкономного расходования материалов, горючего и пр.

Затраты времени на погрузку и разгрузку лесовозного подвижного состава оказывают большое влияние на производительность тяговых машин на вывозке. Поэтому при вывозке леса седельными автотягачами или по железным дорогам узкой колеи используют сменные составы (комплекты прицепного состава).

На автомобильных дорогах, прибыв на пункт погрузки, автомобиль оставляет привезенный порожняк и забирает груженный состав, с которым отправляется на нижний склад, где ожидает выполнения разгрузки, занимающей немного времени. На железных дорогах колеи 750 мм обмен порожнего состава на груженный, как правило, выполняют на формировочных пунктах (временных разъездах с 2 путями), где формируют поезда расчетной массы из отдельных сцепов, погруженных на усах и доставленных на формировочный пункт маневровыми локомотивами.

На нижнем складе обмен груженных составов и порожняка, как правило, выполняют на центральной станции, на которую подача разгруженных сцепов с нижнего склада и подача на последний груженных также выполняются маневровым локомоти-

вом. Лишь при малом грузообороте дороги маневровые операции выполняются линейными локомотивами.

В равнинной местности при $i_p \leq 40\%$ целесообразно переходить на вывозку леса двухкомплектными поездами, состоящими из автомобиля с роспуском плюс прицеп, состоящий из двух роспусков, на который грузят второй пакет хлыстов. Поставочные машины на дорогах с двухкомплектной вывозкой не допускаются.

При вывозке леса по дорогам общего пользования необходимо соблюдение требований правил дорожного движения [45], согласно которым длина поезда должна быть не более 20—24 м, а задний свес хлыстов не выходил бы за габарит роспуска более чем на 2 м, что вызывает неполное использование грузоподъемности роспуска. В этом случае выгоднее переходить на вывозку полухлыстов.

Организацией взаимно увязанной работы лесовозной дороги, пунктов погрузки и разгрузки леса занимаются работники диспетчерской службы. Диспетчеры в своей работе руководствуются плановым (директивным) графиком или расписанием движения поездов, который утверждает директор леспромхоза. Он является обязательным для всех работников ЛЗП.

Диспетчер за время дежурства обязан обеспечить выполнение суточного (сменного) плана вывозки, своевременную доставку рабочих в лес и обратно. Он подчиняется непосредственно начальнику дороги или лесопункта и имеет право давать все распоряжения, обеспечивающие выполнение плана вывозки, обязательные для всех работников, связанных с вывозкой, погрузкой и разгрузкой леса. В распоряжении диспетчера должна находиться надежная телефонная или радиосвязь со всеми пунктами погрузки и разгрузки леса. Крайне желательна радиосвязь с водителями лесовозных автомобилей (локомотивов). На лесовозных однопутных железных дорогах четкая организация работы диспетчерской службы имеет особое значение (см. главу 13).

Движение поездов организуют по заранее составленному расписанию в виде суточного графика движения поездов, который вычерчивают на специальной сетке в координатах времени (горизонтальная ось) и пути (вертикальная ось). На графике движения каждая горизонтальная линия соответствует положению остановочного пункта (станции, разъезда или пункта погрузки).

Координаты движения поезда изменяются одновременно и поэтому движение поездов изображается на графике наклонными линиями (рис. 7.1). Тангенс угла наклона этих линий к горизонтальной оси в принятом масштабе представляет собой скорость движения поезда на рассматриваемом участке дороги, т. е. $\operatorname{tg} \alpha = L/t = v$. На двухпутных дорогах встречные поезда могут разъехаться в любом месте, а на однопутных дорогах — только

на разъездах. Число одновременно работающих погрузочных пунктов определяют по формуле

$$m = \frac{Q_c}{zq_{\text{пог}}}, \quad (7.1)$$

где z — число смен работы погрузчика; $q_{\text{пог}}$ — средняя производительность погрузчика в смену; Q_c — суточный объем погрузки.

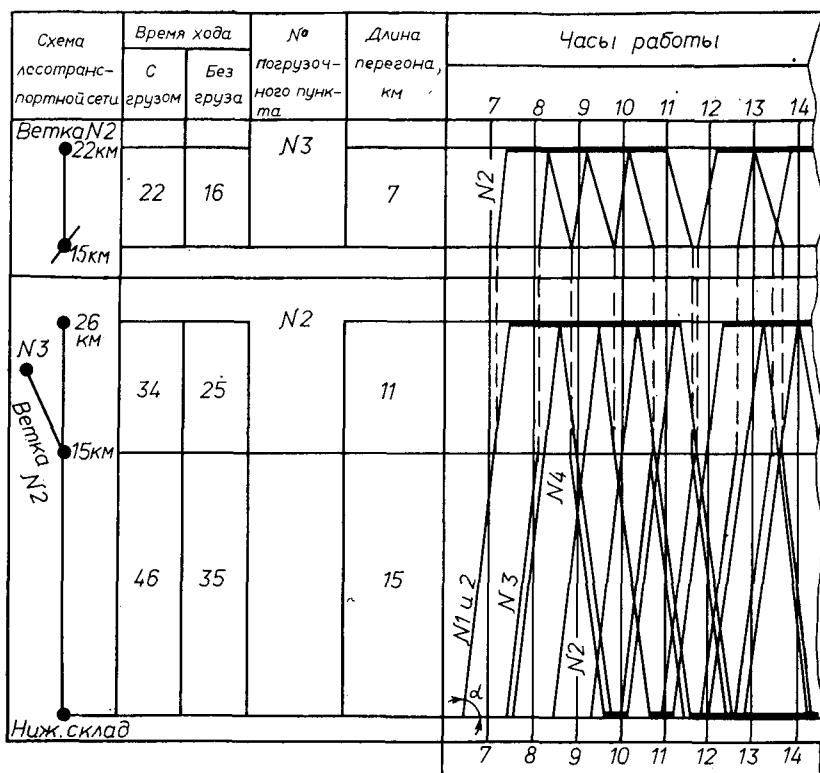


Рис. 7.1. График движения лесовозных автопоездов

Для бесперебойной работы погрузочных машин интервалы между отправлением поездов принимают равными суммарной затрате времени на установку поезда под погрузку (с учетом поездки на ближайшее поворотное кольцо) и на погрузку.

Графики движения поездов позволяют уточнить требуемую численность тягового (линейных и маневровых локомотивов) и прицепного состава; составить графики погрузки, разгрузки и разделки леса; установить необходимое число путей на погрузочных и формировочных пунктах, нижнем складе, отдельных пунктах и т. д.; составить графики работы депо, ремонтных мастерских, оборота тягового и прицепного состава.

§ 2. ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Работа лесовозных дорог организуется в соответствии с действующими Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) лесовозных автомобильных [46] и узкоколейных железных дорог [67]. ПТЭ определяют систему организации движения поездов, содержание путевых устройств и порядок работы дорожных работников, обеспечивающих содержание лесовозных дорог в исправном состоянии и безопасность движения поездов. В ПТЭ изложены общие принципы организации транспорта леса на предприятиях лесной промышленности, состав и периодичность работ; организация дорожной службы; техническое оснащение для содержания и ремонта пути и постройки усов; правила приемки и технического контроля дорожных работ; организация и состав работ по содержанию и ремонту основных путей, устройству и содержанию временных дорог, а также требования к тяговому и прицепному составу и их содержанию.

Успех выполнения плана вывозки леса в значительной степени зависит от правильной эксплуатации лесовозных дорог. Поэтому в ПТЭ четко определены требования к пунктам погрузки и разгрузки, сигнализации и связи, порядок вождения поездов с учетом местных условий и правила перевозки рабочих. В ПТЭ лесовозных железных дорог колеи 750 мм, наряду с изложением общих положений и требований по организации вывозки леса, содержанию и ремонту дороги в исправности, приведен целый ряд специфических требований и правил, отражающих особенности эксплуатации дорог, имеющих рельсовый путь, в частности размеры и нормы содержания верхнего строения пути и стрелочных переводов, нормы габаритов подвижного состава и приближения строений пути, виды и правила сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), требования к подвижному составу, комплектованию составов поездов и организации движения.

При комплектовании поездов на узкоколейных железных дорогах в состав поезда включают необходимое число тормозных сцепов (вагонов). Хлысты на сцепы необходимо грузить двумя полупакетами, укладывая их комлями в разные стороны.

§ 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОДОВОГО ОБЪЕМА ВЫВОЗКИ ЛЕСА ПО СЕЗОНАМ ГОДА

При решении этой задачи целесообразно обеспечить равномерное использование парка лесовозных машин в течение года. Исходя из этого положения, количество леса, вывозимого в зимний период $Q_{\text{зим}}$, можно найти из равенства

$$\frac{Q_{\text{зим}}}{T_{\text{зим}} P_{\text{зим}}} = \frac{Q_{\text{г}} - Q_{\text{зим}}}{T_{\text{лет}} P_{\text{лет}}} + N_{\text{р}},$$

откуда

$$Q_{\text{зим}} = \frac{(Q_{\text{г}} + T_{\text{лет}} P_{\text{лет}} N_{\text{р}}) T_{\text{зим}} P_{\text{зим}}}{T_{\text{лет}} P_{\text{лет}} + T_{\text{зим}} P_{\text{зим}}}, \quad (7.2)$$

где $Q_{\text{г}}$ — годовой грузооборот дороги, м³; $T_{\text{зим}}$, $T_{\text{лет}}$ — расчетные зимний и летний периоды работы, сутки; $P_{\text{зим}}$, $P_{\text{лет}}$ — производительность лесовозного тягача зимой и летом, сутки; $N_{\text{р}}$ — среднесуточное количество лесовозных тягачей, отвлекаемое летом на другие работы и находящееся в капитальном ремонте.

§ 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ТЯГОВОМ И ПРИЦЕПНОМ СОСТАВЕ И В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Инвентарное (списочное) число тяговых единиц, необходимых для выполнения заданного объема вывозки леса, составляет

$$N_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{г}} k_{\text{н}}}{T_{\text{г}} P m} \left(\frac{1}{\mu_{\text{т.г}}} + \delta \right), \quad (7.3)$$

где $Q_{\text{г}}$ — годовой (сезонный) грузооборот дороги, м³; $k_{\text{н}}$ — коэффициент неравномерности вывозки леса в течение года (сезона) ($k_{\text{н}} = 1,1 \div 1,2$); $T_{\text{г}}$ — число рабочих дней в году (сезоне); P — производительность тягача в смену, м³; m — число смен работы дороги в сутки; $\mu_{\text{т.г}}$ — коэффициент технической готовности лесовозных автомобилей (при работе в две смены равен 0,80, в одну смену 0,85); δ — коэффициент, учитывающий потребность в резервных автомобилях ($\delta = 0,17$, для локомотивов $\delta = 0$, см. ниже).

Требуемое списочное количество прицепного состава при вывозке автомобилями определяется из условия

$$N_{\text{пр}} = Q_{\text{г}} k_{\text{н}} z / T_{\text{г}} P m \mu_{\text{т.г}}, \quad (7.4)$$

где z — потребное количество комплектов прицепного состава на один работающий тягач (при вывозке леса сменными составами $z = 1,7 \div 2,0$ и в остальных случаях 1).

Списочное число локомотивов

$$N_{\text{л}} = N_{\text{в}} + N_{\text{м}} / \mu_{\text{т.г}} + N_{\text{р}}, \quad (7.5)$$

где $N_{\text{м}}$ — число маневровых локомотивов: на нижнем складе один, в лесу один на каждый формировочный пункт (с проверкой возможности обслуживания двух формировочных пунктов одним локомотивом); $N_{\text{р}}$ — число резервных локомотивов (1—2).

Списочное количество лесовозных сцепов

$$N_{\text{сц}} = Q_{\text{с}} T_{\text{об}} k_{\text{н}} k_{\text{рем}} / q_{\text{н}}, \quad (7.6)$$

где $Q_{\text{с}}$ — суточный грузооборот дороги, м³; $k_{\text{рем}}$ — коэффициент запаса для учета простоя сцепов в ремонте (1,1—1,15); $q_{\text{н}}$ — грузоподъемность сцепа, м³; $T_{\text{об}}$ — время оборота сцепа, сутки (0,8—1,1).

Время оборота $T_{\text{об}}$ зависит от расстояния вывозки, величины простоев на погрузке, разгрузке и на разъездах и более точно может быть определено по нормам [21].

Годовую потребность в топливе для лесовозных автопоездов определяют по формуле

$$Q_{\text{гор}} = \left[(q_1 + q_2 Q_{\text{пр}}) \frac{L_0}{100} + q_2 \frac{R_0}{100} \right] \gamma_1 k_1 k_2 k_3, \quad (7.7)'$$

где q_1 — норма расхода на 100 км пробега, л; для МАЗ-509 она составляет 35 л, КраЗ-255 50 л, ЗИЛ-130 40 л и ЗИЛ-131 48 л; q_2 — норма расхода на

каждые 100 т·км транспортной (грузовой) работы (для автомобилей с дизельным двигателем 1,5 л и с карбюраторным двигателем 2,5 л); $Q_{пр}$ — масса прицепного состава без груза, т; R_0 — грузовая работа дороги, ткм/год; γ_t — плотность топлива, кг/л; k_1 — коэффициент, учитывающий дополнительный расход топлива на гаражные нужды (1,01); k_2 — коэффициент, учитывающий дополнительный расход топлива при вывозке древесины по усам и при работе в зимнее время (в среднем 1,05÷1,08); k_3 — коэффициент, учитывающий дополнительный расход топлива при вывозке деревьев (1,11—1,25); L_0 — общий пробег лесовозных автопоездов за год, км;

$$L_0 = (2l_{cp} + l_n) \frac{Q_r}{Q_{пол}}, \quad (7.8)$$

где l_n — дополнительный («нулевой») пробег за один рейс на нижнем складе и погрузочном пункте (в гараж, на заправку топливом, поворотное кольцо и т. п.), км.

При работе автомобилей в горных районах при отметке над уровнем моря более 1500 м расход топлива увеличивается на 9 %.

Годовая потребность в топливе для пассажирских и хозяйственных перевозок, дорожных машин и пр. определяется по нормам [21] и составляет в среднем от 90 до 120 т на 100 тыс. м³ вывезенного леса.

Потребность в смазочных материалах на автомобильных дорогах составляет: автола 3,5 % от расхода бензина; дизельного масла 5 % от расхода дизельного топлива; нигрола 1,0 %, солидола 1,5 % и керосина 1,5 % от всего расхода топлива (бензина и дизельного).

Общую годовую потребность в авторезине определяют исходя из общего пробега шин за год и нормы пробега шин до полного износа.

Ориентировочный расчет суточной нормы расхода дизельного топлива тепловозом выполняется по формуле

$$Q_{гор} = T_{ч} N_e k_m k'_m g k_{ув}, \quad (7.9)$$

где $T_{ч}$ — время работы тепловоза, ч; N_e — номинальная мощность двигателя, кВт; k_m — средний коэффициент использования мощности двигателя во время работы ($k_m = 0,6 \div 0,7$); k'_m — коэффициент использования дизеля по времени (0,8—0,9); g — удельный расход топлива, кг/кВт·ч; $k_{ув}$ — коэффициент увеличения удельного расхода топлива при неполном использовании мощности двигателя ($k_{ув} = 1,05 \div 1,15$).

Для тепловозов ТУ-7 можно принимать удельный расход топлива 3 т на 100 тыс. м³·км [21]. Расход смазочного масла для двигателей определяется в зависимости от расхода горючего согласно нормам [21].

Раздел II

ЛЕСОВОЗНЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

Глава 8

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Общий принцип построения норм проектирования дорог заключается в том, что при большом объеме перевозок следует стремиться к всемерному снижению стоимости перевозок, идя ради этого на увеличение капитальных вложений, так как при этом может быть обеспечено получение минимума приведенных затрат [см. формулу (6.2)]. Нормы проектирования дорог различного назначения построены на основе четкой их классификации по объему перевозок или интенсивности движения.

В СНиП II-Д.5-72 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» принята следующая классификация автомобильных дорог страны: I—III категории — дороги государственного или республиканского значения с интенсивностью движения свыше 1000 авт/сутки в обоих направлениях, IV категория — дороги областного или районного значения с интенсивностью от 200 до 1000 авт/сутки и V категория — дороги местного значения, внутрипромысловые, постоянные внутренние дороги совхозов и колхозов и пр. с интенсивностью менее 200 авт/сутки.

В классификации, кроме того, выделены две категории подъездных путей промышленных предприятий с грузооборотом более 1 млн. т/год (III категория) и менее 1 млн. т/год (IV категория). В нормах СНиП II-Д.5-72 есть указание, что они не распространяются на лесовозные дороги лесозаготовительных предприятий. В соответствии с этим проектирование и строительство лесовозных дорог в нашей стране выполняется на основе норм проектирования, разработанных Гипролестрансом и приведенных в инструкции по проектированию лесозаготовительных предприятий — ИПЛЗП-82 [17].

В этой инструкции принята классификация лесовозных автомобильных дорог с разделением их на магистральные пути, ветки и усы, причем в зависимости от годового грузооборота предусматриваются четыре категории магистральных путей (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Показатели	Нормы проектирования					
	для магистралей категории				для веток	для усов
	III	IVA	IVB	V		
Годовой грузооборот, тыс. м ³	>1000	501—1000	201—500	≤200	—	—
Расчетные скорости, км/ч:						
м/с						
основные	70 19,4	60 16,7	50 13,9	40 11,1	30 8,3	20 5,6
допускаемые на труд- ных участках:						
пересеченной мест- ности	60 16,7	50 13,9	40 11,1	30 8,3	20 5,6	15 4,2
горной местности	40 11,1	40 11,1	30 8,3	20 5,6	15 4,2	10 2,8
Ширина земляного по- лотно, м:						
в равнинной и пере- сеченной местности	12,0	10,5	8,5	5,5	5,0	4,5
при горном рельефе	10,5	9,0	8,5	5,0	4,5	4,0
Ширина проезжей час- ти, м:						
в равнинной и пере- сеченной местности	8,0	7,5	6,5	3,5	3,5	3,5
при горном рельефе	7,5	7,0	6,5	3,5	3,5	3,0
Число полос движения	2	2	2	1	1	1
Минимальный радиус кривых при вывозке хлыстов, м:						
основной	200	125	100	60	50	30
допускаемый на труд- ных участках:						
в пересеченной мест- ности	125	100	60	50	40	30
в горной местности	60	60	50	40	30	30
Расчетное расстояние видимости препятствий, м:						
основное	150	125	100	75	50	30
допускаемое на труд- ных участках:						
пересеченной мест- ности	125	100	75	50	30	25
горной местности	75	75	50	30	25	20
Наибольшая допусти- мая величина руководя- щего подъема, ‰:						
равнинный рельеф	30	30	30	40	Как на ма- гистралах	
пересеченный	50	50	50	60		
горный	80	80	80	90		

Показатели	Нормы проектирования					
	для магистралей категории				для веток	для усов
	III	IVA	IVB	V		
Наименьшие радиусы вертикальных кривых, м:						
выпуклых: основные	5000	4000	2500	1200	600	250
на трудных участках:						
пересеченной местности	4000	2500	1200	600	250	150
горной местности	1200	1200	600	250	150	100
вогнутых: основные	2000	1500	1200	1000	600	250
на трудных участках:						
пересеченной местности	1500	1200	1000	600	250	150
горной местности	1000	1000	600	250	150	100
допускаемых в исключительных случаях:						
на пересеченной местности	600	300	300	200	100	100
на горной местности	300	200	200	100	100	100

Примечания. 1. К трудным участкам пересеченной местности относится рельеф, состоящий из часто чередующихся глубоких долин с различной отметкой долин и водоразделов более 50 м на расстоянии не более 0,5 км. К трудным участкам горной местности относятся участки перевалов через горные хребты и участки горных ушей.

2. Для автомобилей с габаритной шириной (с учетом коников) более 2,75 м ширина земляного полотна и проезжей части может быть увеличена на 0,5—1,0 м согласно расчету по формуле (8.54). Для дорог с колеиным ж.-б покрытием однополосную дорогу можно проектировать при грузообороте до 300 тыс. м³/год.

3. Ветки с грузооборотом более 200 тыс. м³/год и сроке действия более 10 лет проектируются по нормам IVB категории, магистрали со сроком действия менее 10 лет с грузооборотом до 300 тыс. м³/год проектируются по нормам для веток.

4. На правых поворотах в грузовом направлении радиусы кривых менее 100 м не допускаются.

Практика показывает целесообразность разделения веток на два класса: 1) ветки постоянного действия и 2) ветки кратковременного действия (не более 6—8 лет); и усов также на два класса: 1) усы 2—3-летнего действия и 2) усы со сроком действия не более 1 года. В зависимости от продолжительности работы в течение года лесовозные автомобильные дороги делятся на круглогодичные и сезонные, в том числе летние ветки и усы, работающие только в неморозный период, и зимние дороги—магистрали, ветки и усы, работающие только зимой.

Движение по дорогам круглогодичного и летнего действия гусеничных машин не допускается. Трелевочные гусеничные тракторы, экскаваторы и др. нужно перевозить на трейлерах.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Эффективность работы лесотранспорта в большой степени зависит от правильного установления основных параметров дороги: расчетной скорости и, как следствие, расчетного расстояния видимости; расчетных нагрузок на ось и количества полос движения.

Расчетная скорость является одним из важнейших проектных параметров. Под этим термином подразумевается максимальная безопасная скорость движения автомобилей, ко-

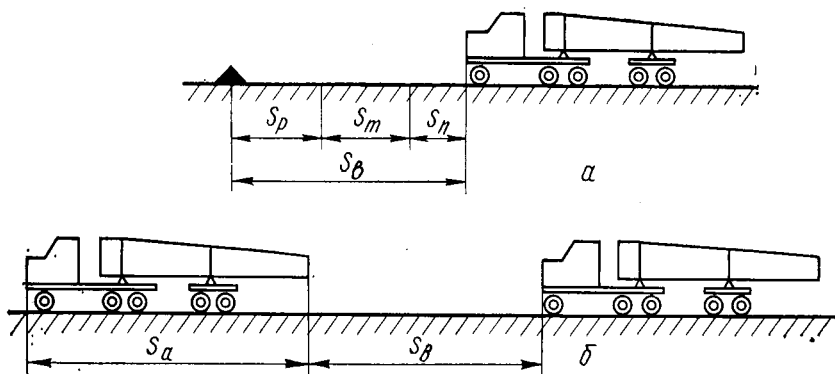


Рис. 8.1. Расчетные схемы для определения:

a — расчетного расстояния видимости препятствия (сигнала) на дороге; b — пропускной способности двухполосной дороги

торая должна обеспечиваться на всех участках проектируемой дороги, относящихся к одной и той же категории. Чем выше принятая расчетная скорость, тем больше должны быть расстояния видимости, ширина земляного полотна, радиусы кривых и др. При увеличении расчетной скорости величина допускаемых максимальных спусков снижается. Все это влечет за собой увеличение стоимости строительства дороги. В то же время увеличение расчетной скорости благоприятно сказывается на эксплуатационных показателях работы дороги. Из сказанного следует, что чем больше значение проектируемой дороги, ее грузооборот, длина и срок действия, тем выше должна быть расчетная скорость (см. табл. 8.1).

Расчетным расстоянием видимости препятствия на дороге называют минимально необходимое расстояние, на котором водитель должен всегда видеть перед собой дорогу, чтобы иметь возможность предотвратить наезд на препятствие путем торможения.

Величина необходимого расстояния видимости (рис. 8.1, а)

$$s_B = s_n + s_T + s_p,$$

где s_n — путь, который проходит автомобиль за время подготовки водителя к торможению, м; s_T — тормозной путь, м; s_p — некоторый запас расстояния, необходимый для остановки автомобиля, не доезжая до препятствия ($s_p = 8 \div 12$ м).

Если обозначить время подготовки к торможению через t_n с, величину s_T принять по формуле (5.54), то

$$s_B = t_n v_p + \frac{500 k v_p^2}{b + \omega - g i_{\text{сп}}} + s_p, \quad (8.1)$$

где v_p — расчетная скорость, м/с; $i_{\text{сп}}$ — максимальный спуск, ‰; остальные обозначения — см. в формуле (5.55).

Величину расчетного расстояния видимости встречного автомобиля (при $i_{\text{сп}} = 0$) можно определить по формуле

$$s_{B.a} = 2 t_n v_p + \frac{1000 k v_p^2}{b + \omega} + s_p. \quad (8.2)$$

Из формул (8.1) и (8.2) видно, что значения величин s_B и $s_{B.a}$ в основном зависят от принятой при проектировании дороги расчетной скорости движения и тормозных средств автопоездов. Обычно принимают $s_{B.a} = 2 s_B$.

Расчетные нагрузки на ось лесовозного автомобиля и прицепного состава определяют необходимую прочность дорожной одежды и искусственных сооружений.

ГОСТ 9314—59 предусматривает две группы подвижного состава на автомобильных дорогах:

группа А — при расстоянии между осями более 3 м допустимая нагрузка на ось 10 т и менее 3 м 9 т;

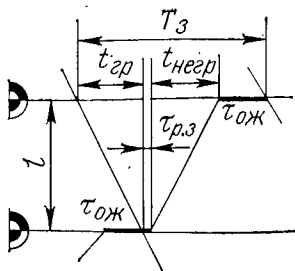
группа Б — при расстоянии между смежными осями более 3 м нагрузка 6 т и менее 3 м 5,5 т.

На лесовозных дорогах в зависимости от их расчетного грузооборота и других условий применяют автомобили и прицепной состав, относящийся к обеим группам.

Полоса поверхности дороги, в пределах которой осуществляется движение автомобилей и автопоездов, называется проезжей частью. На автомобильных дорогах, в зависимости от размеров движения, она состоит из одной, двух и более полос движения. Дороги общего пользования, как правило, строят с проезжей частью, состоящей из двух или четырех полос движения. На двухполосных дорогах каждая полоса предназначена для движения автомобилей в одном определенном направлении. От числа полос движения зависит пропускная способность дороги, размер капитальных вложений и в некоторой степени эксплуатационные расходы по вывозке леса.

Пропускной способностью дороги называется число поездов или автомобилей, которое может проследовать по

рис. 8.2. Схема определения пропускной способности однополосной дороги



данному участку дороги в одном направлении в единицу времени. Для лесовозных дорог характерно равенство интенсивности движения поездов в обоих направлениях и поэтому пропускную способность лесовозных дорог удобно измерять количеством пар поездов грузового и негрузового направлений, которое может быть пропущено по данному участку в единицу времени (час, смену, сутки).

Вопрос об установлении необходимой пропускной способности автомобильных дорог по существу сводится к установлению числа полос движения в пределах проезжей части дороги. Для лесовозных дорог характерна небольшая интенсивность движения при значительной нагрузке на автомобильный поезд. В связи с этим при проектировании практически приходится решать вопрос о том, одну или две полосы движения назначать в пределах проезжей части дороги.

Теоретическая пропускная способность двухполосной дороги (рис. 8.1, б) за 1 ч

$$N_d = 3600 v_{cp} / (s_a + s_b), \quad (8.3)$$

где v_{cp} — средняя скорость движения колонны автопоездов, м/с; s_a — длина автопоезда, м; s_b — расчетное расстояние видимости, м.

При $v_{cp} = 5,6$ м/с (20 км/ч); $s_a = 25$ м; $s_b = 75$ м; $N_d = 200$ авт/ч, что достаточно для вывозки нескольких миллионов кубометров леса в год.

Пропускная способность однополосной дороги ограничивается пропускной способностью самого трудного перегона (перегоном называется участок дороги между соседними разъездами). С учетом этого согласно рис. 8.2 пропускная способность однополосной дороги в час

$$N_{од} = \frac{3600}{T_з} = 3600 / (t_{гр} + t_{негр} + \tau_{р.з} + \tau_{ож}) = 3600 v_{cp} / (2l + v_{cp} \Sigma t_{пр}), \quad (8.4)$$

где $T_з$ — время занятия перегона одной парой поездов, с; $t_{гр}$, $t_{негр}$ — время хода поезда на перегоне в грузовом и негрузовом направлениях, с; $\tau_{р.з}$ — время разгона поезда при трогании с места и замедления при остановке, с; l — расстояние между разъездами, м; v_{cp} — средняя скорость движения, м/с; $\tau_{ож}$ — время ожидания встречного поезда на разъезде, с; $\Sigma t_{пр} = \tau_{р.з} + \tau_{ож}$. Например, при $v_{cp} = 5,6$ м/с; $l = 500$ м $\Sigma t_{пр} = 180$ с; $N_{од} = 10$ авт/ч, что теоретически достаточно для вывозки нескольких сот тысяч кубометров леса в год.

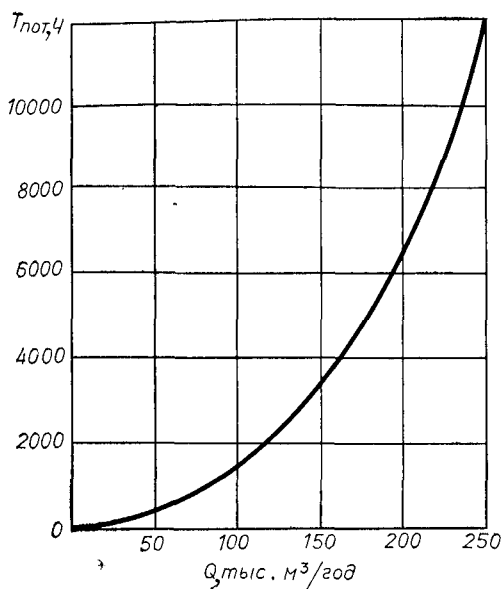


Рис. 8.3. Примерная зависимость простоев автопоездов на разъездах от размеров годового грузооборота однополосной дороги

Однако нужно отметить, что для однополосной дороги наряду со снижением стоимости ее строительства характерно уменьшение производительности лесовозных машин за счет увеличения времени, затрачиваемого на рейс, в связи с ожиданием встречных машин на разъездах. Таким образом, снижение капи-

таловложений в данном случае сопровождается ростом эксплуатационных расходов. Из этого следует, что условие выгодности варианта применения однополосного пути взамен двухполосного может быть выражено неравенством

$$\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_d \leq E_n (K_d - K_0), \quad (8.5)$$

где K_d и K_0 — капиталовложения на постройку двух- и однополосной дорог; \mathcal{E}_d и \mathcal{E}_0 — годовые эксплуатационные расходы по вывозке леса по двухполосной и однополосной дорогам; E_n — нормативный коэффициент эффективности;

Величина $\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_d$ представляет собой стоимость простоев автопоездов на разъездах в ожидании встречных машин, т. е.

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_d = T_n M_q,$$

где T_n — общая величина простоев за год, ч; M_q — стоимость 1 машино-часа автопоезда с накладными расходами и с учетом зарплаты водителя, р.

Исследования [13] показали, что (рис. 8.3)

$$T_n = \frac{\alpha n k_{сн} t_{пр} D}{1800} \left(\frac{2NL}{3,6v T_{сут}} - 1 \right), \quad (8.6)$$

где α — коэффициент, учитывающий движение хозяйственного и прочего транспорта ($\alpha=1,2$); N — проектное число рейсов поездов в сутки; $t_{пр}$ — время простоя при встрече на разъезде, с (с учетом некоторого снижения скоростей движения на однополосных дорогах $t_{пр}=150 \div 200$ с); D — число рабочих дней в году; $T_{сут}$ — продолжительность работы дороги за день, ч; v — скорость движения автопоездов, м/с; L — длина дороги, км; $k_{сн}$ — коэффициент, учитывающий, что в начале и в конце рабочего дня автомобили

движутся по дороге в одном направлении, не имея встречных машин ($k_{\text{он}} = 0,8 \div 0,9$).

Разница в капитальных затратах по вариантам

$$\Delta K = K_d - K_o = 1000L(B_d - B_o)(aH_{\text{ср}} + \gamma b)\mu, \quad (8.7)$$

где B_d и B_o — ширина земляного полотна двух- и однополосной дороги, м; $H_{\text{ср}}$ — средняя рабочая отметка (определяется по продольному профилю), м; a — стоимость 1 м³ насыпи с учетом ее отсыпки, уплотнения, планировки и т. п., р.; b — стоимость постройки 1 м² дорожной одежды, р.; μ — коэффициент, учитывающий дополнительные работы по устройству развязок на однополосных дорогах ($\mu = 0,9$); γ — коэффициент, учитывающий некоторое увеличение ширины полосы движения и толщины дорожной одежды на однополосных дорогах по сравнению с двухполосными ($\gamma = 0,8$).

Подставив значения $\Delta \mathcal{E}$ и ΔK в неравенство (8.5), получим квадратное уравнение, из которого можно определить число пар поездов в сутки, при котором целесообразно переходить к двухполосной дороге

$$N \geq \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AE_n\Delta K}}{2A} \cong \frac{B + 2\sqrt{AE_n\Delta K}}{2A}, \quad (8.8)$$

$$\text{где } A = \frac{2LB}{3,6vT_{\text{сут}}}; \quad B = \frac{\alpha k_{\text{снтпр}}DM_{\text{ч}}}{1800}.$$

Длину дороги L можно принимать по карте для 7-го года ее работы.

Условие (8.8) в зависимости от годового грузооборота определяется выражением

$$Q_{\text{г}} \geq Q_{\text{пол}}D \frac{B + 2\sqrt{AE_n\Delta K}}{2A}. \quad (8.9)$$

Расчеты показывают, что при грузообороте около 200 тыс. м³/год потери времени автомобилей на развязках в ожидании встречных поездов доходят до 6,5—7,0 тыс. ч. В этих условиях становится выгодным применение двухполосных дорог. На однополосных дорогах развязки назначают на расстоянии друг от друга не более 500 м в пределах видимости.

§ 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Особенности проектирования плана трассы на кривых участках. При движении автомобильного поезда по кривой нужно отметить следующие особенности: все его колеса движутся по дугам окружности разных радиусов (рис. 8.4); на него действует центробежная сила, стремящаяся сдвинуть автопоезд или опрокинуть его во внешнюю сторону кривой; процесс движения автомобиля на кривой складывается из въезда на кривую, движения по кривой и съезда с кривой.

На некотором расстоянии от начала кривой водитель начинает поворачивать штурвал руля, постепенно увеличивая угол поворота колес до тех пор, пока он не достигнет величины α , соответствующей радиусу R кривой ($\text{tg } \alpha = L/R$, где L — жесткая база автомобиля). Далее водитель, сохраняя достигнутый

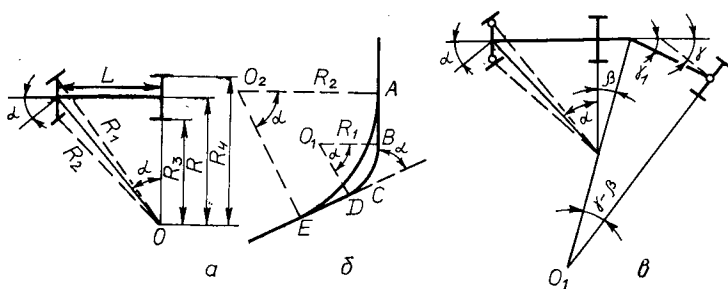


Рис. 8.4. Схема поворота на кривой:

a — одиночного автомобиля; *б* — сокращение длины дороги, получаемое при увеличении радиуса кривой; *в* — автомобиля с роспуском, имеющим дышловую сцепку

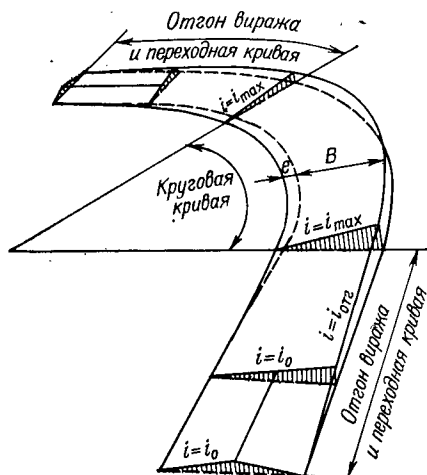


Рис. 8.5. Схема виража

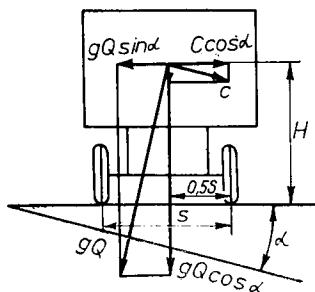


Рис. 8.6. Схема к определению поперечного уклона виража

угол поворота, проходит основную кривую постоянного радиуса R и затем вращением штурвала в обратную сторону описывает переходную траекторию также переменного радиуса на участке съезда с кривой.

Перечисленные выше особенности движения автопоездов на кривых вызывают необходимость предусматривать при проектировании автомобильных лесовозных дорог на кривых малых радиусов: устройство виражей для предотвращения поперечного скольжения или опрокидывания подвижного состава; уширение проезжей части и земляного полотна дорог для обеспечения геометрического вписывания автопоездов и перевозимых хлыстов и деревьев в пределы отведенной полосы движения; устройство переходных кривых для сопряжения круговых участков пути с прямыми; уменьшение величины предельных уклонов при совпадении их с кривыми малых радиусов.

Из приведенного следует, что назначение кривых малых радиусов допустимо лишь в трудных условиях, когда иное решение невозможно или вызывает большие объемы земляных работ. Поэтому в ИПЛЗП-82 [17] рекомендуется применение в нормальных условиях на магистральных радиусов кривых в плане не менее 600 м. При этом отпадает необходимость в устройстве виражей, переходных кривых и уменьшении величины продольных уклонов. В трудных условиях допускается применение радиусов, указанных в табл. 8.1. На ветках рекомендуется применять $R \geq 150$ м.

Применение больших радиусов кривых в плане выгодно еще и потому, что это ведет к уменьшению длины дороги, а следовательно, и расстояния вывозки. Из рис. 8.4, б видно, что при применении $R_2 > R_1$ длина дороги на одном закруглении пути уменьшается на

$$\Delta L = AB + BD + DE - AE = (R_2 - R_1) \left(2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \frac{\pi \alpha}{180} \right). \quad (8.10)$$

Ви́ражи. Ви́ражом называется участок пути на кривой, имеющий односкатный поперечный профиль с уклоном внутрь кривой (рис. 8.5). Ви́ражи устраивают для противодействия появляющейся на кривых поперечной силе Y величиной (рис. 8.6) $Y = C \cos \alpha \pm gQ \sin \alpha$ или при $\cos \alpha \cong 1$ и $C = Qv_p^2/R$

$$Y = Q \left(\frac{v_p^2}{R} \pm g i_{\pi} \right),$$

где C — центробежная сила, кН; Q — масса автопоезда, кг; R — радиус кривой; i_{π} — поперечный уклон пути.

Отношение

$$\mu = \frac{Y}{gQ} = \frac{v_p^2}{gR} \pm i_{\pi} \quad (8.11)$$

называют коэффициентом поперечной силы. Задаясь расчетным значением μ , из последнего равенства можно получить формулу для определения поперечного уклона виража

$$i_v = v_p^2 / gR - \mu. \quad (8.12)$$

Для достаточной устойчивости автопоезда на кривой (т. е. для предотвращения возможности поперечного скольжения колес автопоезда) необходимо, чтобы величина $\mu \leq \varphi\gamma$ (где φ — коэффициент поперечного сцепления; γ — коэффициент разгрузки колес при толчках и колебаниях, принимаемый для неровных покрытий 0,5—0,7); на лесовозных дорогах можно принимать $\mu = 0,12 \div 0,15$.

Если виража на кривой не делать, то влияние поперечного уклона i_n будет складываться с действием центробежной силы. В этом случае из выражения (8.11) можно найти величину минимального радиуса кривой, при котором необходимо делать вираж для обеспечения устойчивости автомобиля

$$R_{\min} = v_p^2 / [g(\mu - i_n)]. \quad (8.13)$$

На лесовозных дорогах виражи устраивают на магистральных путях при $R \leq 600$ м, учитывая их положительное психологическое воздействие на водителя.

Поперечный уклон покрытия на вираже назначают, пользуясь формулой (8.12), причем его величина принимается не менее уклона покрытия на прямой и не более 6 % (в районах с частым гололедом 4 %) с соответствующим увеличением радиуса кривой или обоснованием в проекте ограничения скорости движения. Величину последней определяют при этом из формулы (8.12), подставляя в нее принятые значения i_v и R .

Переход от двухскатного поперечного профиля на прямой к односкатному (отгон виража) проектируется на протяжении переходной прямой (см. ниже), а при ее отсутствии — на прилегающем к круговой кривой прямом участке путем постепенного вращения внешней половины проезжей части (с обочиной) вначале вокруг оси дороги, до тех пор пока не будет достигнут односкатный профиль с поперечным уклоном, равным уклону двухскатного профиля. Затем вращение продолжают вокруг внутренней кромки проезжей части (без учета уширения) до необходимой величины поперечного уклона на вираже (рис. 8.7). Участок дороги, на котором производится плавный переход от двухскатного поперечного профиля дороги к односкатному, называется участком отгона виража.

При переходе от двухскатного поперечного профиля к односкатному возникает дополнительный продольный уклон внешней половины проезжей части в связи с постепенным подъемом ее внешней кромки и бровки земляного полотна, называемым уклоном отгона виража $i_{от}$, величину которого прини-

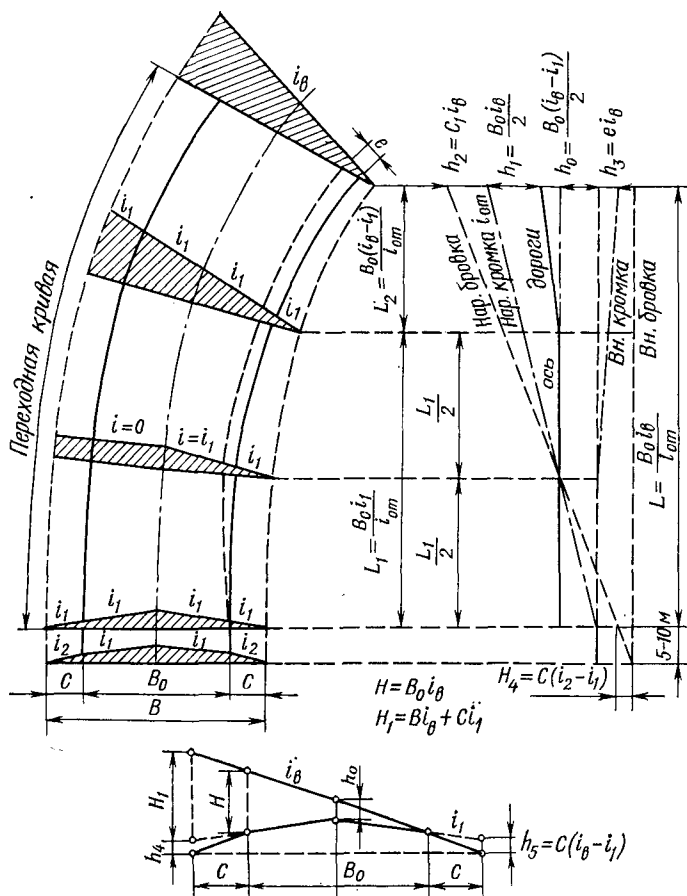


Рис. 8.7. Разбивка виража:
е — уширение проезжей части на кривой

мают равным 1 %, а в горной местности 2 %. Из схемы на рис. 8.5 видно, что длина отгона виража определяется выражением

$$L_{от} = B_0 i_{в} / i_{от}, \quad (8.14)$$

где B_0 — ширина проезжей части дороги (см. нижнюю часть рис. 8.7).

Обочинам придается на вираже уклон, одинаковый с уклоном проезжей части. Поперечный уклон обочин изменяют до начала отгона виража на участке длиной 10 м.

Проверка автопоезда на опрокидывание на кривой. Из рис. 8.6 видно, что поперечная устойчивость автопоезда на кривой будет обеспечена, если

$$HC \cos \alpha < \frac{s}{2} gQ \cos \alpha \mp HgQ \sin \alpha,$$

откуда высота центра тяжести

$$H < \frac{s}{2 \left(\frac{v_p^2}{gR} \mp i_n \right)}. \quad (8.15)$$

Переходные кривые. Для того чтобы обеспечить плавный переход автомобиля с прямой на круговую кривую, переходная кривая должна иметь переменное значение радиуса, величина которого в начале кривой (в точке примыкания к прямой) должна быть бесконечно большой, а в конце — равной радиусу круговой кривой.

Математически это условие можно выразить так: $1/\rho = s/C$, где ρ — переменное значение радиуса кривой; s — текущая длина кривой; C — постоянная величина — параметр кривой.

Из математики известно, что $\rho = ds/d\varphi$, где φ — полярный угол. Подставив значение ρ , получим $sds = Cd\varphi$. Интегрируя, находим

$$0,5s^2 = C\varphi \quad \text{или} \quad s = \sqrt{2C\varphi}. \quad (8.16)$$

Это уравнение радиоидальной спирали (клотоиды) в полярных координатах. Величину параметра C клотоиды можно найти имея в виду, что при $s=L$ (длине переходной кривой) $\rho=R$ (радиусу круговой кривой). При этом $1/R = L/C$; $C = RL$.

В декартовых координатах уравнения рассматриваемой кривой будут таковы:

$$\begin{aligned} x &= s - \frac{s^5}{40C^2} + \frac{s^9}{3456C^4} - \dots; \\ y &= \frac{s^3}{6C} - \frac{s^7}{336C^3} + \frac{s^{11}}{42 \cdot 240C^5} - \dots \end{aligned} \quad (8.17)$$

Оба ряда быстро сходятся и для практических целей обычно пользуются лишь первыми двумя членами. Если ограничиться лишь первыми членами рассматриваемых рядов, то будем иметь

$$x = s; \quad y = \frac{s^3}{6C}, \quad \text{откуда} \quad y = \frac{x^3}{6C}. \quad (8.18)$$

Это уравнение кубической параболы тоже применяется для разбивки переходных кривых. Разбивку переходных кривых производят и по другим кривым, в частности по лемнискате Бернулли (рис. 8.8, а). Допустимость применения кубической параболы для разбивки переходных кривых определяется условием $R \geq 5L$, где L — длина переходной кривой [12]. При

соблюдении этого условия точность разбивки переходной кривой будет не ниже требуемой точности линейных измерений лентой (относительная ошибка не более $1/1000$).

На практике для разбивки переходных кривых применяют таблицы, содержащие вычисленные значения x и y для различных длин переходных кривых (клотоид) и радиусов круговых кривых.

При проектировании дорожного закругления участок переходной кривой совмещают с участком отгона выража $L_{от}$. Ис-

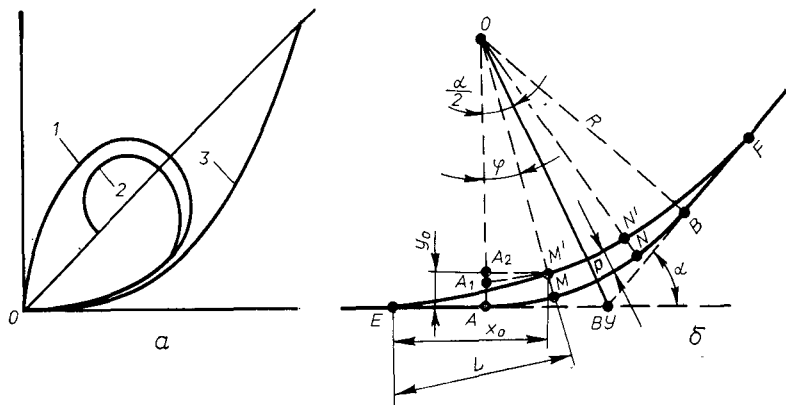


Рис. 8.8. Переходные кривые:

a — основные виды кривых, применяемых при разбивке: 1 — лемниската Бернулли; 2 — радионидальная спираль (клотоида); 3 — кубическая парабола; b — схема разбивки переходной кривой; y_0 и x_0 — координаты точки M ; L — длина переходной кривой; α — угол поворота; P — величина сдвига круговой кривой при разбивке переходной кривой; $B\gamma$ — вершина угла поворота

ходя из этого, можно подойти к установлению желательной длины переходной кривой.

Длину переходной кривой можно также установить исходя из условия недопущения слишком быстрого нарастания бокового ускорения от центробежной силы. Время, необходимое для возрастания центробежного ускорения от нуля до v_p^2/R , составит

$$t = \frac{a_0}{j} = \frac{v_p^2}{Rj},$$

где a_0 — центробежное ускорение, м/с^2 ; j — скорость нарастания центробежного ускорения, являющаяся третьей производной от пути по времени ($0,3$ — $0,8 \text{ м/с}^3$); R — радиус кривой, м .

С учетом этого минимальная длина переходной кривой

$$L_{\min} = v_p t = \frac{v_p^3}{Rj}. \quad (8.19)$$

Согласно ИПЛЗП-82 длина переходных кривых назначается на магистралях от 35 до 70 м при $R \leq 250$ м и на ветках 25—30 м при $R \leq 100$ м. Для разбивки переходной кривой необходимо соблюдать условие: $L \leq \pi R \alpha / 180$, откуда

$$R \geq 57,3L/\alpha, \quad (8.20)$$

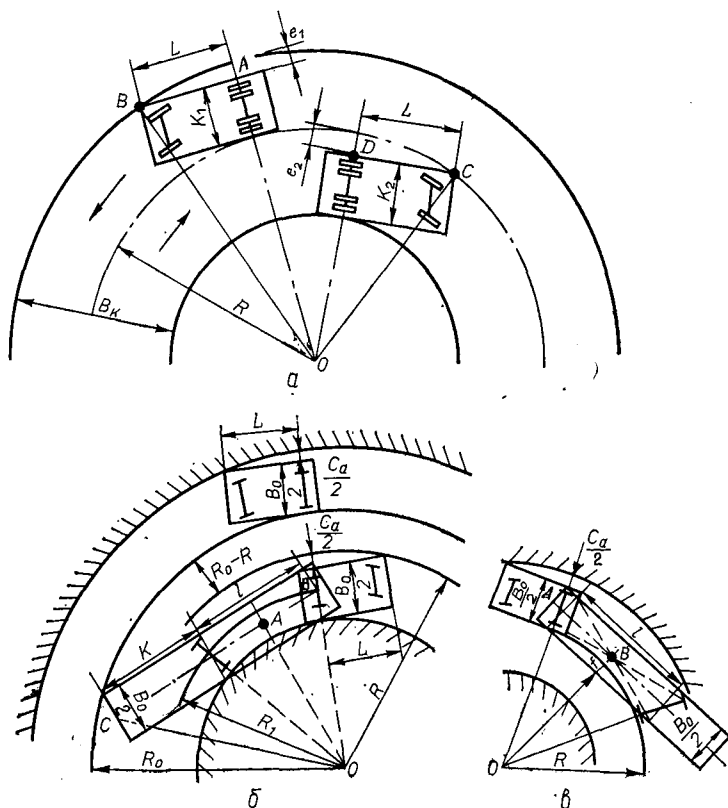


Рис. 8.9. Уширение проезжей части на кривой:

a — при движении по дороге одиночных автомобилей; B — ширина проезжей части на кривой двухполосной дороги; b — при крестообразной сцепке автомобилей с роспусками на поворотах в правую сторону; e — то же, в левую сторону

где α — угол поворота трассы, град.

Точка начала переходной кривой (НПК) расположена от начала круговой кривой (НК) на расстоянии (см. рис. 8.8, б)

$$m = 0,5L \left(1 - \frac{L^2}{120R^2} + \frac{L^4}{17280R^4} - \dots \right). \quad (8.21)$$

Величина сдвижки оставшегося при разбивке переходных кривых участка круговой кривой определяется по формуле

$$p = \frac{L^2}{24R} \left(1 - \frac{L^2}{112R^2} + \frac{L^4}{21120R^4} - \dots \right). \quad (8.22)$$

Оба ряда в формулах (8.21) и (8.22) очень быстро сходятся и поэтому часто пользуются только первым членом в обоих рядах.

Уширение проезжей части и земляного полотна на кривых участках пути. При движении одиночных автомобилей ширина занимаемой ими полосы проезжей части увеличивается (рис. 8.9).

Примем, что ширина встречных автомобилей на двухполосной дороге одинакова и равна ширине полосы движения, которая на прямой равна половине ширины проезжей части, т. е. $k_1 = k_2 = 0,5B_0$. Из $\triangle AOB$ имеем

$$L^2 + (R + 0,5B_0)^2 = (R + 0,5B_0 + e_1)^2,$$

$$\text{откуда } e_1 = \sqrt{(R + 0,5B_0)^2 + L^2} - (R + 0,5B_0). \quad (8.23)$$

Из $\triangle COD$ видно, что

$$L^2 + (R - e_2)^2 = R^2; \quad e_2 = R - \sqrt{R^2 - L^2}.$$

Полная величина уширения c_a равна

$$c_a = e_1 + e_2 = \sqrt{(R + 0,5B_0)^2 + L^2} - (0,5B_0 + \sqrt{R^2 - L^2}). \quad (8.24)$$

Для упрощения расчетов принимают $c_a \cong 2e_2$. Вводя эмпирическую поправку $0,36v_p/\sqrt{R}$, учитывающую влияние скорости [1], получим

$$c_a = 2 \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + 0,36v_p/\sqrt{R}, \quad (8.25)$$

или с некоторым упрощением

$$c_a = L^2/R + 0,36v_p/\sqrt{R}, \quad (8.25a)$$

где L — расстояние от переднего бампера до задней оси автомобиля, м; v_p — расчетная скорость, м/с; R — радиус кривой, м.

Уширение проезжей части и земляного полотна на кривых при движении лесовозных автопоездов. В начале поворота автопоезда мгновенные центры вращения автомобиля и роспуска не совпадают, но по мере выполнения поворота постепенно сближаются (см. рис. 8.4). По расчетам Я. Х. Закина [33], центры поворота автомобиля и роспуска совпадают при углах поворота $270-300^\circ$. Для упрощения расчетов при определении величины необходимого уширения проезжей части на кривых обычно исходят из предположения, что на повороте все звенья автопоезда имеют общий центр кривизны. Этим допущением создается некоторый запас в уширении проезжей части, который для условий работы автопоездов на лесовозных дорогах является оправданным.

При вывозке хлыстов или деревьев применяется крестообразная сцепка автомобиля и роспуска, обеспечивающая незначительное смещение траектории движения колес роспуска относительно траектории колес задней оси автомобиля на кривых, которое при $R \geq 50$ м можно не принимать во внимание.

На кривых с правыми поворотами в грузовом направлении встречному движению автомобилей без груза могут мешать свисающие сзади роспуска концы хлыстов, которые на кривых небольших радиусов могут вызвать угрозу столкновения со встречными автомобилями.

Из треугольника OAB имеем (рис. 8.9, б)

$$AO^2 = BO^2 - AB^2 = R_1^2 - 0,25l^2;$$

$$R_1 = R - 0,5c_a - 0,25B_0; \quad AO = \sqrt{(R - 0,5c_a - 0,25B_0)^2 - 0,25l^2}.$$

Величина R_0 может быть получена из равенства

$$(AO + 0,25B_0)^2 = R_0^2 - (k + 0,5l)^2.$$

Необходимое дополнительное уширение проезжей части

$$x = R_0 - R = \sqrt{\left[\sqrt{(R - 0,5c_a - 0,25B_0)^2 - 0,25l^2} + 0,25B_0 \right]^2 + (k + 0,5l)^2} - R,$$

где R — радиус кривой, м; l — расстояние между кониками автомобиля и роспуска, м; k — длина концов хлыстов, свисающих с роспуска, м.

Полная величина уширения проезжей части двухполосной дороги

$$c_{\text{пр}} = c_a + x = c_a - R + \sqrt{\left[\sqrt{(R - 0,5c_a - 0,25B_0)^2 - 0,25l^2} + 0,25B_0 \right]^2 + (k + 0,5l)^2}. \quad (8.26)$$

Величины l и k можно определить, пользуясь расчетной схемой рис. 8.10.

Приняв, что центр тяжести пакета хлыстов расположен от комля на расстоянии $rL_{\text{хл}}$, где $L_{\text{хл}}$ — длина пачки хлыстов, деревьев и, взяв сумму моментов от веса полезной нагрузки и опорных реакций колес от нее относительно задней оси автомобиля, можно найти, что

$$l = [Q_{\text{пол}}(rL_{\text{хл}} - d)]/R_{\text{пр}}, \quad (8.27)$$

где $Q_{\text{пол}}$ — полезная нагрузка на автопоезд, т; $R_{\text{пр}}$ — грузоподъемность роспуска, т; r — коэффициент, равный 0,33 для хлыстов и 0,37 для деревьев; d — величина переднего свеса пакета хлыстов, м.

Соответственно

$$k = L_{\text{хл}} - l - d. \quad (8.28)$$

Приближенно для трехосных автомобилей с двухосными роспусками

$$x = (14L_{хл} - 167) : R. \quad (8.29)$$

При движении поездов с грузом по наружной полосе двухполосной дороги на левых поворотах пакет хлыстов своей средней частью выходит за пределы полосы движения грузового направления, занимая при этом часть полосы негрузового направления. Поэтому на таких кривых необходимо дополни-

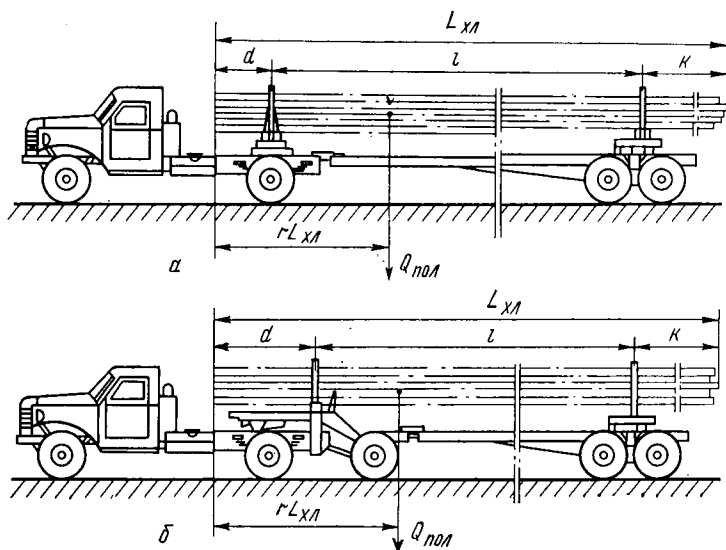


Рис. 8.10. Схема погрузки пакета хлыстов на лесовозный автопоезд:
а — при одном роспуске; б — при полуприцепе и роспуске

тельно уширять проезжую часть дороги на величину стрелки f (см. рис. 8.9, в).

Из треугольника ABO имеем

$$\begin{aligned} AO^2 &= AB^2 + BO^2; \\ (R + 0,25B_0)^2 &= 0,25l^2 + (R + 0,25B_0 - f)^2. \end{aligned}$$

Если пренебречь малой величиной f^2 , то

$$f = l^2 / [2 (4R + B_0)]. \quad (8.30)$$

Полная величина уширения проезжей части дороги на кривой с левым поворотом в грузовом направлении

$$c_{лев} = c_a + f = L^2/R + 0,36v_p/\sqrt{R} + l^2/[2 (4R + B_0)]. \quad (8.31)$$

При вывозке леса (например, сортиментов) автомобилями с роспусками, имеющими прямую дышловую сцепку (рис. 8.11)

величину необходимого уширения проезжей части на кривых правых и левых поворотов можно определить по формуле [12]:

$$c_d = L^2/R + 0,36v_p/\sqrt{R} + (b^2 - a^2)/(\sqrt{R^2 - L^2} - 0,25B_0), \quad (8.32)$$

где a — расстояние от крюка буксирного прибора до задней оси автомобиля, м; b — расчетная длина дышла роспуска, м.

Формулу (8.32) можно применять при $R > 25$ м. Она пригодна и для определения величины c_d при движении седельных тягачей с полуприцепами (в этом случае $a=0$).

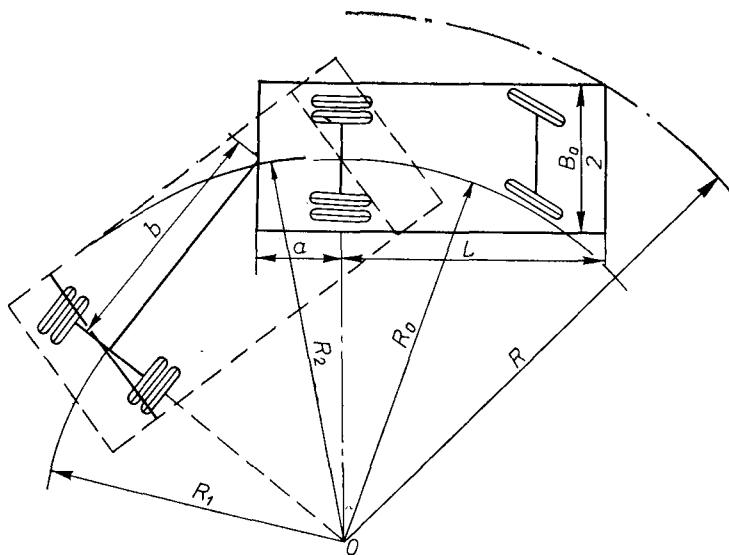


Рис. 8.11. Схема к определению уширения проезжей части на кривой при вывозке леса автопоездами с дышловой сцепкой автомобиля с роспуском

При вывозке леса автопоездами в составе автомобиль, полуприцеп и роспуск общая величина уширения проезжей части дороги согласно предыдущему должна определяться по выражению (8.26) для правых поворотов и (8.31) для левых поворотов, с прибавлением члена $b^2/(\sqrt{R^2 - L^2} - 0,25B_0)$, учитывающего дополнительное уширение, необходимое для вписывания полуприцепа.

На однополосных дорогах свисающие сзади роспуска концы хлыстов или деревьев не препятствуют движению и поэтому величину уширения проезжей части и земляного полотна на кривых принимают равной половине величины, определенной по формуле (8.25а). Отвод уширения проезжей части дороги на подходах к кривым устраивают на участке переходной кривой и на участке отгона виража с учетом того, что при въезде на

кривую автомобиль, двигаясь по кривой, посредством крестовой сцепки поворачивает роспуск еще до начала кривой и последний несколько смещается с колеи автомобиля в сторону от центра поворота.

При выезде автомобиля с кривой на прямую получается обратное явление — автомобиль начинает двигаться по прямой, в то время как роспуск еще двигается по кривой, в результате чего происходит смещение траектории последнего внутрь кривой (рис. 8.12).

Проезжую часть дороги следует уширять с внутренней стороны кривой. На дорогах с шириной обочины более 1 м проезжую часть уширяют за счет уменьшения ширины внутренней обочины с тем, однако, чтобы ее оставшаяся часть была бы не менее 1 м. В остальных случаях ширину земляного полотна необходимо увеличивать.

Проектирование серпантин. В горной местности при укладке трассы дороги на крутом склоне предусматривают применение серпантин — кривых, описанных с внешней стороны углов поворота (рис. 8.13). Серпантины бывают симметричными и несимметричными. Вспомогательные кривые при этом могут быть направлены в одну и разные стороны. Для разбивки серпантины необходимо знать угол поворота трассы α , радиус основной кривой R_0 и вспомогательных кривых R , длину прямой вставки p и положение центра основной кривой, подбираемое при трассировании в зависимости от рельефа местности (желательно на менее крутом участке косогора). На лесовозных дорогах принимают $R_0 \geq 30$ м; $R > R_0$; уклон выража $i_b = 60\text{‰}$; длину переходной кривой $L \geq 30$ м и наибольший продольный уклон (30 ‰).

Для симметричной серпантины с центром окружности основной кривой, расположенным в вершине угла поворота, величину угла β находят из формулы

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{-p + \sqrt{p^2 + R_0(2R + R_0)}}{2R + R_0}. \quad (8.33)$$

Величину прямой вставки p принимают с таким расчетом, чтобы в ее пределах было бы возможно разместить полудлины переходных кривых — основной и вспомогательной.

Расстояние от вершины угла основной кривой до вершины угла вспомогательной кривой находят по выражению

$$OM = ON = d = R_0 / \sin \beta. \quad (8.34)$$

Расстояние от вершины угла вспомогательной кривой до начала основной кривой

$$NA = CM = p + T = d \cos \beta. \quad (8.35)$$

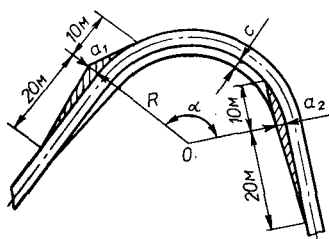


Рис. 8.12. Уширение проезжей части на подходах к кривым малых радиусов:

$a_1=0,3$ м (при $R=50$ м) и $0,4$ м (при $R=100$ м);
 $a_2=0,4$ и $0,25$ м при $R=50$ м и 100 м; c — основное уширение проезжей части

Рис. 8.13. Серпантин:

a — схема разбивки серпантинны с вспомогательными кривыми, направленными в разные стороны; b — то же с вспомогательными кривыми, направленными в одну сторону; $в$ — поперечный разрез земляного полотна на серпантине

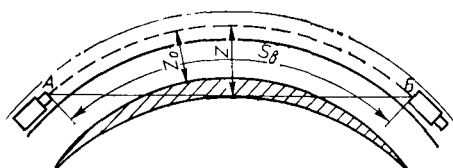
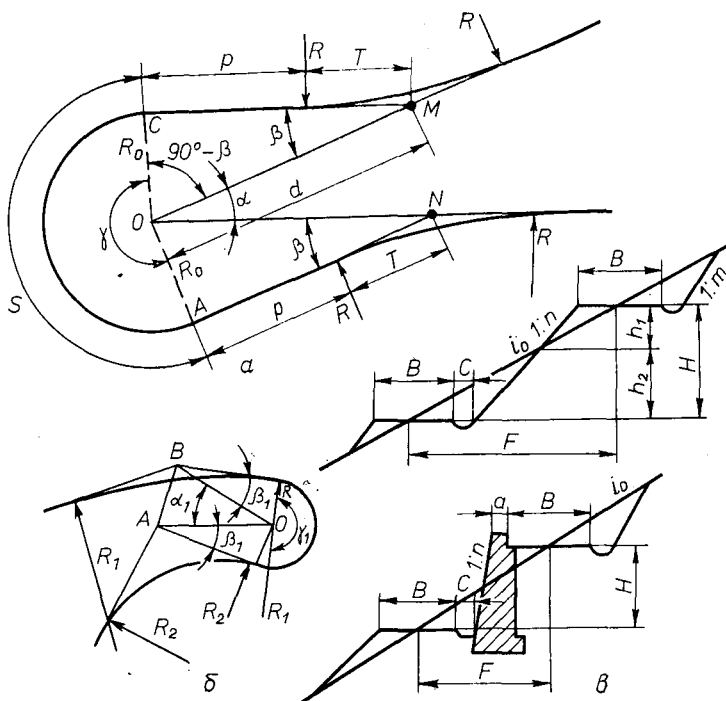
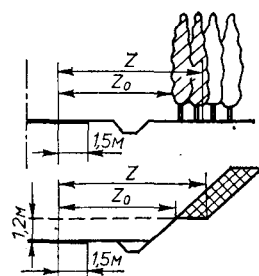


Рис. 8.14. Обеспечение видимости на кривых. Зона, подлежащая расчистке или срезке, заштрихована



Расстояние между осями ветвей серпантины в самом узком месте

$$F = 2d \sin \frac{\alpha}{2} + 2B, \quad (8.36)$$

где B — биссектриса вспомогательной кривой.

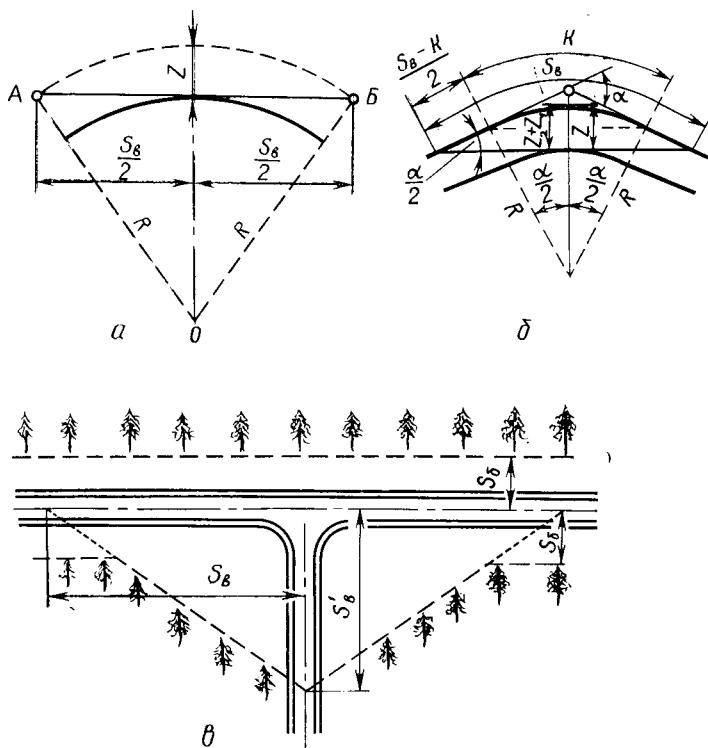


Рис. 8.15. Схема к определению ширины расчистки (срезки) для обеспечения видимости на кривых:

a — при $s_B < K$; b — при $s_B > K$; $в$ — на пересечениях и примыканиях дорог; s'_B — расчетная видимость на ветке; $s_б$ — боковая видимость

На рис. 8.13, $в$ видно, что минимальное значение F определяется равенством

$$F = \frac{H}{i_0} = B + c + h_1 n + h_2 m, \quad (8.36a)$$

или (при наличии подпорной стенки)

$$F = B + c + Hn + a, \quad (8.36б)$$

что следует иметь в виду при назначении величин, p , d и a .

Угол основной кривой

$$\gamma = 360^\circ - 2(90^\circ - \beta) - \alpha = 180^\circ + 2\beta - \alpha; \quad (8.37)$$

длина основной кривой

$$s = \pi R_0 \gamma / 180. \quad (8.38)$$

Обеспечение видимости в плане. Для безопасности движения на кривых в плане (в закрытой местности) необходимо, чтобы водитель, находясь в точке A (рис. 8.14), мог увидеть дорогу или препятствие на ней в точке B , причем расстояние $AB \geq s_B$, т. е. установленной расчетной видимости (см. табл. 8.1).

Принимая для упрощения расчета длину хорды AB равной расстоянию видимости s_B , ширину расчистки на середине кривой можно найти из рис. 8.15, а.

$$\frac{s_B^2}{4} = (2R - z)z,$$

откуда

$$z = R - \sqrt{R^2 - 0,25s_B^2} \cong \frac{s_B^2}{8R}. \quad (8.39)$$

Если длина кривой меньше расчетного расстояния видимости (рис. 8.15, б), то $z = z_1 + z_2$; $z_1 = R - R \cos \frac{\alpha}{2}$;

$$z_2 = \frac{s_B - K}{2} \sin \frac{\alpha}{2}; \quad z = \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) R + \frac{s_B - K}{2} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (8.39a)$$

Величины z , определенные по приведенным формулам, являются максимальными и относятся к середине кривой. Если величину срезки (например, в выемке) необходимо определить точно не только на середине кривой, но и в других точках, пользуются графическим методом построения кривой видимости [28]. Видимость на пересечениях и примыканиях дорог в одном уровне обеспечивается согласно нормам [54] — см. рис. 8.15, в. Боковая видимость при $s_6 = 15$ м обеспечивается при возможном появлении на проезжей части людей или животных.

§ 4. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Основные правила нанесения проектной линии на продольном профиле дороги, общие для лесовозных автомобильных и железных дорог колеи 750 мм, изложены выше (см. с. 22). Ниже рассмотрены некоторые специфичные для автомобильных лесовозных дорог вопросы.

Установление величины руководящего подъема. От величины руководящего подъема зависят полезная нагрузка на автотопоезд, размер капиталовложений на строительство дороги (чем меньше величина руководящего подъема, тем крупнее капитальные затраты) и на приобретение автомобилей и роспу-

сков (чем меньше величина руководящего подъема, тем меньше потребность в тяговом и прицепном составе); эксплуатационные показатели: производительность, расход горючего на $1 \text{ м}^3 \cdot \text{км}$ грузовой работы, себестоимость вывозки леса и др., которые улучшаются с уменьшением величины руководящего подъема.

При установлении величины руководящего подъема необходимо обеспечить основное условие — возможность работы автомобильных поездов принятого состава с полным использованием их грузоподъемности. С учетом формулы (5.28) это условие можно выразить неравенством

$$i_p \leq \left(\frac{F_k}{Q} - \omega \right) \frac{1}{g}. \quad (8.40)$$

Из выражения (8.40) следует, что вопрос об определении величины i_p необходимо решать одновременно с выбором типа автомобиля и установлением состава автопоезда. Предельные значения i_p , установленные действующими нормами проектирования, приведены в табл. 8.1.

Величина руководящего подъема, определенная по формуле (8.40), является предельно допустимой. По возможности, т. е. когда это не связано с увеличением объема земляных работ или удлинением дороги, следует принимать меньшие значения руководящего подъема, что создаст лучшие условия для работы лесовозных автомобилей и приведет к увеличению скорости движения поездов, экономии горючего и т. п. Изменение руководящего подъема влияет на развитие трассы только на участках стесненного хода. Однако при значительных изменениях величины i_p часть участков вольного хода может перейти в категорию стесненного хода и таким образом попасть под его влияние.

Вопрос о выборе руководящего подъема должен быть решен еще до начала или во время изысканий дороги, так как прокладка трассы дороги на карте и на местности непосредственным образом зависит от его величины.

Если по условиям рельефа местности полученная по формуле (8.40) величина i_p не может быть принята из-за больших объемов работ или удлинения трассы, следует пересмотреть состав автопоезда в сторону его уменьшения либо изменить тип автомобиля.

В ИПЛЗП-82 установлены предельные значения i_p для автопоездов, оборудованных автомобилями с кониками, имеющими колесную формулу 6×4 , 80% и 4×2 60% ; для седельных поездов 60% .

Определение допускаемой величины максимального спуска. От величины максимальных спусков на дороге зависят: безопасность движения автомобилей, скорость их движения, размер

нагрузки на автопоезд, величина капиталовложений на строительство дороги.

Для снижения стоимости строительства дороги желательно увеличение величины максимальных спусков, так как это может снизить объемы земляных работ и уменьшить коэффициент развития линии. Для увеличения безопасности движения и улучшения эксплуатационных показателей работы автомобилей, наоборот, желательно уменьшение величины спусков.

Безопасность движения на спусках обеспечивается торможением автопоезда. Предельную величину допускаемого спуска в грузовом направлении можно получить из формулы (5.56), подставив в нее $s'_b = s_b - s_p$. При этом

$$i_{\text{сп}} \leq \left(b + w - \frac{10^3 k v_p^2}{2 (s_b - s_p - t_{\text{п}} v_p)} \right) \frac{1}{g}. \quad (8.41)$$

Обозначения см. в формуле (5.55).

Для большей безопасности движения величину w в формуле (8.41) следует принимать для пути, находящегося в отличном состоянии (примерно 50 % расчетных значений).

В ИПЛЗП-82 [17] рекомендуется принимать $i_{\text{сп}} \leq i_p + 20 \text{ ‰}$. В горной местности нормы допускают применение на ветках и усах спусков до 140 ‰ при условии движения автопоездов в составе автомобилей со всеми ведущими осями и тормозными рессорками.

Смягчение крутых продольных уклонов на кривых малых радиусов. При крутом уклоне пути на кривой малого радиуса движение автопоездов значительно затрудняется в связи с появлением дополнительного сопротивления движению, вызываемого уводом колес и несовпадением направления движения автомобиля и прицепного состава с направлением силы тяги. На правых поворотах в грузовом направлении, кроме того, возникает дополнительное сопротивление движению в связи с сокращением длины траектории движения автопоезда по внутренней полосе движения.

Влияние бокового увода колес. Действующая на кривой поперечная сила вызывает боковую деформацию шин, в результате чего площадка контакта колеса с дорогой искривляется с образованием между направлением движения автомобиля и продольной осью контакта угла бокового увода (рис. 8.16). Водитель компенсирует появление этого угла поворотом передних колес с установкой их под соответствующим углом к направлению движения, что вызывает дополнительное сопротивление движению.

Исследования показали [12], что влияние увода колес может быть компенсировано смягчением продольного уклона на

$$\Delta i_{y_b} = \frac{10^6 Q_{\text{ср}} g}{nK} \left(\frac{v_p^2}{gR} - i_b \right)^2, \quad (8.42)$$

где $Q_{бр}$ — масса автопоезда брутто, кг; n — число шин на колесах автопоезда; K — коэффициент сопротивления одной шины уводу (для грузовых автомобилей $K = 70\,000 \div 120\,000$ Н/рад).

Согласно [12] влияние несовпадения направления движения подвижного состава и действия тягового усилия можно учесть смягчением продольного уклона на

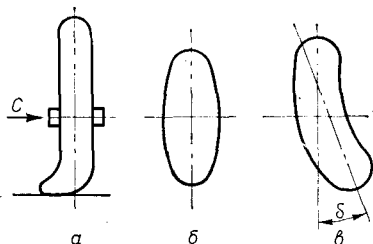
$$\Delta i_n = \frac{250}{R^2} \left(L^2 + \frac{l^2}{4} \right), \quad (8.43)$$

где L — жесткая база автомобиля; l — расстояние между центрами тележек заднего моста автомобиля и роспуска.

На рис. 8.9, б видно, что при движении автопоезда на кривой правого поворота длина его траектории уменьшается на

Рис. 8.16. Боковой увод колеса:

a — деформация колеса под действием центробежной силы C ; b — форма площади контакта шины на прямом участке; a — то же на кривой; δ — угол увода колеса



$\Delta l = \pi \alpha (R - R_T) : 180$, что требует смягчения продольного уклона на

$$\Delta i_{пр} = i_{тр} - i_0 = \left(\frac{R}{R_T} - 1 \right) i_0,$$

где i_0 — продольный уклон по оси дороги; $i_{тр}$ — то же по траектории движения; R_T — радиус траектории автомобиля.

$$R_T = R - (0,5B_0 + e) + 1,5,$$

где B_0 — ширина проезжей части; e — уширение проезжей части на кривой.

С учетом этого продольный уклон на кривой должен быть уменьшен на

$$\Delta i_{пр} = \frac{(B_0 + 2e - 3) i_0}{2R - B_0 - 2e + 3}. \quad (8.44)$$

Кроме руководящего подъема, поправок по формулам (8.42) — (8.44) требуют также и другие крутые подъемы, если их величина не отвечает неравенству

$$i < i_p - (\Delta i_{ув} + \Delta i_n + \Delta i_{пр}). \quad (8.45)$$

На спусках в грузовом направлении поправки вносить не нужно.

Влияние косого уклона. При совпадении поперечного уклона выража с продольным уклоном дороги наибольший уклон про-

езжей части будет направлен не по оси дороги, а по диагонали параллелограмма, построенного на направлениях продольного $i_{пр}$ и поперечного $i_{в}$ уклонов. Величина такого косого уклона

$$i_{кос} = \sqrt{i_{пр}^2 + i_{в}^2}. \quad (8.46)$$

Величина $i_{кос}$ больше $i_{пр}$ (продольного уклона), на кривых малых радиусов эта разница может быть существенной, что приведет к косому скольжению остановившегося или медленно движущегося автопоезда по скользкому покрытию.

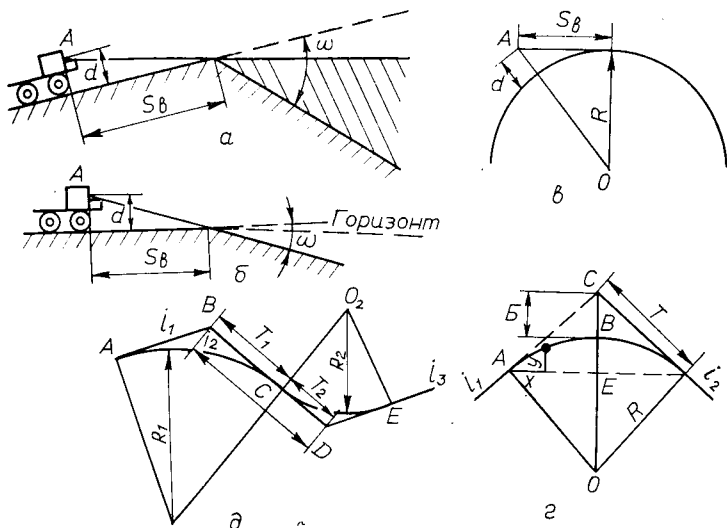


Рис. 8.17. Вертикальные кривые:

а — видимость на переломе профиля не обеспечена; *б* — видимость на переломе обеспечена; *б* — схема к определению величины минимального радиуса выпуклой кривой; *г* — определение элементов вертикальных кривых; *з* — определение минимальной длины элемента профиля (шага проектирования)

С учетом сказанного величина допускаемого продольного уклона на кривой должна быть

$$i_{кр} \leq \sqrt{i_{доп}^2 - i_{в}^2},$$

где $i_{доп}$ — допускаемая величина уклона (для переходных типов покрытия равна 80—100‰), ‰; $i_{в}$ — уклон виража, ‰.

Если с кривой совпадает руководящий подъем, принятый на данной дороге, то его величина должна быть уменьшена на

$$\Delta i_{кр} = i_{р} - i_{кр} = i_{р} - \sqrt{i_{доп}^2 - i_{в}^2}. \quad (8.47)$$

Практически поправку $\Delta i_{кр}$ следует вводить только при $i_{в} = 60$ ‰.

Вертикальные кривые и обеспечение видимости в профиле. Выпуклые переломы продольного профиля могут быть серьезным препятствием видимости (рис. 8.17, а). Кроме того, резко выраженные переломы профиля (выпуклые и вогнутые) нарушают плавность движения и вызывают появление ударных нагрузок. В связи с этим на переломах профиля предусматривают устройство вертикальных кривых. Из схемы на рис. 8.17, б видно, что видимость на переломе профиля без устройства вертикальной кривой будет обеспечена, если

$$\operatorname{tg} \omega \leq d/s_B, \quad (8.48)$$

где d — высота глаз водителя над поверхностью дороги ($d = 1,2$ м), м; s_B — расчетная видимость, м.

Учитывая, что для небольших углов $\operatorname{tg} \omega \cong \Delta i$, величину минимального радиуса вертикальной кривой, при которой обеспечивается видимость, можно найти (рис. 8.17, в) из равенства

$$s_B^2 + R^2 = (R + d)^2, \\ \text{откуда } R_{\min} = (s_B^2 - d^2)/2d \cong 0,5S_B^2/d. \quad (8.49)$$

Вогнутые сопряжения элементов профиля не создают препятствий видимости, однако для смягчения толчков при переходе с одного элемента профиля на другой на них также предусматривают устройство вертикальных кривых. Их радиус определяют из условия, чтобы величина центростремительного ускорения на кривой не была бы слишком большой. С учетом этого

$$R_{\min} = v_p^2/a_{\text{доп}}, \quad (8.50)$$

где $a_{\text{доп}}$ — допускаемая величина центростремительного ускорения, равная $0,5 \text{ м/с}^2$.

Согласно нормам ИПЛЗП-82 [17] вертикальные кривые (выпуклые и вогнутые) устраивают лишь при алгебраической разнице сопрягаемых уклонов более 15 ‰ на магистралях III категории, 20 ‰ на магистралях категорий IVA, IVБ и V и 30 ‰ на ветках и усах. Рекомендуемые радиусы кривых: на магистралях выпуклые 5000 м, вогнутые 2000 м, на ветках и усах 1000 м. В трудных условиях применяются радиусы кривых, приведенные в табл. 8.1.

Для расчета элементов вертикальных кривых пользуются следующими формулами, в которых величина углов в связи с их малой величиной заменена тангенсами, или, что то же, уклонами

$$K = R\Delta i/1000; \quad T \cong \frac{K}{2}; \quad B = 0,125K^2/R, \quad (8.51)$$

где Δi — алгебраическая разность уклонов, ‰.

Ордината промежуточной точки вертикальной кривой (рис. 8.17, г)

$$y = 0,5x^2/R. \quad (8.52)$$

Длина кривой должна быть не менее 10 м, биссектрисы 5 см.

Шаг проектирования. Минимальное расстояние между перепадами профиля (так называемый шаг проектирования) необходимо для размещения вертикальных кривых.

Для этого необходимо, чтобы (рис. 8.17, д)

$$l_{\text{шаг}} \geq T_1 + T_2 = R_1 \frac{i_1 + i_2}{2000} + R_2 \frac{i_2 + i_3}{2000}. \quad (8.53)$$

В самом неблагоприятном случае $i_1 = i_3 = i_p$ (руководящему подъему) и $i_2 = i_{\text{сп}}$ (максимальному спуску), тогда

$$l_{\text{шаг}} = (R_1 + R_2) \frac{i_p + i_{\text{сп}}}{2000}. \quad (8.53a)$$

§ 5. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Основные размеры. Ширина земляного полотна назначается большей, чем ширина проезжей части дороги. Образующиеся при этом боковые полосы с обеих сторон проезжей части называются обочинами. Они служат упором для грунтового основания дорожной одежды, обеспечивают возможность размещения дорожных материалов при ремонте одежды и облегчают выполнение обгона или скрещения со встречным автомобилем при неисправности одежды или наличии препятствия на дороге.

Земляное полотно лесовозных автомобильных дорог проектируют, как правило, пользуясь типовыми поперечными профилями (рис. 8.18). По индивидуальным проектам земляное полотно дороги проектируют: а) в выемках при переувлажненных грунтах и высоком уровне грунтовых вод; б) в насыпях при их расположении на косогорах круче 1:3, на болотах и при высоте более 12 м; в) при возведении земляного полотна методом гидромеханизации или взрывами, на участках с вечной мерзлотой, наличием карстов, оползней и в других неблагоприятных условиях. На однополосных дорогах полезная длина разъезда должна быть не менее 30 м.

Ширина земляного полотна и проезжей части на прямых участках дороги определяется по формулам (рис. 8.19)

$$B = B_0 + 2c, \quad (8.54)$$

для двухполосных дорог

$$B_0 = s + d + m + 2a, \quad (8.55)$$

для однополосных дорог

$$B'_0 = s + 2a, \quad (8.56)$$

где B — ширина земляного полотна дороги, м; B_0 — ширина проезжей части, м; c — ширина обочины, м; s — ширина колеи расчетного автомобиля, м; d — наибольшая габаритная ширина

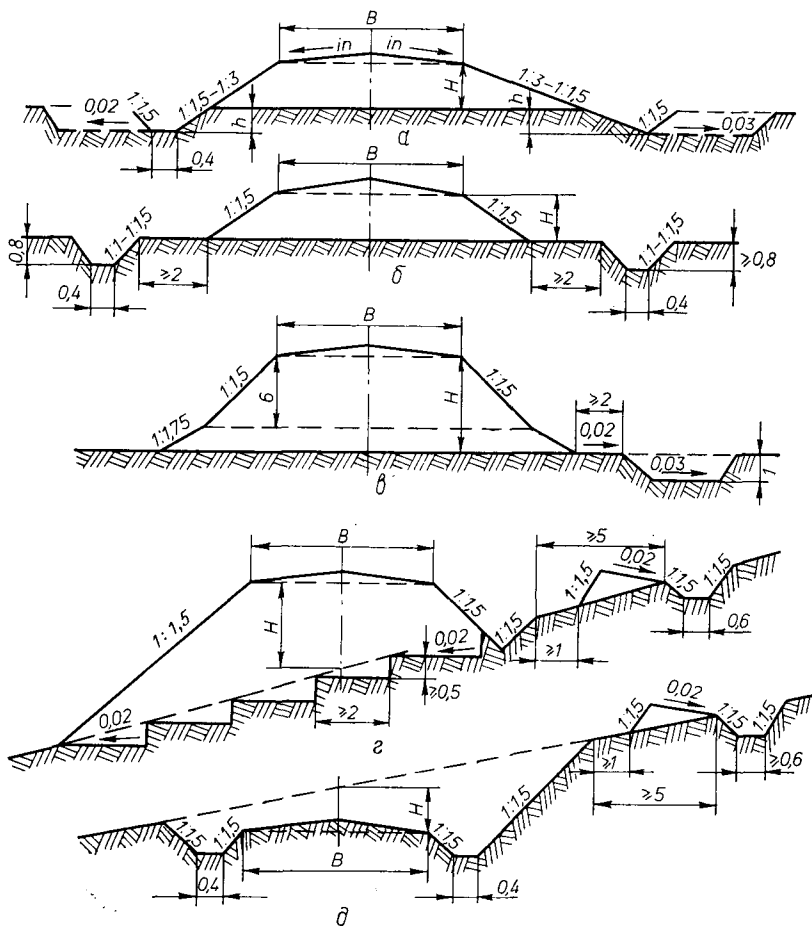


Рис. 8.18. Основные типовые поперечные профили земляного полотна лесовозных автомобильных дорог:

а — насыпь высотой до 1 м с резервами или канавами при поперечном уклоне местности до 1:10 (левая часть рисунка для суглинистых и глинистых грунтов, правая — для песчаных и супесчаных); б — насыпь высотой до 1 м в сырых и заболоченных местах, а также при совмещении дорожных канав с гидроресомелированными; при поперечном уклоне местности более 1:25 канавы можно назначать только с нагорной стороны; в — насыпь высотой до 12 м с резервом или без него; г — насыпь без резерва на косогоре крутизной до 1:3 (с уступами при крутизне от 1:5 до 1:3); д — выемка без кавальера

автомобиля или прицепного состава, м; m — минимальный зазор между встречными автомобилями, м; a — минимальное расстояние от вертикальной оси колеса до кромки проезжей части. Значения m и a с учетом исследований Н. Ф. Хорошилова

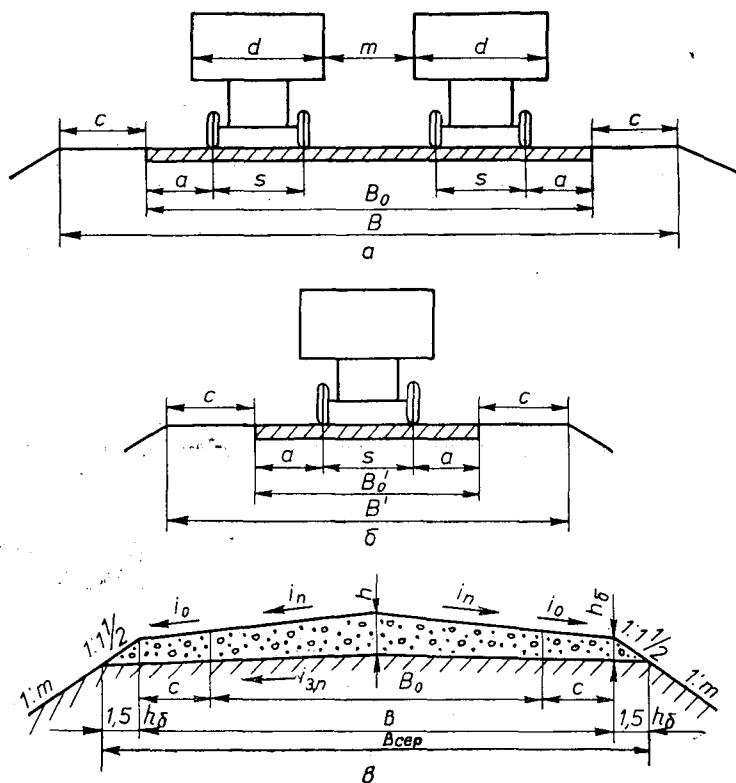


Рис. 8.19. Определение необходимой ширины проезжей части и земляного полотна дороги:

a — с двумя полосами движения; b — с одной полосой; b — при серповидном профиле дорожной одежды

[28] и специфики лесовозных дорог (малая интенсивность движения) можно определять по формулам

$$m = (0,3 + 0,27 \sqrt{v_p}) k_{ум}; \quad (8.57)$$

$$a = k_{ум} \sqrt{0,1 + 0,027 v_p}, \quad (8.58)$$

где v_p — расчетная скорость, м/с; $k_{ум}$ — коэффициент уменьшения на лесовозных дорогах (0,8—1,0).

На дорогах с серповидным профилем ширина земляного полотна, определенная по формуле (8.54) и указанная в табл. 8.1, относится к поверхности дороги в законченном виде, т. е. с учетом одежды. В связи с этим ширина собственно земляного по-

лотна при устройстве одежды серповидного профиля должна быть равной (см. рис. 8.19, в).

$$B_{\text{сер}} = B + 2mh_6 = B + 3h_6, \quad (8.59)$$

где

$$h_6 = h - 0,5B_0(i_{\text{п}} - i_{\text{з. п}}) - c(i_0 - i_{\text{з. п}}), \quad (8.60)$$

здесь h_6 — толщина одежды на бровке земляного полотна, м; h — толщина одежды по оси дороги, м; $i_{\text{п}}$, i_0 и $i_{\text{з. п}}$ — поперечные уклоны проезжей части дороги, обочин и земляного полотна (в долях единицы).

Если $h_6 < 4 \div 5$ см, указанную выше поправку к ширине земляного полотна можно не вносить. Сливной призме земляного полотна дорог с одеждой серповидного профиля придают поперечные уклоны 1,5—3 %, грунтовых дорог 4—5 %. При устройстве одежд полукорытного и корытного профилей дну корыта в земляном полотне придают поперечные уклоны, одинаковые с уклонами проезжей части.

Полоса отвода и ширина дорожной просеки. Для постройки дороги должен быть предусмотрен отвод земли в виде полосы земельной площади вдоль трассы постоянных путей шириной не менее суммарной ширины просеки (18—20 м) и полосы леса или кустарника, оставляемых для снегозащиты. Для предотвращения снежных заносов необходимо оставление с каждой стороны дороги полос невырубленного леса или кустарника шириной не менее 60 м. В открытых местах необходимо предусматривать место для установки снегозащитных щитов, устройство снегоборных траншей или снежных валов и т. п.

В безлесной местности ширину полосы отвода устанавливают в соответствии с поперечными профилями земляного полотна с учетом канав, резервов и других сооружений с оставлением минимальной свободной полосы отвода 1 м. Она должна быть не менее 15—18 м в лесах I группы и 12—15 м на сельхозугодьях. Ширина полосы отвода на зимних двухполосных дорогах 17—18 м и на дорогах с отдельными просеками для каждого направления пути 10—11 м.

Глава 9

ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Дорожной одеждой называют укрепление проезжей части дороги, выполненное в виде одного или нескольких слоев из различных материалов и служащее для создания ровной и прочной поверхности, необходимой для движения автомобилей с расчетными скоростями.

Дорожные одежды разделяются на жесткие (с покрытием из цементобетона, железобетонных плит и с деревянными колесопроводами) и не жесткие (все остальные виды одежд). В зависимости от количества конструктивных слоев дорожные одежды разделяются на одно- и многослойные. В многослойной не жесткой одежде различают следующие основные конструктивные слои (считая сверху вниз): покрытие и основание.

Некоторые виды покрытий требуют устройства поверхностной обработки, представляющей собой тонкий защитный слой толщиной 1,5—4,5 см, создаваемый на поверхности одежды путем розлива горячего вязкого битума с последующей засыпкой мелким щебнем или гравием. Поверхностная обработка широко применяется в конструировании дорожных одежд с покрытием из грунто-щебня, укрепленных грунтов и др. Она защищает верхний слой одежды от износа и проникновения в нее воды.

Покрытие определяет собой эксплуатационные качества одежды в целом (ровность, сцепление колес с поверхностью дороги и пр.). Основание одежды устраивают из одного, двух и более конструктивных слоев. Оно является основным несущим элементом одежды, определяющим ее прочность. В состав основания в ряде случаев вводят дополнительный слой из песка и других местных материалов (его называют подстилающим), служащий для выравнивания поверхности земляного полотна, дренажа одежды и обеспечения ее необходимой морозостойчивости. Дорожная одежда и земляное полотно составляют дорожную конструкцию.

Классификация дорожных одежд. В зависимости от вида покрытия дорожные одежды, применяемые в СССР, разделяют на следующие типы:

1) одежды с усовершенствованными покрытиями:
а) капитальные, к которым относятся цементнобетонные, асфальтобетонные, укладываемые в горячем состоянии, брусчатые мостовые, устраиваемые на щебеночном, гравийном и других основаниях; б) облегченные — асфальтобетонные, укладываемые в теплом или холодном состоянии, с покрытиями из щебня и гравия, обработанного битумом в установке, или из щебня, построенные методами пропитки, с покрытиями из крупнообломочных, песчаных или супесчаных грунтов, обработанных в установке битумной эмульсией с цементом, или из щебня (гравия), обработанных на дороге жидкими битумами, а также с покрытиями из железобетонных плит;

2) переходного типа, к которым относятся щебеночные, гравийные, грунтощебеночные и грунтогравийные покрытия, мостовые из булыжного камня на песчаном подстилающем слое или без такового, а также с покрытиями из грунта, укрепленного вяжущими;

3) низшие, к которым относятся грунтовые дороги с подобранным зерновым (гранулометрическим) составом (оптимальные смеси) или укрепленные поверхностной россыпью гравия или щебня, а также деревянные колейные или со сплошным настилом из бревен.

На магистралях IVБ и V категорий и ветках применяют в основном одежду переходного типа с широким использованием местных дорожно-строительных материалов с покрытиями из гравия, щебня, местных грунтов, укрепленных вяжущими, и с колейнными покрытиями из железобетонных плит. В опытном порядке применяют колейные покрытия из гравийного материала (на усах). На зимних дорогах широко используют снежно-уплотненные и ледяные покрытия.

На дорогах III и IVА категорий применяют усовершенствованные капитальные и облегченные покрытия из цементобетона (например, магистральные пути в объединении «Мезеньлес»), асфальтобетона (Баргузинская грузосборочная магистраль в районе оз. Байкал) и др. На ветках с небольшим грузооборотом и усах применяют покрытия низшего типа.

Основные типы поперечных профилей дорожных одежд. Основные типы поперечных профилей дорожных одежд (бесколейного типа), применяемые на лесовозных дорогах, приведены на рис. 9.1.

Серповидный поперечный профиль одежды представляет собой наиболее простую конструкцию и не требует больших затрат при эксплуатации дороги. В случае применения водопроницаемых материалов (гравия) просочившаяся вода уходит по поперечным скатам земляного полотна, не требуя специальных дренажных устройств. Недостатком такого профиля является повышенный расход дорожно-строительных материалов. Серповидный профиль рекомендуется применять:

для грунтовых дорог, улучшенных минеральными добавками или поверхностной россыпью гравия или щебня;

для покрытий из песчано-гравийных смесей на земляном полотне из недренирующего грунта при любой толщине покрытия и ширине обочины;

для гравийных покрытий на земляном полотне из дренирующего грунта при ширине обочин менее 1 м и при большей ширине обочин, при толщине слоя одежды менее 15 см;

для покрытий из грунтов, укрепленных вяжущими материалами при ширине обочин менее 1 м (любой толщины), а при большей ширине обочин — при толщине укрепленного слоя до 15 см.

Корытный профиль одежды применяют при устройстве покрытия из дорогостоящих материалов (асфальтобетона, черного щебня, черного гравия и др.) или имеющего большую толщину. Его достоинством является экономия дорожно-строительных материалов, недостатком — легкость заноса грязи с обочин

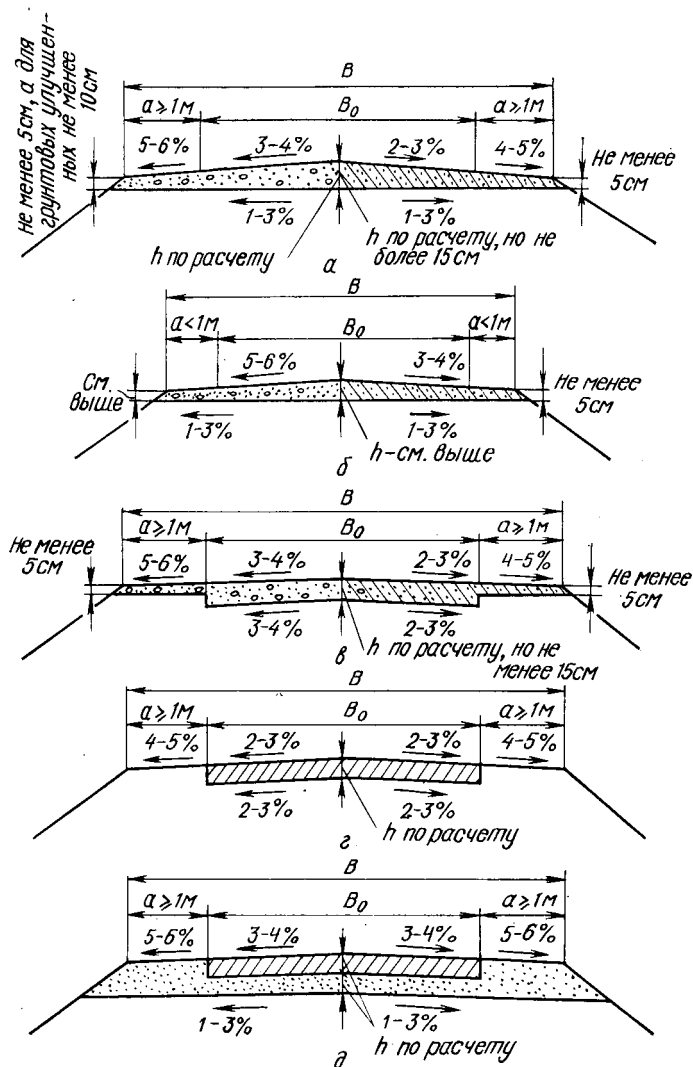


Рис. 9.1. Поперечные профили нежестких дорожных одежд на лесовозных дорогах:

a — серповидный профиль; *б* — то же на однополосных дорогах; *в* — полукорытный (левые части профилей *a*, *б*, *в* — для гравийных и других покрытий, правые части — для грунтов и материалов, укрепленных вяжущими); *г* — корытный; *д* — то же для гравийных покрытий в корыте из песчаного подстилающего слоя

на проезжую часть и необходимость дренажа воды из корыта с использованием трубчатых дрен при применении покрытий из водопроницаемых материалов. В целях экономии гравия гравийное покрытие можно укладывать в корыте, устроенном в песчаном подстилающем слое, уложенном на всю ширину земляного полотна дороги.

Полукорытный профиль одежды представляет собой промежуточное решение между корытным и серповидным профилями. На лесовозных дорогах полукорытный профиль рекомендуется применять для гравийных покрытий на земляном полотне из дренирующих грунтов (при ширине обочин 1 м и более и толщине слоя более 15 см) и для одежд с покрытиями из укрепленных грунтов (при ширине обочин 1 м и более и при толщине укрепленного слоя более 15 см).

На двухполосных дорогах поперечные уклоны покрытия из гравия, щебня и грунтощебня назначают 3—4 %, из этих же материалов и грунтов при обработке их вяжущими 2—3 %. На однополосных дорогах соответственно 5—6 %, а при укреплении вяжущим 3—4 %. Поперечные уклоны на обочинах шириной 1 м и более принимают на 2 % больше уклонов проезжей части, а для более узких обочин — равными поперечному уклону проезжей части.

§ 2. ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Гравийные дорожные одежды на лесовозных дорогах устраивают как из естественного гравийного материала, так и из подобранных гравийных смесей. Оптимальным для устройства покрытий является гравийный материал, в котором обеспечиваются после укатки наибольшая и постоянная плотность и связность частиц при достаточной прочности самих частиц. В таком материале частицы гравия образуют скелет, поры которого заполнены мелкими частицами — песком, пылью и глиной.

Обширные исследования вопроса о наилучшем соотношении частиц в оптимальном грунте или гравийном материале были выполнены В. В. Охотиным, который доказал, что в смеси разных по размеру частиц наименьшая пористость будет при весовом соотношении 0,81 (названном коэффициентом сбега) между фракциями, размеры частиц которых относятся как 1 : 2 при допущении отклонений этого коэффициента в пределах 0,7—0,84. Из этого следует, что оптимальную смесь можно представить как убывающий ряд геометрической прогрессии

$$a_1 + a_1k + a_1k^2 + a_1k^3 + \dots + a_1k^{n-1} = 100\%,$$

где a_1 , a_1k , a_1k^2 , a_1k^3 ... — процентное содержание в смеси первой и последующих фракций; n — количество фракций в смеси

(с соотношением размеров частиц 1 : 2); k — коэффициент сбега.

Из этого равенства следует, что количество (по массе) какой-либо промежуточной фракции в оптимальной смеси должно быть равным

$$a_x = a_1 k^{x-1}, \quad (9.1)$$

где x — порядковый номер данной фракции (после самой крупной). Фуллер (США) предложил подбирать плотную смесь для покрытий по формуле

$$N = 100 \sqrt{d/D}, \quad (9.2)$$

где N — количество частиц, прошедших через сито с отверстием d (по массе), %; D — размер частиц наибольшей фракции.

Исследования Ротфукса и Яна (1966 г.) показали, что

$$N = 100 \frac{d^2 - d_0^2}{D^2 - d_0^2}, \quad (9.3)$$

где d_0 — минимальный размер частиц в смеси; a — эмпирический показатель степени ($a \approx 0,5$).

Слои оснований одежды должны иметь хорошую водопроницаемость, поэтому гравийные смеси для оснований и подстилающих слоев должны содержать минимум мелких частиц. Подбор оптимальных смесей для оснований можно выполнить, пользуясь указанными выше формулами. Если материал для основания одежды подбирается из двух фракций — крупной и мелкой, то в этом случае можно воспользоваться опытами В. В. Охотина, который показал, что если заполнитель в смеси имеет частицы в 16 раз меньше, то его содержание должно быть равным 43 %. Если диаметр частиц заполнителя в 4 раза меньше, то его содержание в смеси должно быть увеличено до 67 %. В табл. 9.1 приведен зерновой состав оптимальных гравийно-песчаных смесей для лесовозных автомобильных дорог, рекомендованный Гипролестрансом (утвержден бывш. Минлеспромом СССР).

Качество гравийного материала значительно улучшается добавлением дробленых частиц (не менее 40—50 %), получаемых при дроблении гальки, валунов и т. п. (см. ГОСТ 10260—74).

Щебень и грунтощебень. Щебень, используемый для устройства покрытий и оснований дорожных одежд, должен отвечать по качеству требованиям ГОСТ 8267—75, 3344—73. Грунтощебень представляет собой смесь 40—70 % щебня и 30—60 % местного грунта оптимального зернового состава (как для гравийных смесей). Обработка щебня или гравия битумом или дегтем в установке или на дороге (пропиткой или смешением) значительно повышает их прочностные свойства и придает покрытию водонепроницаемость. В зависимости от темпе-

Таблица 9.1

Конструк- тивный слой	Количество частиц (% по массе), проходящих через сито с отверстиями, мм								
	120	70	40	20	10	5	2,5	0,63	менее 0,05
Основание	100	65—85	45—75	25—60	15—50	10—40	5—30	2—20	0—5
Покрытие: смесь № 1	—	100	60—85	35—70	20—60	15—50	10—40	8—25	2—7
смесь № 2	—	100	70—85	50—75	35—65	25—55	15—45	8—30	3—10

Примечания. 1. Толщина покрытия из подобранных смесей для двухслойных одежд принимается равной 10 см.

2. При наличии в конструкции дорожной одежды песчаного подстилающего слоя толщина последнего должна быть не менее 25 см.

3. Предел текучести фракций, проходящих через сито с отверстиями 0,63 мм, должен быть не более 25, а число пластичности не более 6.

4. Материал по прочности и морозостойкости должен быть 1—3 марок согласно ГОСТ 8268—74.

ратуры обработки различают холодные смеси, для которых используют битумы и битумные эмульсии в количестве 3—3,5 % массы щебня, а также теплые и горячие смеси, изготавливаемые с применением более вязких битумов, в количестве 6—6,5 %. При обработке щебня (гравия) на дороге потребность в битуме возрастает до 8—10 %.

Песок. Используется для устройства подстилающих, дренажных и морозозащитных слоев. Его качества определяются требованиями ГОСТ 8736—77. Коэффициент фильтрации должен быть не менее 1 м/сутки, а модуль крупности не менее 1,5.

Искусственные (керамические) каменные материалы. К ним относятся клинкерный щебень, керамзит, керамдор, аглопорит и др. Перечисленные материалы получают путем обжига глинистого сырья в специальных установках. Наиболее прочные из них — клинкерный щебень и керамдор, используют вместо каменного щебня в покрытиях и основаниях одежд, менее прочные — керамзит и аглопорит (требования к ним изложены в ГОСТ 9759—76 и ГОСТ 11991—76), используют в слоях оснований вместо гравийного материала. Применение керамических материалов в дорожном строительстве носит пока ограниченный характер.

Укрепленные грунты. Эти грунты широко используют для постройки слоев оснований и реже покрытий на дорогах общего пользования в СССР и за рубежом. Имеется положительный опыт применения укрепленных грунтов на нескольких лесовозных дорогах Коми АССР (Малоперская, Мадмасская и другие дороги). Покрытия и основания из укрепленных грунтов устраивают при отсутствии в районе строительства дороги гравийных материалов или щебня, а также когда постройка kolejных покрытий из железобетонных плит невыгодна.

Основания и покрытия из укрепленных грунтов можно предусматривать во II и III дорожно-климатических зонах при первом типе местности, а при втором типе — при высоте насыпи более 1 м [37]. Для укрепления песчаных и супесчаных грунтов, как правило, применяют цемент. Получаемый при этом материал — цементогрунт — имеет кристаллическую структуру и обладает значительной жесткостью. При обработке грунтов известью получают известегрунт, который по структуре близок к цементогрунту, но имеет небольшую морозостойкость. Поэтому известегрунт чаще используют в слоях основания одежды.

При обработке грунта битумом (битумной эмульсией) получают битумогрунт, имеющий коагуляционную структуру, обладающий способностью восстановления структурных связей и хорошо поглощающий ударные нагрузки, однако прочность его ниже, чем цементогрунта. При обработке связных грунтов битумом весьма целесообразно введение в грунт извести-кипелки, которая оказывает не только осушающее влияние (что важно при повышенной влажности грунта), но и активизирует поверхность частиц грунта к абсорбционному взаимодействию с битумом. Кроме извести, в качестве активных добавок применяют хлористый кальций, хлорное железо и др. Большое значение для улучшения смачивания и обволакивания частиц грунта битумом имеет использование поверхностно-активных добавок, к числу которых относятся амины, диамины, древесная и торфяная смолы, синтетические жирные кислоты, кальциевые и железистые соли этих кислот, фенолы и др.

В последние годы большое распространение получил комплексный метод укрепления грунтов, при котором используют несколько вяжущих материалов или один основной материал, но с добавкой других вяжущих в небольшом количестве. Такая комплексная обработка грунта позволяет значительно улучшить его физико-механические свойства и расширить виды грунтов, пригодных для укрепления.

В инструкции [37] приведены рекомендации по применению различных методов укрепления грунтов.

Потребность в вяжущих зависит от рода вяжущего, зернового состава грунта и метода обработки (на дороге или в устанковке) и колеблется для покрытий от 8—10 % (для супесей) до 14—15 % (для тяжелых суглинков), для оснований от 4—5 % до 10—12 % (основное вяжущее — цемент).

Отходы промышленности. Отходы промышленных предприятий, в частности, шлаки металлургические (см. ГОСТ 3344—73) и топочные, асбестовая мелочь, зола каменноугольная, фосфогипс, нефелиновый шлам, сульфатные и сульфитные щелоки, древесные смолы, нефте-шламы, пеки и другие, обладают вяжущими свойствами. Их добавка может обеспечить значительную экономию основного вяжущего [31, 37].

§ 3. ОСНОВЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Общие положения. Дорожная одежда представляет собой сложную слоистую конструкцию из различных материалов, свойства которой меняются в зависимости от влажности, температуры, времени воздействия нагрузки, интенсивности движения и т. д. Она опирается на грунтовое основание, также резко меняющее свои физико-механические свойства в течение года.

Расчет дорожной одежды заключается в определении необходимой толщины как всей одежды в целом, так и отдельных ее слоев. Движущиеся по дороге автомобили создают своими колесами горизонтальные и вертикальные усилия, приложенные к поверхности дороги. К горизонтальным усилиям относятся сила тяги автомобиля, тормозные силы, центробежная сила, возникающая на кривых участках и при обгоне, и др. Они действуют в основном лишь на верхний слой одежды (покрытие), вызывая его износ.

Вертикальные силы (вес автомобиля и динамические усилия, возникающие в результате колебаний рессор, сотрясений на ухабах и неровностях дороги и т. п.) вызывают напряженное состояние во всей одежде и в грунте земляного полотна дороги (рис. 9.2). Поэтому расчет одежды ведется на вертикальные силы, а влияние горизонтальных сил учитывается некоторым увеличением толщины покрытия против его значения, полученного по расчету или же устройством слоя износа (поверхностной обработки), не учитываемого при расчете одежды.

Давление колеса с пневматической шиной передается на дорогу упруго, причем след колеса имеет эллиптическую форму. Для удобства расчетов площадь следа приводят к эквивалентной (равновеликой) площади круга диаметром (рис. 9.3).

$$D = \sqrt{\frac{4gP}{10^6 \pi p}} = 0,00353 \sqrt{\frac{P}{p_0 \lambda_{ж}}}, \quad (9.4)$$

где D — диаметр эквивалентного круга; m ; P — масса, приходящаяся на колесо, кг; p — величина среднего удельного давления колеса на дорогу, МПа; p_0 — давление воздуха в шине, МПа; $\lambda_{ж}$ — коэффициент, учитывающий жесткость покрышки и равный 1,1—1,14.

Замена двух действительных отпечатков следа спаренного колеса автомобиля одним эквивалентным по площади кругом создает в расчете более тяжелые условия работы верхнего слоя одежды под нагрузкой. Правильнее рассматривать воздействие на дорогу каждой шины колеса в отдельности [13]. Создаваемые колесами вертикальные силы создают в дорожной конструкции напряженное состояние и вызывают деформации, которые при

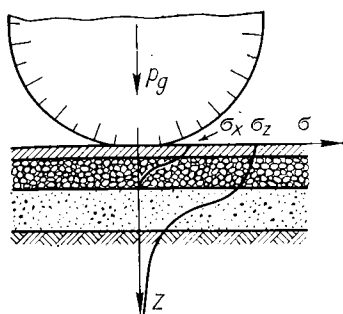


Рис. 9.2. Распределение напряжений в дорожной конструкции от горизонтальных сил σ_x и вертикальных σ_z

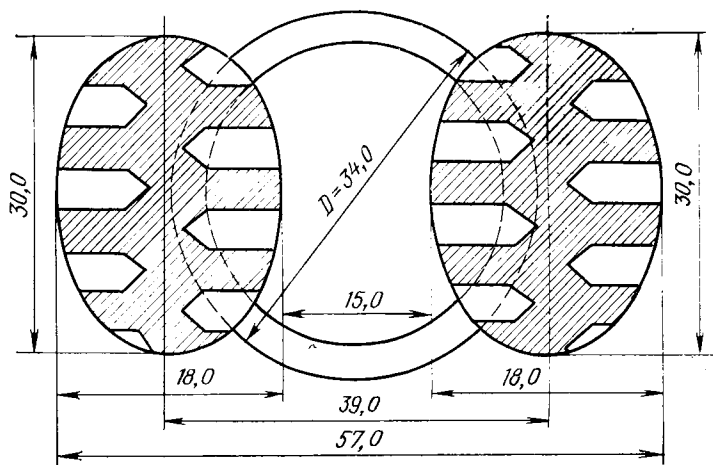


Рис. 9.3. Действительные отпечатки спаренных колес автомобиля и эквивалентный им по площади круг (размеры в см)

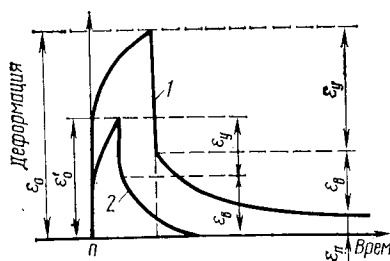


Рис. 9.4. Характер протекания деформации дорожной одежды под нагрузкой во времени: 1 — в упруго-вязко-пластичной стадии; 2 — в упруго-вязкой стадии

определенной ограниченной внешней нагрузке могут иметь преимущественно обратимый характер (рис. 9.4).

При увеличении нагрузок появляются остаточные, не восстанавливающиеся (пластические) деформации, приводящие с течением времени к разрушению одежды. В последнем случае соблюдается равенство

$$\epsilon_0 = \epsilon_y + \epsilon_v + \epsilon_n, \quad (9.5)$$

где ϵ_0 — общая деформация одежды; ϵ_y — упругая деформация; ϵ_v — вязкая (тоже обратимая с течением времени) деформация; ϵ_n — пластичная (невосстанавливающаяся) деформация.

Воздействие нагрузки от движущихся автомобилей на дорожную одежду резко отличается от воздействия нагрузок на

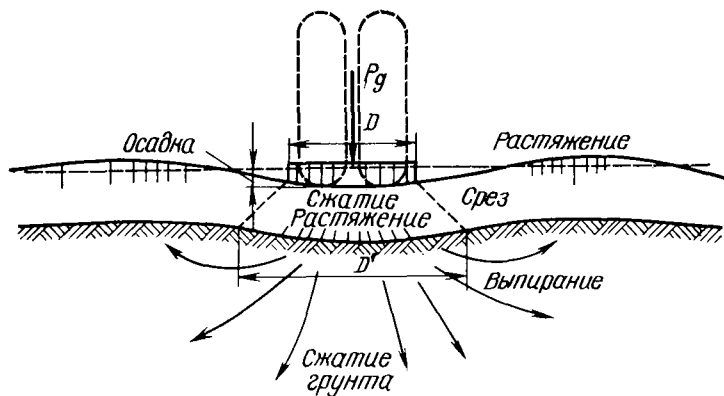


Рис. 9.5. Деформации дорожной одежды под действием колеса (на пределе прочности)

основание сооружений (статическая нагрузка). Воздействие автомобильного колеса на дорогу нельзя рассматривать как нагрузку четко динамического характера, так как она передается через упругие пневматические шины, хотя и действует в течение короткого периода, быстро нарастая и снижаясь. При этом деформации одежды и грунта основания не успевают полностью проявиться и поэтому при движении автомобилей дорожная одежда прогибается меньше, чем на остановке. Для грунта земляного полотна и подстилающего слоя одежды это равносильно уменьшению приложенного от колеса давления. С учетом сказанного при расчете одежды динамический коэффициент в явной форме не вводится, а динамические явления учитываются в поправочном коэффициенте на повторность приложения нагрузки.

Деформация одежды под нагрузкой протекает по схеме рис. 9.5. Под колесом образуется чаша прогиба, в зоне

которой происходит сжатие материала в верхних слоях покрытия и растяжение в нижних слоях одежды. В нижних малосвязных слоях появление растягивающих напряжений может вызвать сдвиг частиц и остаточные деформации. При многократном приложении нагрузки прочность слоев одежды снижается в связи с износом и перемещением частиц, образующих скелет материала (явление усталости).

Грунт и малосвязные материалы одежды (гравий, песок, щебень) хорошо работают только на сжатие, не выдерживая растягивающих напряжений. Лишь такие материалы как асфальтобетон, укрепленные грунты могут выдержать небольшие растягивающие напряжения.

Исследования, выполненные в СССР [28, 40] в области теории расчета нежестких одежд, привели к созданию современной методики расчета, изложенной в инструкции ВСН 46—72 [38]. В основу этого метода, разработанного под руководством проф. Н. Н. Иванова при активном участии проф. А. М. Кривисского, М. Б. Корсунского и ряда других советских ученых, приняты следующие основные положения: 1) дорожную одежду и земляное полотно рассматривать как слоистое упругое полупространство; 2) основным критерием прочности дорожной одежды считать величину ее допускаемого упругого прогиба; 3) в качестве основных показателей, характеризующих прочность (точнее, деформативные свойства) дорожно-строительных материалов, грунтов и дорожной одежды, принять модули упругости; 4) конструкции дорожных одежд с усовершенствованными покрытиями проверять по следующим дополнительным критериям: несвязные слои — на устойчивость против сдвига, связные (монолитные) слои — на растягивающие напряжения и одежды в целом — на морозостойкость.

За рубежом применяют различные методы расчета дорожных одежд. В ряде социалистических стран, а также в Швеции, Норвегии, Финляндии применяют способы расчета, аналогичные или близкие принятому в СССР методу. В США, Англии, Канаде, Японии используют эмпирические кривые зависимости толщины одежды от нагрузки на колесо, рода грунта и материалов, для характеристики которых используют показатель CBR (калифорнийское число несущей способности) [40]. Ниже приведен расчет нежестких дорожных одежд.

Основы расчета дорожных одежд по допускаемому упругому прогибу. Дорожные одежды представляют собой сложные системы из слоев с различными жесткостями, лежащих на грунтовой массе, принимаемой за упругоизотропное полупространство. С учетом принятого выше основного критерия прочности дорожная одежда должна иметь под расчетной нагрузкой упругий прогиб $l_{уп} \leq l_{доп}$ (допускаемого упругого прогиба). Используя известную из курса дорожного грунтоведения зависимость между прогибом и модулем упругости, можно

написать следующую формулу, определяющую требуемую прочность одежды:

$$E_{\text{тр}} = \frac{pD}{l_{\text{доп}}} (1 - \mu^2) k_{\text{п}} k_{\text{х}}, \quad (9.6)$$

где $E_{\text{тр}}$ — требуемый модуль упругости одежды, МПа; p — удельное давление колеса на дорогу, МПа; D — диаметр экви-

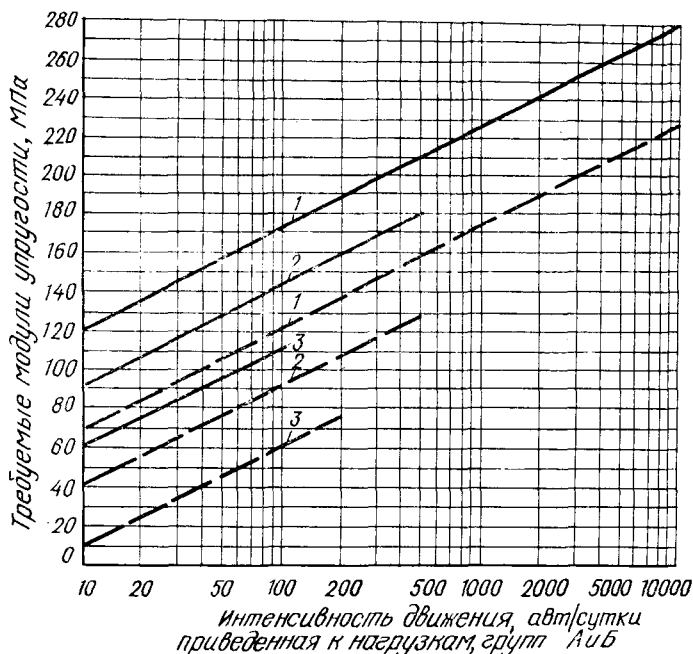


Рис. 9.6. График для определения требуемых общих модулей упругости одежды:

1 — усовершенствованные капитальные покрытия; 2 — усовершенствованные облегченные покрытия; 3 — переходные; сплошные линии — для автомобилей группы А, пунктирные — для группы Б

валентного круга, м; μ — коэффициент Пуассона (0,3); $k_{\text{п}}$ — коэффициент, учитывающий влияние повторности приложения расчетной нагрузки; $k_{\text{х}}$ — коэффициент, учитывающий влияние

Таблица 9.2

Тип автомобиля	Коэффициент α в зависимости от типа покрытия		
	Переходное	Облегченное усовершенствованное	Капитальное
Группа А	+10	+43	+73
Группа Б	-40	-10	+20

типа колес (для двухскатных он равен 1, для односкатных 1,33 и для широкопрофильных 1,1—1,15); величина $l_{\text{доп}}$ зависит от капитальности проектируемой одежды и интенсивности движения (например, при интенсивности 200 автомобилей группы А в сутки 1 мм для капитальных покрытий и 1,6 мм для одежд переходного типа).

Величину $E_{\text{тр}}$ удобно определять по графику-номограмме (рис. 9.6) или по формуле

$$E_{\text{тр}} = a + 50 \lg N, \quad (9.7)$$

где N — приведенная интенсивность движения, авт/сутки; a — коэффициент, значения которого приведены в табл. 9.2.

Графиком-номограммой (рис. 9.6) предусматривается работа дорожных одежд переходного типа с допущением некоторого накопления остаточных деформаций.

Инструкцией [38] установлены минимальные значения требуемых общих модулей упругости одежды: для IV категории дорог от 85 (переходные) до 150 МПа (капитальные), для V категории соответственно от 65 до 90 МПа. На ветках со сроком действия не более 5—7 лет (т. е. меньше периодичности капитальных ремонтов одежды) временный характер их работы рекомендуется учитывать введением коэффициента 0,85—0,9 при определении $E_{\text{тр}}$.

Величина N определяется по формуле

$$N = \delta \left(\frac{Q_{\text{лет}}}{T_{\text{лет}} Q_{\text{пол}}} \sum_i^{\alpha} k_{\text{пр}} + N_{\text{пр}} k_{\text{пр}} \right), \quad (9.8)$$

где δ — коэффициент, учитывающий движение порожняка по грузовой полосе и равный 1,0—1,1; $Q_{\text{лет}}$ — расчетный объем вывозки леса за неморозный период, м³; $T_{\text{лет}}$ — продолжительность этого периода, сут.; α — количество грузонесущих осей в поезде (т. е. всех осей, за вычетом передней оси автомобиля); $k_{\text{пр}}$ — коэффициент приведения каждой оси к расчетной; $N_{\text{пр}}$ — суточная интенсивность движения прочего (нелесовозного) транспорта.

Величину $k_{\text{пр}}$ принимают по табл. 9.3.

Определив $E_{\text{тр}}$, выбирают в зависимости от наличия дорожно-строительных материалов конструкцию дорожной одежды и приступают к расчету толщины ее слоев, исходя из того, чтобы общий (эквивалентный) модуль упругости одежды был не менее требуемого, т. е. $E_{\text{об}} \geq E_{\text{тр}}$.

Для двухслойной системы (однослойная одежда + земляное полотно) задача заключается в установлении такой толщины слоя h , при которой общий модуль упругости системы отвечал бы приведенному выше неравенству.

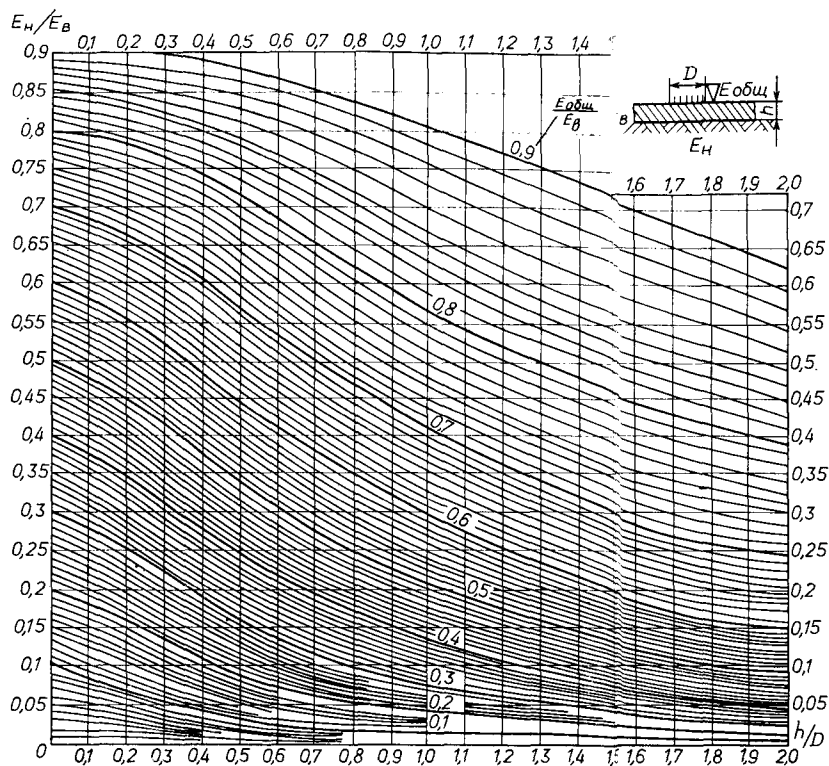


Рис. 9.7. График-номограмма для определения общего модуля упругости $E_{об}$ двухслойной системы (цифры на кривых означают отношение общего модуля упругости двухслойной системы к модулю материала верхнего слоя E_b).
Модуль материала нижнего слоя (грунта) E_n

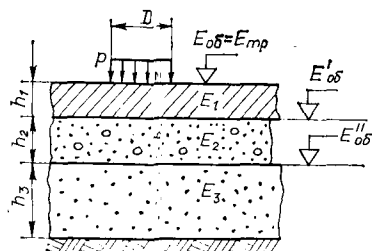


Рис. 9.8. Схема для расчета многослойных одежд

Зависимость $E_{об} = f(D, E_n, E_b, h)$ (где E_n — модуль упругости грунта; E_b — модуль упругости материала одежды) была установлена Б. И. Коганом (ХАДИ) и имеет весьма сложное аналитическое выражение [40]. Поэтому для расчетов $E_{об}$ используют график-номограмму, составленную Ленифилом Союздорнии, на которой в координатах E_n/E_b и h/D в виде семей-

Таблица 9.3

Расчетный автомобиль	Коэффициент $k_{пр}$ при нагрузке на ось приводимого автомобиля (ропуска), т					
	4	6	7	8	9,5	10
Группа А	0,02	0,1	0,36	0,43	0,68	1,0
Группа Б	0,20	1,0	—	—	—	—

Примечание. Нагрузку на ось двойных задних мостов и двухосных роспусков при расстоянии между осями 1,3—1,4 м следует принимать с коэффициентом 1,2 для учета влияния соседней близко расположенной оси.

ства кривых даны отношения $E_{об}/E_v$ (рис. 9.7). Пользуясь этой номограммой, можно решить две задачи: 1) установить $E_{об}$ для системы с заданными значениями E_n , E_v , h , D ; 2) определить необходимую толщину одежды h , задаваясь E_n , E_v , D

Таблица 9.4

Род грунта	Характеристика грунтов	Модули упругости грунтов при относительной влажности $W_{от}$				
		0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
Супесь легкая (непылеватая)	E , МПа	39	37	35	—	—
	Φ , град	34	34	33	—	—
	c , МПа	0,010	0,009	0,008	—	—
Супесь пылеватая, суглинки и глины	E , МПа	34	28	24	21	20
	Φ , град	18	15	13	11	10
	c , МПа	0,019	0,015	0,01	0,007	0,005

Примечание. Для II дорожно-климатической зоны принимают относительную влажность (в долях от границы текучести): в первом типе местности 0,7; 0,75—0,8; во втором — 0,75; 0,8; 0,85; и третьем типе 0,8; 0,85; 0,9 (первая величина — для легких супесей; вторая — для суглинков и глин, третья — для супесей пылеватых и суглинков пылеватых). Для I зоны значения $W_{от}$ принимают на 0,05 больше.

и $E_{об} = E_{тр}$. Для решения последней задачи нужно составить отношения E_n/E_v и $E_{тр}/E_v$, найти на номограмме точку пересечения горизонтальной линии с координатой E_n/E_v и кривой, отвечающей отношению $E_{тр}/E_v$, и из этой точки опустить перпендикуляр на ось абсцисс, получив таким образом значение h/D , зная которое нетрудно найти h .

Расчет многослойной одежды ведется в несколько приемов по числу слоев одежды и заключается в определении эквива-

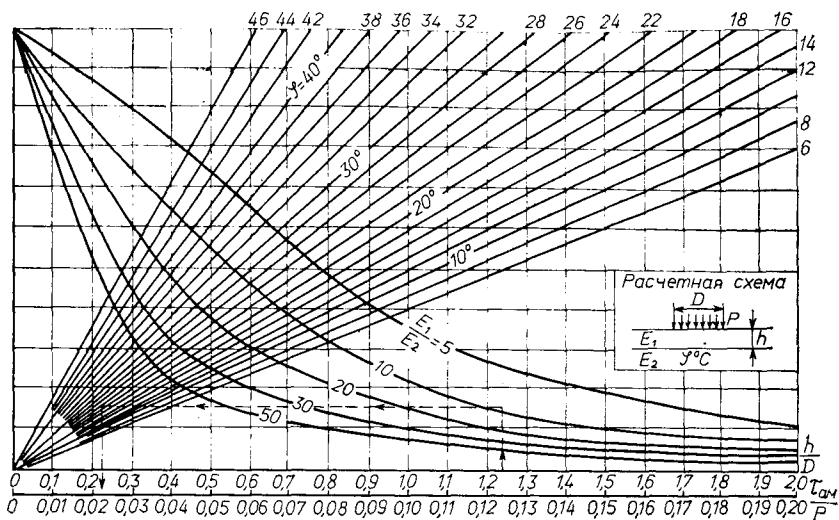


Рис. 9.9. Номограмма для определения активных напряжений сдвига $\tau_{a,m}$ в нижнем слое двухслойной системы от подвижной нагрузки (при совместной работе слоев)

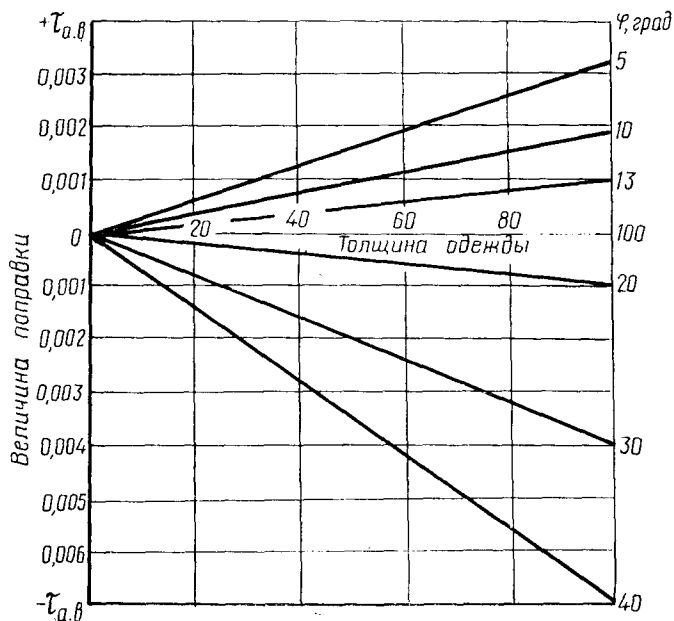


Рис. 9.10. Номограмма для определения активных напряжений сдвига $\tau_{a,b}$ от собственного веса одежды

Материал	Характеристики, МПа	
	E	R_a
Асфальтобетон	700—1500	1,0—2,0
Черный щебень	600—900	1,0—1,2
Черный гравий	400—550	0,8—1,0
Укрепленные цементом:		
щебень	400—700	0,2—0,4
песчано-гравийные смеси	300—400	0,2—0,3
супеси	200—400	0,2—0,3
суглинки	150—250	0,15—0,2

Примечания. 1. Черным щебнем (гравием) назван материал, обра-
 2. Для обработанных вяжущими грунтами, гравия и щебня — большие
 3. Характеристики других материалов приведены в инструкции [38].

лентного модуля упругости на поверхности каждого слоя одежды (рис. 9.8), начиная с верхнего слоя. Толщину нижнего слоя определяют как для однослойной одежды, находящейся на земляном основании. Толщиной остальных слоев одежды задаются.

При решении задач оптимизации конструкций дорожной одежды с применением ЭВМ или вручную, а также при автоматизации проектной работы использование сложных зависимостей Б. И. Когана или графика-номограммы весьма затруднительно. Поэтому в таких случаях пользуются упрощенными аналитическими выражениями зависимости $E_{об} = f(E_n, E_b, h, D)$, например, формулой Барбера [44].

Исследования [35] показали, что более точное решение задачи может быть получено при использовании формулы

$$E_{об} = \frac{E_n}{1 - \frac{2}{\pi} \left[1 - \left(\frac{E_n}{E_b} \right)^{1,33} \right] \arctg 1,1 \left(\frac{E_b}{E_n} \right)^{0,33} \frac{h}{D}}, \quad (9.9)$$

или более простой зависимости

$$E_{об} = E_n + \frac{k_n}{3,3D} \sum_{i=1}^n \frac{h_i^2 E_i}{0,1D + h_i}, \quad (9.10)$$

где k_n — поправочный коэффициент, равный 1,09 при $D=0,36$ м и 1,0 при $D \leq 0,34$ м; h_i — толщина слоев одежды, м; E_i — модули упругости материалов слоев.

При толщине слоев более 0,2 м формулу (9.10) можно упростить:

$$E_{об} = E_n + \frac{0,28}{D} \sum_{i=1}^n h_i E_i. \quad (9.10a)$$

Материал	Характеристики		
	E , МПа	φ , град	c , МПа
Грунты, укрепленные органическими вяжущими:			
супеси	150—250	25—35	0,02—0,035
суглинки	80—150	15—25	0,02—0,035
Щебень	200—450	—	—
Гравий подобранного состава:			
крупная смесь	200—250	45	0,2—0,05
мелкая смесь	150—200	35	0,02—0,05

ботанный битумом.

значения при обработке в установке, меньшие — смещением на дороге.

Значения расчетных характеристик связных грунтов приведены в табл. 9.4, материалов — в табл. 9.5.

По исследованиям Ю. М. Васильева и др., при наличии водонепроницаемых слоев одежды расчетная относительная влажность может быть снижена на $(0,05 \div 0,1) W_{от}$. При расстоянии от верха земляного полотна до УГВ или длительно стоящей верховодки более 1,4 м расчетная $W_{от}$ может быть снижена на 0,05, а при расстоянии более 1,8 м — на 0,1.

Для дренирующих малосвязных грунтов принимают: для крупного песка $E=130$ МПа и $\varphi=43^\circ$; для среднего песка $E=120$ МПа; $\varphi=40^\circ$; для мелкого песка $E=100$ МПа; $\varphi=38^\circ$; для пылеватого песка $E=50$ МПа; $\varphi=36^\circ$; для крупной легкой супеси $E=60$ МПа; $\varphi=35^\circ$.

Проверка несвязных слоев одежды с усовершенствованными покрытиями против сдвига. Из механики грунтов [40] известно, что условие устойчивости против возникновения сдвига выражается законом Кулона

$$\tau_{\max} \leq \sigma \operatorname{tg} \varphi + c \quad \text{или} \quad T_{\text{акт. макс}} \leq c. \quad (9.11)$$

А. М. Кривисский предложил левую часть неравенства (9.11) $T_{\text{акт. макс}} = \tau_{\max} - \sigma \operatorname{tg} \varphi$, называемую активным напряжением сдвига, определять по формуле

$$T_{\text{акт. макс}} = \tau_{a, \text{м}} + \tau_{a, \text{в}}, \quad (9.12)$$

где $\tau_{a, \text{м}}$ — максимальное активное напряжение сдвига от расчетной подвижной нагрузки, определяемое по номограмме (рис. 9.9); $\tau_{a, \text{в}}$ — активное напряжение от веса одежды, определяемое по графику (рис. 9.10).

С учетом этого получим расчетное неравенство

$$\tau_{a, \text{м}} + \tau_{a, \text{в}} \leq k_3 c, \quad (9.13)$$

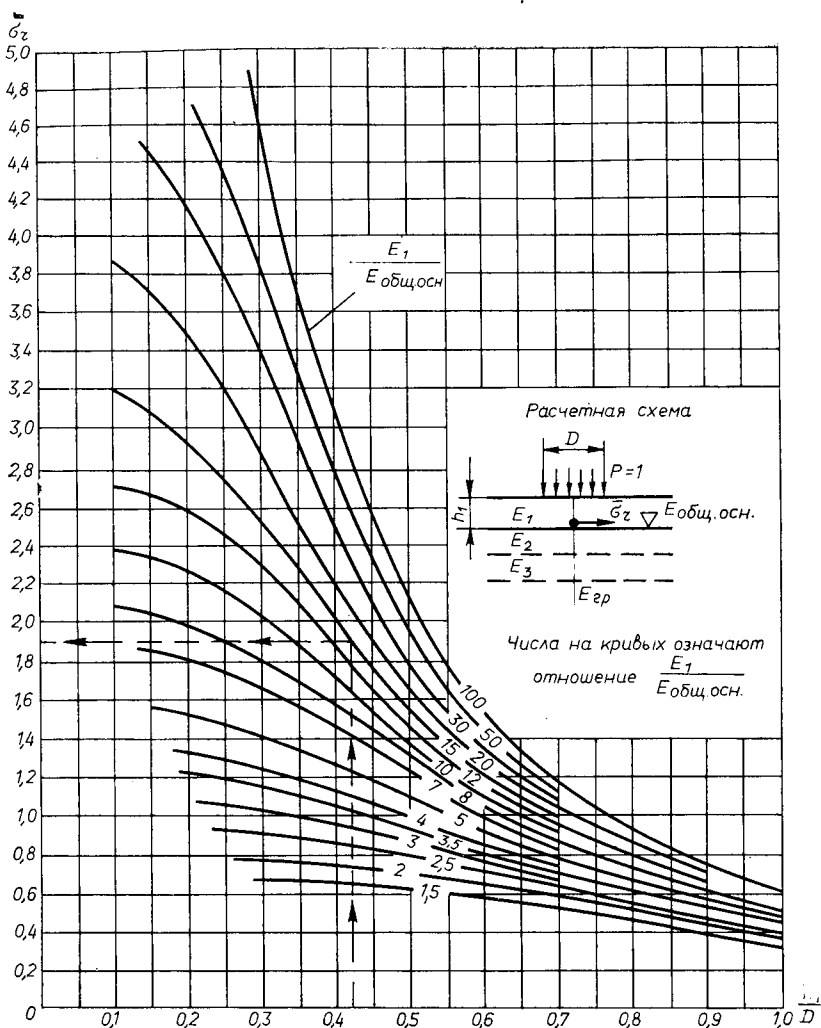


Рис. 9.11. Номограмма для определения растягивающих напряжений при изгибе σ_z от единичной нагрузки в верхнем монолитном слое

где k_3 — коэффициент запаса, принимаемый по формуле

$$k_3 = k'k''/k_{пр}, \quad (9.14)$$

где k' — коэффициент, учитывающий неоднородность условий работы одежды, равный 1 при малой интенсивности движения (до 100 авт/сутки) и 0,8 при интенсивности до 1000 авт/сутки; $k''=0,8$ для связных грунтов земляного полотна и 0,45 для несвязных (пески и пр.); $k_{пр}$ — коэффициент, учитывающий экс-

плуатационные требования к состоянию одежды (для капитальных покрытий равен 1, для усовершенствованных облегченных 0,95—0,85).

Правая часть неравенства (9.13) представляет собой допускаемое напряжение сдвига, в котором сцепление с принимается по табл. 9.4 и 9.5. Проверку на устойчивость конструктивного слоя или земляного полотна по сдвигу выполняют в следующем порядке: 1) определяют среднюю величину модуля слоев, расположенных выше расчетного, по формуле

$$E_{\text{ср}} = (E_1 h_1 + E_2 h_2 + \dots) / (h_1 + h_2 + \dots); \quad (9.15)$$

2) вычисляют правую часть неравенства (9.13); 3) находят по номограмме (см. рис. 9.9) величину $\tau_{a.m}$ (на номограмме она дана для давления $p = 0,1$ МПа) и умножают на p_p/p , где p_p — давление расчетного автомобиля; 4) находят по номограмме (см. рис. 9.10) значение $\tau_{a.v}$ (при $\varphi > 18^\circ$ оно отрицательное); 5) сравнивают полученные значения правой и левой частей формулы (9.13) и, если это неравенство выдержано, устойчивость против сдвига расчетного слоя обеспечена.

Проверка связанных слоев одежд с усовершенствованными покрытиями на растяжение при изгибе. При проверке покрытия сначала устанавливают по формуле (9.15) средний модуль нижележащих слоев $E_{\text{общ. осн.}}$. Затем по номограмме (рис. 9.11) находят удельное растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$ и вычисляют полное его значение по формуле $\sigma_r = 1,15 p \bar{\sigma}_r$ (где p — удельное давление на покрытие). Сравнивая полученное σ_r с допускаемым, решают вопрос о достаточной прочности покрытия. При проверке промежуточных слоев одежды пользуются номограммой, приведенной в работах [38, 40]. Допускаемые значения σ_r (в МПа): для асфальтобетона 1,5—2,0; черного щебня (гравия) 0,8—1,2; гравия, укрепленного цементом, 0,2—0,4; цементогрунтов 0,15—0,2.

§ 4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

К основным мероприятиям, обеспечивающим морозоустойчивость одежды во втором и третьем типах местности (по условиям увлажнения), относятся: достаточное возвышение поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод, применение дренирующих грунтов (пески, супеси) для отсыпки насыпей, устройство морозозащитных слоев из морозостойких каменных материалов, применение теплоизолирующих материалов (керамзита, аглопорита и др.).

Наиболее целесообразное решение находят методом сравнения вариантов. В первом типе местности (при отсутствии пылеватых супесей), а для одежд переходного типа во всех типах местности с насыпями согласно табл. 3.1 специальные меро-

приятия по обеспечению морозоустойчивости не предусматриваются. В выемках и на участках насыпей с земляным полотном из слабофильтрующих грунтов во втором и третьем типах местности, а также в районах с выпадением большого количества осадков на вогнутых переломах продольного профиля под одеждой на всю ширину земляного полотна укладывают дренажные слои из песка, гравия, шлака и других материалов с коэффициентом фильтрации не менее 1—2 м/сутки. При устройстве дренажного слоя в корыте по краям корыта укладывают в ровики треугольного сечения дренажные трубы. Воду из этих дрен необходимо сбрасывать через каждые 250—300 м. Методика расчета дренажного слоя приведена в работах [28, 44].

Исследованиями Н. А. Пузакова, А. Я. Тулаева и др. [28] установлено, что во втором типе местности для обеспечения устойчивости дорожных одежд при неравномерном вспучивании грунтов в зимний период суммарная толщина слоев одежды должна быть не менее

$$H_{об} = \left(z_{пр} - \frac{100I_{доп}}{k_{пуч}} \right) \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \quad (9.16)$$

где $z_{пр}$ — максимальная глубина промерзания; принимают по карте изолиний в СНиП (см. рис. 3.6) с увеличением на 0,5 м для учета очистки снега с дороги, м; $I_{доп}$ — допускаемое пучение (для облегченных усовершенствованных покрытий 6 см и переходных 10 см); λ_1, λ_2 — коэффициенты теплопроводности материалов одежды и грунта (отношение λ_1/λ_2 можно принимать при суглинистых грунтах для цементобетона 0,44; асфальтобетона, гравия и щебня 0,57; песка 0,83); $k_{пуч}$ — коэффициент пучения, %, определяемый по формуле

$$k_{пуч} = 100\beta\gamma k_n/\alpha, \quad (9.17)$$

где α — климатический коэффициент, отражающий скорость проникновения температуры минус 1 °C в грунт; может быть определен по карте изолиний [см. 28, 38, 53] или по формуле

$$\alpha = 0,5z_{пр}^2 \cdot 10^4/T_3, \quad (9.18)$$

где $z_{пр}$ — глубина промерзания по данным метеостанций, м; T_3 — расчетная продолжительность зимнего периода, сутки; k_n — коэффициент пучения при $\alpha=100$ см²/сутки, равный 2 для супесей и 3 для пылеватых грунтов; β — коэффициент, равный 1,5 для второго типа местности и 1 для первого типа; γ — коэффициент, равный 1 при высоте насыпей ≥ 1 м и 1,5 для малых насыпей.

Если общая толщина дорожной одежды не отвечает формуле (9.16), то ее увеличивают за счет слоя из самого дешевого материала (песка).

Для участков дорог в третьем типе местности расчет одежды на морозоустойчивость выполняется по формуле

$$H_{об} = \frac{100(I_{пуч} - I_{доп})}{k_{пуч}} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \quad (9.19)$$

где $I_{пуч}$ — ожидаемая величина пучения, определяемая по формуле [28]

$$I_{пуч} = \frac{0,0077i}{\alpha} \left(2,3H_{г.в} \lg \frac{H_{г.в}}{H_{г.в} - z_{пр}} - z_{пр} \right), \quad (9.20)$$

где $H_{г.в}$ — глубина уровня грунтовых вод от поверхности земляного полотна; i — коэффициент, зависящий от рода грунта ($i=50$ для супесей и 300 для глин); остальные обозначения см. выше.

§ 5. ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

При конструировании дорожной одежды нужно учитывать следующие положения [1, 38, 40]:

1) количество слоев одежды не должно быть значительным, чтобы не осложнять строительство дороги: наилучшими будут 2—3-слойные одежды на магистрали и 1—2-слойные на ветках (не считая слоев износа или поверхностной обработки);

2) менее прочные материалы следует укладывать в нижележащие слои с таким расчетом, чтобы модули упругости материалов к поверхности постепенно повышались; отношение модулей упругости смежных слоев из слабосвязных материалов не должно превышать 5—6;

3) толщина отдельных конструктивных слоев одежды должна быть не менее (в см): для асфальтобетона 5—7; щебня и гравия, укрепленных вяжущими, 8 (при полупропитке 4); укрепленных грунтов 10; необработанных щебня, гравия и т. п. на песчаном основании 15 и на прочном основании 8—10;

4) толщина слоев одежды к поверхности дороги должна постепенно уменьшаться (это не относится к тонким в 5—6 см противозаиливающим слоям из крупнозернистого песка, высевок и т. п., которые целесообразно предусматривать на контакте гравийного или щебеночного слоя и земляного полотна из глинистых грунтов);

5) необходимо предусматривать отвод воды из корыта;

6) для укрепления кромки проезжей части целесообразно уширять нижние слои одежды на 20—30 см;

7) при устройстве основания из материалов, обработанных цементом, необходимо учитывать, что в нем могут появиться трещины при усадке; во избежание повторения трещин на покрытии толщина вышележащих слоев должна быть не менее 7—8 см;

8) для уменьшения общей толщины одежды целесообразно в необходимых случаях прорабатывать вариант улучшения верхней части земляного полотна путем замены местного грунта лучшим на высоту не менее 0,5 м;

9) обочины дорог с одеждой корытного профиля рекомендуются укреплять посевом трав, слоем песка или гравийной россыпью.

Проектировать дорожную одежду необходимо одновременно с установлением формы, размеров земляного полотна и в первую очередь рабочей отметки, т. е. разрабатывать дорожную конструкцию в целом.

Повышение рабочей отметки насыпи позволяет значительно уменьшить расчетную относительную влажность и увеличить расчетный модуль упругости грунта (рис. 9.12), что позволяет снизить требуемую толщину слоя основания одежды.

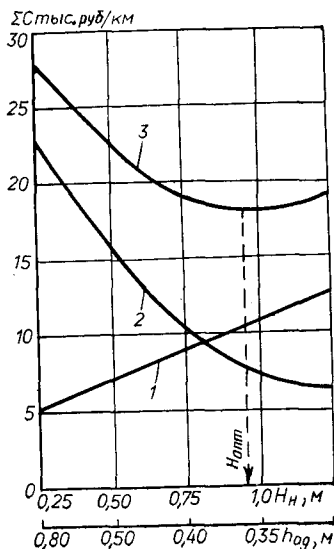
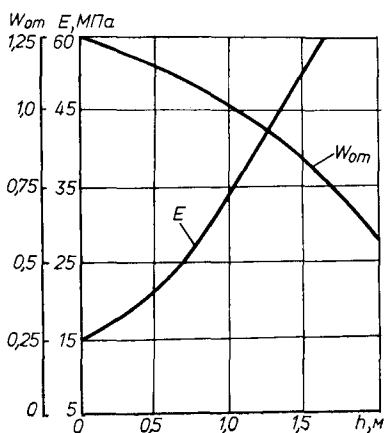


Рис. 9.12. Примерная зависимость относительной влажности $W_{от}$ и модуля упругости грунта (суглинок) весной от высоты насыпи

Рис. 9.13. Пример определения оптимальной рабочей отметки насыпи на однополосной дороге:

1 — зависимость стоимости постройки земляного полотна от высоты насыпи; 2 — зависимость стоимости постройки дорожной одежды; 3 — суммарные затраты на дорожную конструкцию; H_n — высота насыпи; $h_{од}$ — толщина гравийной одежды

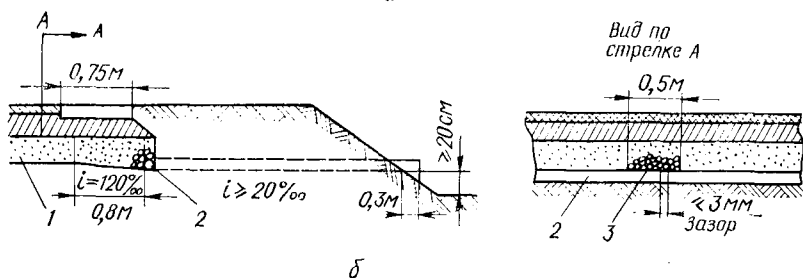
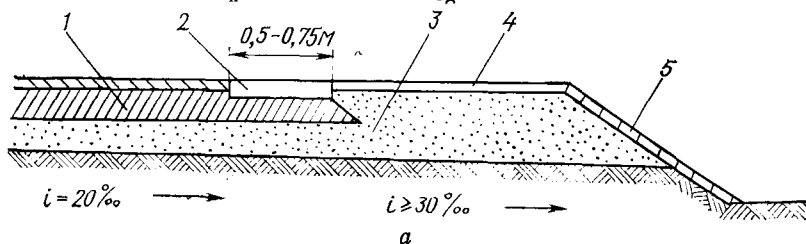


Рис. 9.14. Осушение корыта:

а — дренажными слоями на всю ширину земляного полотна: 1 — покрытие и основание; 2 — укрепительная полоса; 3 — дренарующий слой; 4 — укрепление поверхности обочин; 5 — засев откоса травами; б — продольным трубчатым дренажом с поперечными выпусками; 1 — дренарующий слой; 2 — труба диаметром 80—100 мм; 3 — фильтрующая обсыпка труб

Задачей проектировщика является поиск и установление оптимальной высоты насыпи путем сравнения нескольких вариантов (рис. 9.13).

В районах с влажным и холодным климатом материалы в покрытии на постоянных путях должны быть морозостойкими (Мрз 25 и более). В этих условиях на участках с неблагоприятными гидрологическими условиями в результате миграции влаги в морозозащитном слое одежды за зиму скапливается значительное количество воды, для отвода которой необходимо предусмотреть (для одежд с усовершенствованными покрытиями) дренирующие слои из хорошо фильтрующих материалов (среднего и крупного песка, гравия и др.) (рис. 9.14) или продольный трубчатый дренаж с поперечными выпусками. Методика расчета дренирующих устройств изложена в работах [28, 38, 44].

При конструировании дорожной одежды дорогу делят на участки с одинаковыми условиями проектирования (тип расчетного автомобиля, интенсивность движения, грунтовые и гидрологические условия и т. д.) и расчет конструкции для каждого участка выполняется индивидуально.

§ 6. ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

При оптимизации основным критерием принимают минимум удельных приведенных затрат (т. е. затрат, отнесенных к 1 м² одежды). При приблизительно равных эксплуатационных качествах одежды (ее ровность, расходы по содержанию и др.) критерием оптимизации может быть минимум строительных затрат на 1 м² одежды. Для оптимизации дорожной одежды разработаны методы и программы с применением ЭВМ [44], основанные, как правило, на принципе направленного выбора вариантов.

На лесовозных дорогах применяют дорожные конструкции с ограниченным количеством конструктивных слоев (1—3, редко больше). Оптимизация таких конструкций может быть выполнена и при счете вручную.

При оптимизации однослойных одежд приходится решать следующие вопросы: 1) при тяжелых или пылеватых суглинках, супесях и глинах целесообразность замены грунта верхней части насыпи (на 0,5—0,6 м) дренирующим грунтом с более высоким значением E_0 ; 2) увеличение высоты насыпи для этой же цели и 3) выбор материала одежды из нескольких возможных.

Первые две задачи решаются способом сравнения вариантов по методике, изложенной выше (см. с. 93). При выборе материала одежды можно использовать зависимость (9.10), из которой можно получить, что материал № 1 с модулем E_1 и

стоимостью постройки 1 м² слоя толщиной 1 см S_1 будет выгоднее материала № 2 с E_2 и S_2 , если

$$S_1 h_1 < S_2 h_2, \quad \text{или} \quad S_1 < S_2 \frac{h_2}{h_1} = S_2 \beta \frac{E_1}{E_2}. \quad (9.21)$$

Из формулы (9.10) видно, что

$$\beta = \frac{h_1 (0,1D + h_2)}{h_2 (0,1D + h_1)}. \quad (9.22)$$

Величина β изменяется в ограниченных пределах. Можно принимать $\beta = 1,05 \div 1,09$ (при $E_1 < E_2$) и $0,92 \div 0,95$ (при $E_1 > E_2$).

При оптимизации многослойной одежды толщину покрытия принимают минимально допустимой по строительно-технологическим и эксплуатационным соображениям (см. с. 189). Поэтому при оптимизации, например, трехслойной одежды можно варьировать толщиной лишь двух нижних слоев — основания и подстиляющего. При этом необходимо соблюдение следующих условий:

$$E'_{об} = E'_{тр}; \quad S_{п} > S_{ос} > S_{п.с}; \quad h_{ос} + h_{п.с} = h_{об} - h_{п}; \quad (9.23)$$

$$S_{ос} h_{ос} + S_{п.с} h_{п.с} = \min,$$

где $E'_{об}$ и $E'_{тр}$ — общий и требуемый модули на поверхности слоя, лежащего под покрытием (основание); $S_{п}$, $S_{ос}$, $S_{п.с}$ — стоимость постройки 1 м² слоя покрытия, основания и подстиляющего толщиной 1 см; $h_{об}$ — общая толщина одежды, установленная расчетом на морозостойкость; $h_{п}$, $h_{ос}$, $h_{п.с}$ — толщина слоев покрытия, основания и подстиляющего, см.

Пользуясь формулой (9.10а), получим

$$h_{ос} = \frac{3,57 (E'_{тр} - E_0) - (h_{ос} - h_{п}) E_{п.с}}{E_{ос} - E_{п.с}}, \quad (9.24)$$

где E_0 — модуль упругости грунта, МПа;

$$h_{п.с} = h_{об} - (h_{п} + h_{ос}). \quad (9.25)$$

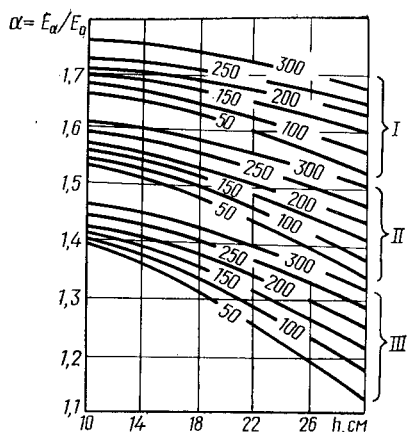
Если расчет на морозостойкость одежды не производится, то минимум стоимости одежды будет при замене обоих нижних слоев одним, отвечающим неравенству (9.21).

§ 7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ (СТМ)

Введение в дорожную конструкцию СТМ под подстиляющий слой или в активную зону земляного полотна обеспечивает повышение ее прочности, так как в этом случае происходит как бы армирование грунта с повышением его сопротивляемости растягивающим усилиям. Кроме того, СТМ служит защитным

Рис. 9.15. Номограмма для расчета дорожных конструкций с земляным полотном, армированным синтетическими текстильными материалами:

I — для материалов с модулем упругости $E_d > 9 \text{ кН/м}$; *II* — для материалов с $E_d = 4,0 \div 8,0 \text{ кН/м}$; *III* — для материалов с $E_d = 2 \div 3,9 \text{ кН/м}$. Цифры на кривых означают величину сжимающих напряжений под верхним слоем (в кПа)



слоем, препятствующим проникновению грунтовых частиц в вышележащий дорожно-строительный материал.

Гипродорнии предложил номограмму (рис. 9.15), позволяющую определить повышения модуля упругости грунта при применении СТМ. На номограмме изображены три семейства кривых, соответствующие показателям прочности СТМ: *I* — семейство кривых для материала с $E_d > 9 \text{ кН/м}$; *II* — с $E_d = 4 \div 8 \text{ кН/м}$; *III* — с $E_d = 2 \div 4 \text{ кН/м}$, где E_d — модуль деформации текстильных тканей.

Дорожная конструкция приводится к двухслойной системе с соответствующими общими модулями упругости. За границу раздела принимают или уровень заложения слоя СТМ (в этом случае принимают $h = 10 \text{ см}$) или уровень поверхности лежащего над СТМ грунтового слоя. Цифры на оси абсцисс означают толщину вышележащего грунтового слоя h . Для полученной двухслойной системы определяют напряжение сжатия σ под верхним слоем. Зная σ и h , находят $\alpha = E_\alpha/E_0$ на оси ординат и из этого отношения определяют E_α — модуль упругости грунта, армированного СТМ. После этого проводят перерасчет дорожной одежды и находят уменьшенные толщины конструктивных слоев.

Величину σ можно определить по приближенной формуле

$$\sigma = \frac{0,85p}{1 + \left(\frac{h}{D}\right)^2 \cdot \left(\frac{E_b}{E_n}\right)^{2/3}}, \quad (9.26)$$

где E_b — общий модуль упругости слоев, лежащих выше линии раздела; E_n — то же лежащих ниже этой линии; остальные обозначения см. выше.

Кроме армирования земляного полотна дороги, слой СТМ может служить и дренарующей прослойкой, если его уложить непосредственно под одеждой с выходом полотнищ на откосы. По данным Союздорнии, СТМ можно использовать в качестве капиллярно-прерывающих прослоек (в глинистых грунтах).

В СССР (г. Чернигов) выпускается рулонный нетканый СТМ (дорнит) с модулем упругости $E_d = 2,5 \div 5,0$ кН/м в рулонах, массой 1 м^2 425 г, толщиной 4,36 мм, шириной 1,5 м, с коэффициентом фильтрации 35—40 м/сут.

§ 8. КОЛЕЙНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Основные виды колейных покрытий. На лесовозных автомобильных дорогах применяют колейные покрытия:

а) из отдельных железобетонных элементов — дорожных плит (рис. 9.16), укладываемых на слой песка, толщиной до 0,3—0,4 м;

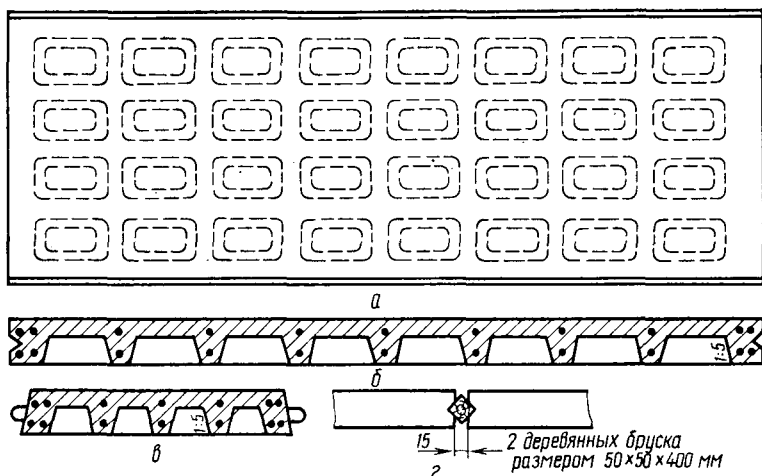


Рис. 9.16. Дорожная железобетонная плита для колейных покрытий постоянного типа с упруго-податливыми стыками ГОСТ 15.466—70, ОСТ 13-79—79:

а — план плиты; б и в — продольный и поперечный разрезы; г — устройство стыка

б) из древесины с покрытием из дренирующего грунта и без такового, изготавливаемые на месте, а также сборной и сборно-разборной конструкции (из щитов).

Имеются опытные конструкции дорожных плит из бетона, асфальтобетона, стали, пластобетона и других материалов.

Колеевые покрытия из железобетонных плит применяют на постоянных путях лесовозных автомобильных дорог при отсутствии в районе строительства дороги гравийного материала, а также на усах сборно-разборного типа. Колеевые покрытия из железобетонных плит имеют ряд достоинств: высокую индустриальность дорожно-строительных работ; возможность повторного использования плит, что делает целесообразным их применение на усах; независимость вывозки леса от условий

погоды; малое сопротивление движению. К недостаткам можно отнести большую потребность в металле — до 20—22 т на 1 км однопутной дороги.

Колейные покрытия из древесины, изготавливаемые на месте, до настоящего времени находят широкое применение. Однако этот вид покрытия, хотя и обеспечивает круглогодичную работу автомобилей без перерывов на период весенней и осенней распутицы, имеет ряд существенных недостатков, в частности высокую трудоемкость строительства, основанного на применении преимущественно ручного труда, большой расход деловой древесины (до 800 м³ на 1 км покрытия) и краткий срок службы (4—5 лет).

В связи с указанным постройку постоянных путей с деревянным колейным покрытием нельзя рекомендовать. Такие покрытия можно устраивать лишь на отдельных коротких заболоченных участках веток со сроком действия до 10 лет.

Колейные покрытия из железобетонных плит. На рис. 9.17 представлены типовые поперечные профили колейных покрытий из железобетонных плит на лесовозных автомобильных дорогах.

На двухполосных дорогах в целях снижения стоимости строительства колейное покрытие устраивают, как правило, только для полосы движения грузового направления. Другая полоса укрепляется поверхностной россыпью гравийного материала.

В ЛТА разработан экономичный метод замены песка подстилающего слоя местным грунтом, укрепленным малыми дозами вяжущих (3—4 % цемента или извести). Укладка плит на шпалах-поперечинах или продольных лагах не допускается, так как плиты не рассчитаны на работу с опиранием на отдельные опоры. При укладке колесопроводов на кривых участках пути прямоугольными плитами в стыках образуются промежутки клиновидной формы, которые на кривых малых радиусов могут быть значительными и ослабить путь на стыках. Поэтому для укладки колесопроводов на кривых следует использовать трапециевидные плиты.

На рис. 9.18 видно, что для укладки колесопроводов на кривых минимального радиуса R_{\min} без промежутков в стыках разница в длине оснований трапеции плиты $\Delta l = l_{\max} - l_{\min}$ должна быть (считая по наружному колесопроводу)

$$\Delta l = \frac{\pi ab}{180} = \frac{l_p b}{R_{\min} + 0,5(m + b)}, \quad (9.27)$$

$$\text{откуда} \quad R_{\min} \cong l_p b / \Delta l.$$

При радиусе кривой, равном R_{\min} и вычисленном по формуле (9.27), все плиты на каждом колесопроводе следует укладывать короткой стороной внутрь кривой. При радиусах боль-

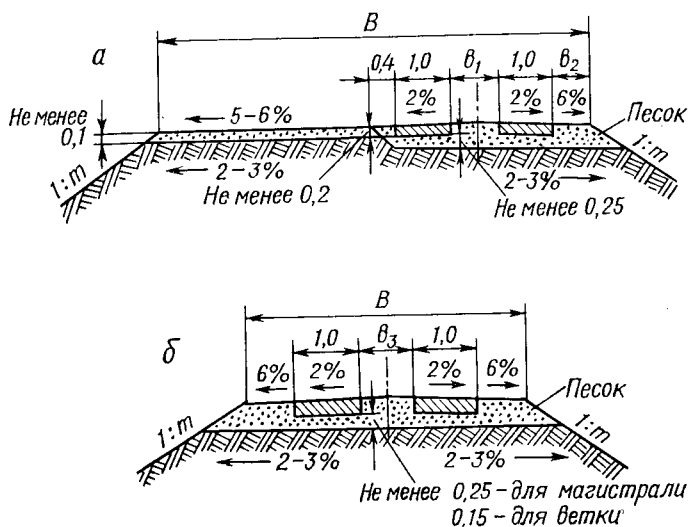


Рис. 9.17. Типовые поперечные профили колеиных покрытий из железобетонных плит на постоянных путях:

a — на двухполосных дорогах: $b_1=0,9$ м для автомобилей типа МАЗ и $b_1=1$ м для автомобилей типа КраЗ; $b_2=1,5$ м для дорог IVA категории и 1 м для дорог IVB категории; *б* — на однополосных дорогах; $b_3=b_1=0,9 \neq 1,0$ м; значения B см. в табл. 8.1

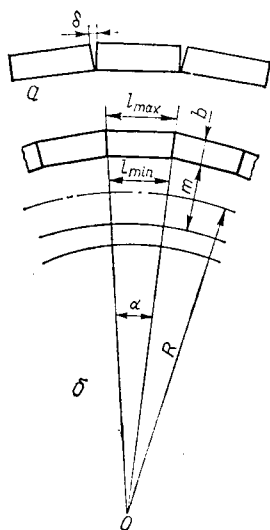


Рис. 9.18. Схемы укладки дорожных плит на кривых участках пути:

a — при прямоугольной форме плит;
б — при трапециевидной форме плит

шей величины плиты укладывают частично короткой, частично длинной стороной внутри кривой. Трапецеидальные плиты можно укладывать и на прямых участках пути так, чтобы короткие и длинные стороны каждой плиты чередовались.

ОСТом 13-79—79 «Плиты железобетонные для покрытий автомобильных лесовозных дорог», заменившим ГОСТ 15466—70 того же наименования, предусмотрено изготовление плит из бетона марки 300 и 400 (для предварительно напряженных конструкций) двух типов: ребристые (ячеистые) с основными размерами $3 \times 1 \times 0,14(0,18)$ м, марок ПДЗ (прямоугольные в плане) и ПДТЗ (трапецеидальные) и $6 \times 1 \times 0,14$ (преднапряженные) марок ПД6 и ПДТ6 (соответственно прямоугольные и трапецеидальные).

ОСТом предусмотрен выпуск плит ПДЗ и ПДТЗ трех групп по прочности: 1) легкая, для расчетного положительного $M_{изг}$ до 17 кН·м; 2) средняя для $M_{изг} = 17 \div 21$ кН·м и 3) тяжелая — для $M_{изг} > 21$ кН·м. Плиты различных групп отличаются размерами ячеек по длине и ширине (наибольший размер ячеек в плане для 1-й группы 350×225 мм) при неизменном количестве ячеек $8 \times 4 = 32$. При маркировке плит согласно ГОСТ 23009—78 цифра перед ОСТ означает номер группы, например ПДЗ-1 ОСТ 13-79—79. При маркировке преднапряженных плит указывают марку арматуры, например плиты с напряженной арматурой класса А-IV второй группы имеют марку ПДТ6-2AIV ОСТ 13-79—79.

Наличие ячеек на нижней поверхности плит обеспечивает лучшее сцепление их с грунтом и дает экономию бетона. Расход материалов на изготовление 1 м² плиты составляет: бетона 0,11—0,12 м³, стали 10—11 кг (для плит, применяемых на усах, до 17 кг). Для плит с предварительно напряженной арматурой расход цемента на 15 % и арматуры на 15—20 % меньше.

Основы расчета плит на прочность. Упругоподатливые стыки (см. рис. 9.16, г) не обеспечивают передачу нагрузки на соседние плиты и поэтому плиты на прочность рассчитывают без учета стыковых связей.

Предварительно разрабатывают конструкцию плиты, затем выполняют ее поверочный расчет с учетом указаний СНиПа [56] и [49]. Прочность дорожного покрытия из плит зависит от свойств материала плит, их конструкции и характера основания. Температурные усилия вызывают значительные напряжения в монолитных покрытиях; в сборных конструкциях их величина невелика и ею можно пренебречь.

При расчете плит на прочность нагрузку от автомобилей принимают в виде сосредоточенных сил, приложенных в центрах опорных поверхностей колес. Величина расчетной на-

$$P_p = k_d k_{пер} P_{ст}, \quad (9.28)$$

где k_d — динамический коэффициент, равный 1,5 при расположении нагрузки на конце плиты и 1,1 для середины плиты; $k_{пер}$ — коэффициент, учитывающий возможную перегрузку подвижного состава и равный 1,4; $P_{ст}$ — масса, приходящаяся на расчетное колесо автомобиля, кг.

Дорожные плиты рассчитывают по двум предельным состояниям: на прочность и на образование и раскрытие трещин.

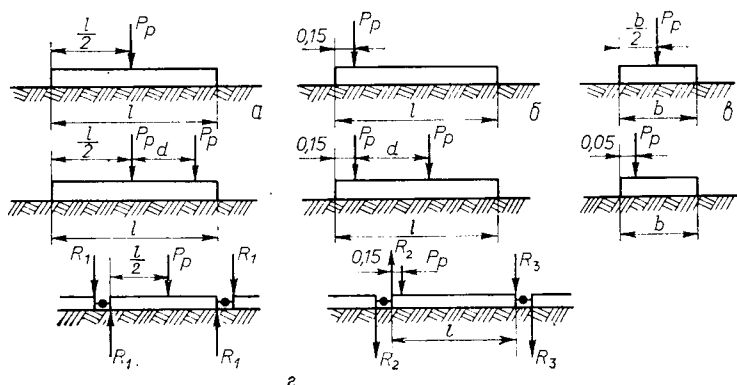


Рис. 9.19. Расчетные схемы загрузки плит подвижной нагрузкой:

a — при расчете на прочность от действия положительного момента; b — то же, при действии отрицательного момента; a — при расчете на прочность в продольном сечении плиты; z — при наличии сварных стыков; P_p — расчетное усилие от колеса; l — длина плиты; d — расстояние между смежными осями автомобиля или распуска; R_1 и R_2 — реакции в сварных стыковых соединениях

Прочность плиты проверяют на действие положительного и отрицательного моментов по схемам на рис. 9.19.

При определении расчетной величины изгибающего момента при различных загрузках плиты следует пользоваться методикой, формулами и таблицами, составленными проф. М. И. Горбуновым-Посадовым [29], рассматривая плиты как полосы, лежащие на упругом основании. При этом

$$M_p = 0,9 \bar{M} L P_p, \quad (9.29)$$

где 0,9 — предложенный ЦНИИМЭ поправочный коэффициент к формулам и таблицам М. И. Горбунова-Посадова при применении для расчета железобетонных плит kolejных покрытий; \bar{M} — единичный момент, отнесенный к 1 м ширины плиты (определяется по таблицам М. И. Горбунова-Посадова для принятой расчетной схемы нагрузки на плиту и показателя гибкости последней), Н·м/м; L — характеристика гибкости, определяемая по формуле

$$L = l \sqrt[3]{\frac{\pi}{2t}}, \quad (9.30)$$

где l — полудлина плиты; t — показатель гибкости, равный

$$t = \frac{\pi E_0 b l^3 (1 - \mu_0^2)}{4 (1 - \mu_0^2) B}, \quad (9.31)$$

где E_0 — модуль упругости грунтового основания; μ_0 и μ_0 — коэффициенты Пуассона для бетона и грунта; B — жесткость плиты, Н/м²; b — ширина плиты, м.

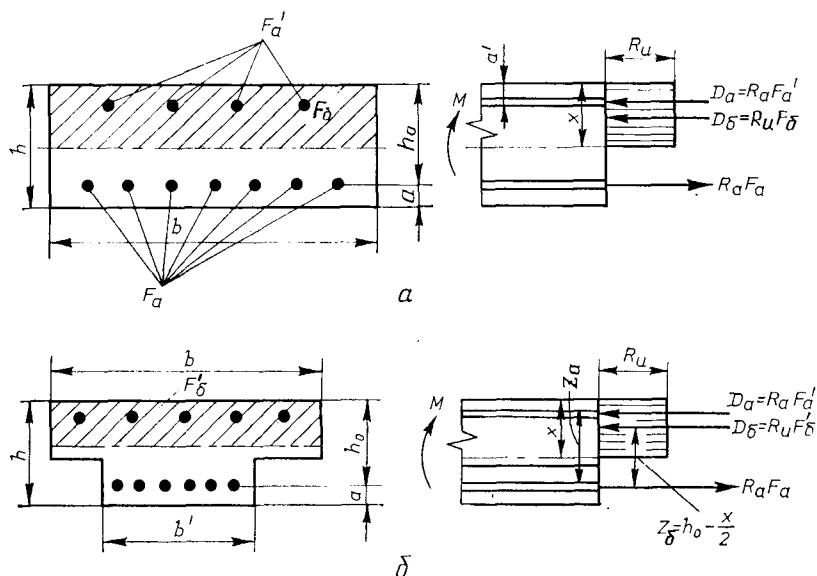


Рис. 9.20. Схемы к расчету необходимой арматуры для железобетонных дорожных плит с двойной расчетной арматурой:

а — при отсутствии ячеек; б — при наличии ячеек (условно плита приводится к плите таврового сечения)

Жесткость дорожных плит из железобетона определяют по формулам проф. В. И. Мурашева (с учетом появления трещин в растянутой зоне бетона)

$$\left. \begin{aligned} B &= 1,2 \frac{E_a}{t_a} W_a (h_0 - x); \\ W_a &= F_a (h_0 - 0,5x); \\ h_0 &= h - a, \end{aligned} \right\} \quad (9.32)$$

где t_a — коэффициент, учитывающий работу бетона в растянутой зоне (для зоны сплошного сечения $t_a = 0,75$, для зоны неполного сечения $t_a = 1$); W_a — момент сопротивления сечения плиты; F_a — суммарная площадь сечения растянутой арматуры; E_a — модуль упругости арматурной стали; остальные обозначения см. на рис. 9.20.

Если $t < 10$ (для короткой плиты) в формуле (9.29) вместо L следует подставить l .

Предельное состояние по прочности дорожных плит с расчетной арматурой, расположенной в растянутой зоне плиты, выражается формулами

$$M_p \leq m_1 m_2 R_n b x (h_0 - 0,5x);$$

$$m_a R_a F_a = R_n b x, \quad (9.33)$$

$$\text{откуда} \quad x = \frac{m_a R_a F_a}{R_n b}, \quad (9.34)$$

где m_1 — коэффициент условий работы плиты в целом ($m_1 = 0,8 \div 0,9$); m_2 — коэффициент, учитывающий неравномерное распределение напряжений по сечению плит ($m_2 = 0,9$); b — ширина бетона в сжатой зоне; m_a — коэффициент условий работы арматуры ($m_a = 0,9$ для горячекатаной стали, $m_a = 0,65$ для сварных каркасов из холоднотянутой проволоки); R_a — расчетное сопротивление арматуры; R_n — расчетное сопротивление бетона на сжатие при изгибе; x — расстояние от верхней поверхности плиты до нейтральной оси.

Суммарное сечение верхней (при действии отрицательного момента) или нижней арматуры (при действии положительного момента) проверяют по формуле

$$F_a = \frac{M_p}{m_1 m_2 h_0 R_a \gamma_0}, \quad (9.35)$$

где γ_0 — коэффициент, величина которого определяется по формуле

$$\gamma_0 = 0,5 + 0,5 \sqrt{1 - \frac{2M_p}{m_1 m_2 b' h_0^2 R_n}}, \quad (9.36)$$

где b' — приведенная ширина плиты в растянутой зоне (за вычетом пустот).

При проверке плит на трещиностойкость величину возможного раскрытия трещин в опасном сечении плиты определяют по формуле

$$a_T = \psi_a \frac{\delta_a + \delta_y}{E_a} l_T, \quad (9.37)$$

где a_T — ширина раскрытия трещин (не более 0,4 мм); ψ_a — коэффициент, учитывающий работу растянутого бетона между трещинами ($\psi_a = 0,8$); δ_a — величина напряжения в арматуре под действием внешнего изгибающего момента; δ_y — напряжения в арматуре от усадки бетона (принимают $\delta_y = 30$ МПа); l_T — расстояние между трещинами.

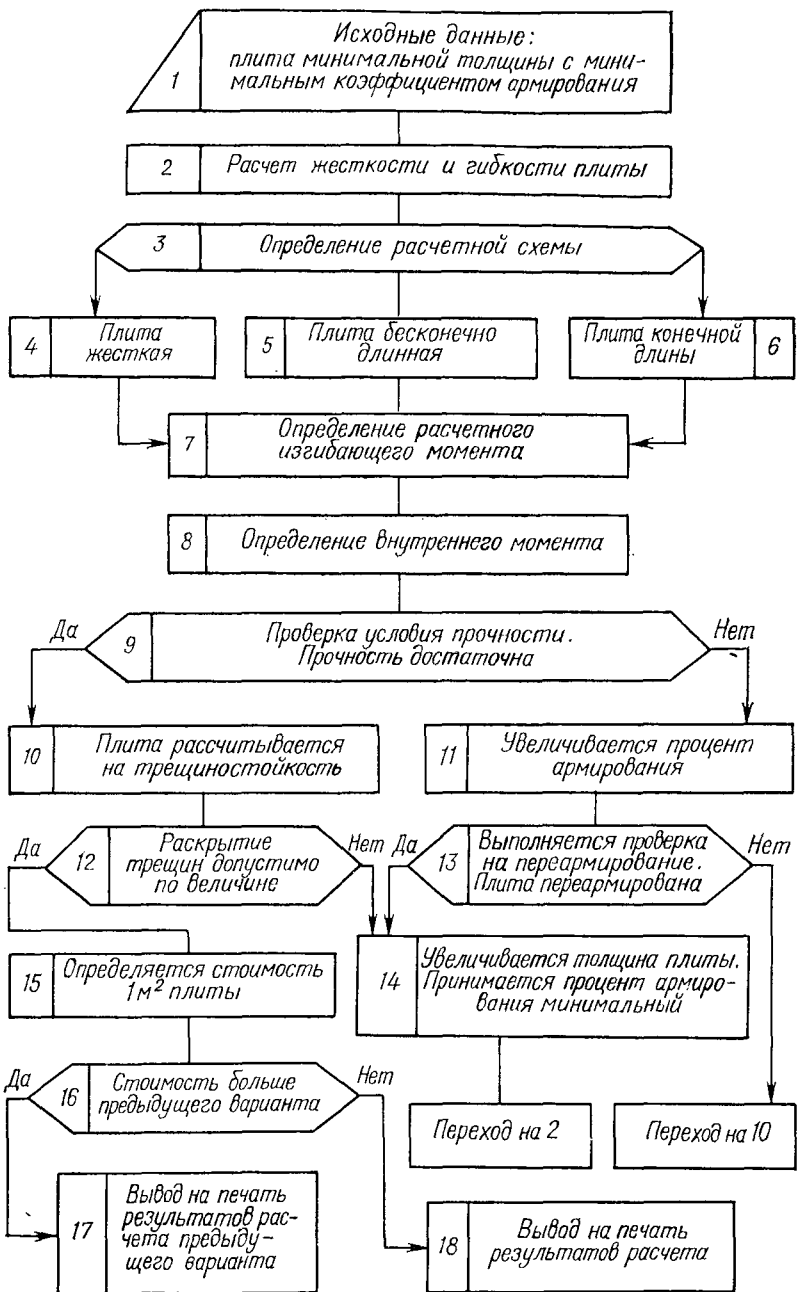


Рис. 9.21. Блок-схема расчета железобетонных плит на ЭВМ

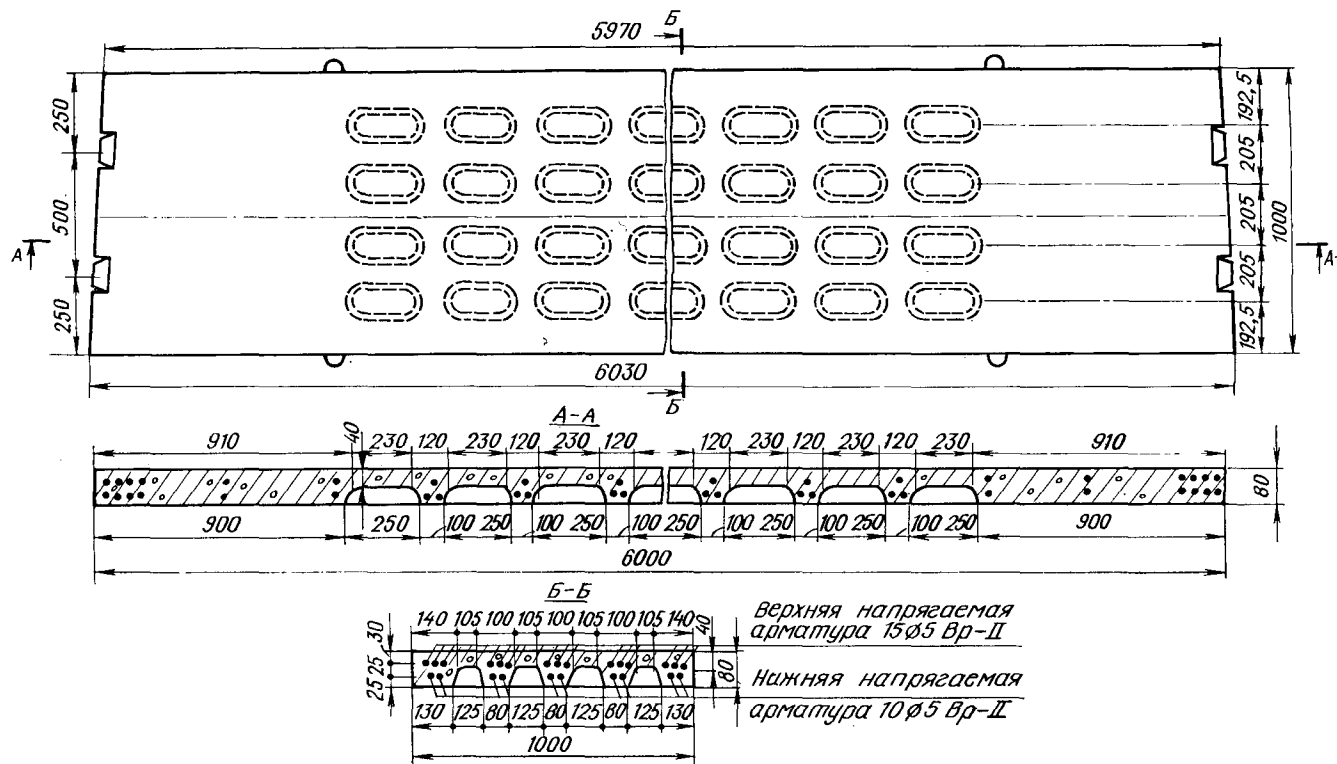


Рис. 9.22. Тонкая преднапряженная дорожная плита (ЛТА)

Величину δ_a определяют по формуле

$$\delta_a = \frac{k_{\text{нер}} M_p}{F_a z_1}, \quad (9.38)$$

где z_1 — расстояние от центра тяжести площади сечения всей арматуры, расположенной в растянутой зоне, до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне (над трещиной); $k_{\text{нер}}$ — коэффициент, учитывающий неравномерную работу сечения плиты, равный 1,2 при учете положительного момента и 1,4 — отрицательного.

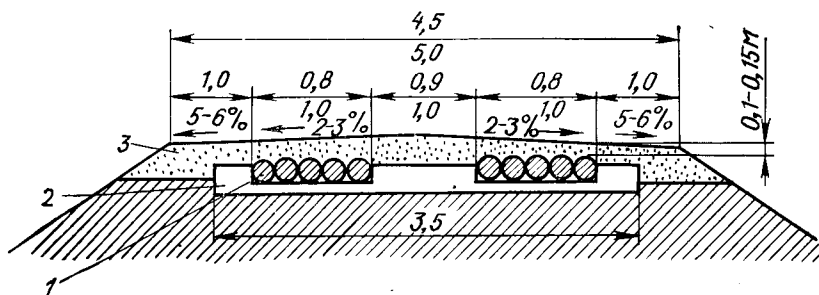


Рис. 9.23. Деревянно-грунтовое колеино́е покрытие:

1 — бревна или хлысты диаметром 15 см и выше; 2 — шпалы-поперечины диаметром 15—25 см; 3 — дренарующий грунт. Меньшие цифры размеров относятся к автомобилям типа ЗИЛ, большие — к автомобилям типов МАЗ и КраЗ

Расчетное расстояние между трещинами принимают по формуле

$$l_T = \frac{F_a}{s} \cdot \frac{E_a}{E_6} \eta \left(\frac{W_T E_6}{F_a z_1 E_a} - 2 \right), \quad (9.39)$$

где s — периметр сечения арматуры; η — коэффициент, зависящий от вида продольной растянутой арматуры ($\eta=0,7$ для стержней периодического профиля, $\eta=1$ для горячекатаных стержней); W_T — момент сопротивления приведенного сечения, определяемый с учетом всей арматуры.

На рис. 9.21 представлена укрупненная блок-схема последовательности расчета на прочность железобетонных плит на ЭВМ.

Расчет плит со сварными стыками требует предварительного определения реакций в стыках, рассматриваемых как шарниры (см. рис. 9.19, г). Методика расчета составных балок с шарнирными соединениями изложена в работе [52].

Конструкции железобетонных плит постоянно совершенствуются. В ЛТА разработаны экономичные плиты из преднапряженного железобетона размерами $6 \times 1 \times 0,08$ м (рис. 9.22) и из обычного железобетона размером $3 \times 1 \times 0,12$ м со сварными стыковыми соединениями.

Деревянные и деревогрунтовые покрытия. Практика строительства колейных покрытий из древесины показала, что срок их службы можно значительно повысить, засыпав сверху деревянные колесопроводы дренирующим грунтом слоем толщиной 15—20 см (рис. 9.23). Для этого колесопроводы изготавливают из целых хлыстов (без окорки), укладывая их в разнокомелицу на шпалы-поперечины, имеющие для этой цели выпиленные гнезда на глубину половины диаметра. Среднее расстояние между шпалами 1 м.

Деревянные колейные покрытия без засыпки грунтом можно устраивать только на усах, а также на участках перехода через суходолы, в сырых местах и на болотах, на которых колесопроводы укладывают на клетках из древесины, выполняющих одновременно функции земляного полотна дороги и водопропускных сооружений.

§ 9. ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ НА ВРЕМЕННЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГАХ

Основные типы дорожных одежд. Лесовозные усы и ветки со сроком действия до 5—6 лет строят с применением разнообразных местных материалов и инвентарных элементов (рис. 9.24), изготавливаемых на нижних складах (деревянные щиты и ленты) или на стройбазах строительных организаций и заводах железобетонных изделий.

Поперечные профили земляного полотна грунтовых усов без укрепления и с укреплением проезжей части, а также с гравийной одеждой приведены на рис. 9.25 и 9.26. Обеспечение водоотвода для этих типов усов имеет особое значение в связи с устройством земляного полотна в нулевых рабочих отметках или насыпях с $H=0,2\div 0,6$ м, отсыпаемых грунтом из боковых канав. Поперечный профиль на рис. 9.25, *а* предназначен для использования в первом типе местности, а профиль на рис. 25, *б* — для второго типа местности. Этот же профиль может быть использован и в I типе местности (без хвостяной подушки).

В целях экономии древесины и снижения трудозатрат на постройку усов во втором и третьем типах местности применяют инвентарные покрытия сборно-разборного типа из деревянных щитов. Известны конструкции таких щитов, предложенные за последние 20 лет рядом предприятий, НИИ и вузов. К настоящему времени на лесозаготовках находят применение в основном щиты ЛВ-11 и нагельные. Щиты ЛВ-11 конструкции ЦНИИМЭ (рис. 9.27, *а*) собирают на металлических стяжках из брусев хвойных пород и устанавливают специальные металлические оголовники. Расход металла на 1 км составляет 13 т, древесины (бруса) 345 м³ (только на щиты). Нагельные щиты Комигипрониилеспрома размером 6×1×0,2 м собирают из брусев на специальных станках, обеспечивающих тугую запрес-

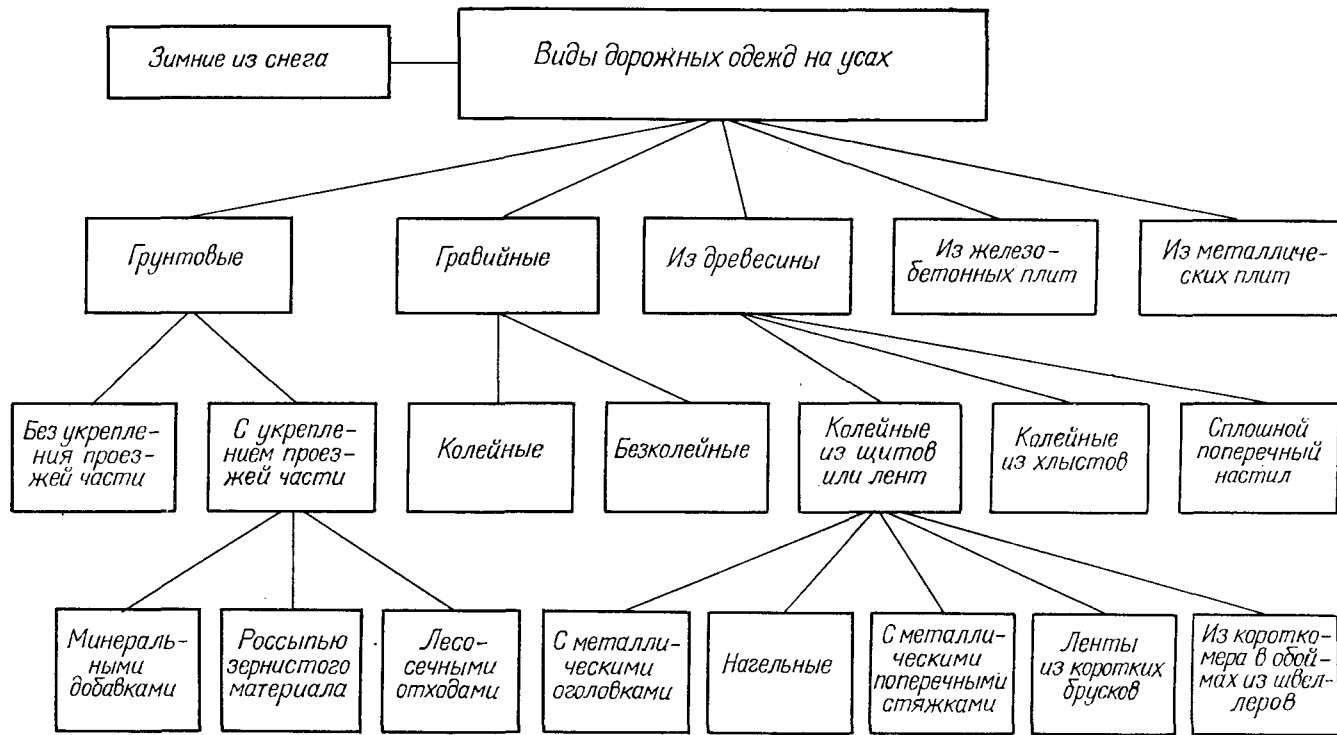


Рис. 9.24. Основные виды и классификация дорожных одежд на временных дорогах

совку деревянных нагелей. Для большей устойчивости колесопровода предусматривается установка в стыках щитов замков из двух отрезков швеллеров, сваренных вместе в виде двутавра. Расход металла на 1 км составляет 4,4 т, древесины 371 м³ (только на щиты, т. е. не считая поперечин и продольных лаг в основании колесопроводов).

В леспромхозах Архангельской области применяют ленты ЛД-5, состоящие из коротких деревянных щитов, соединенных

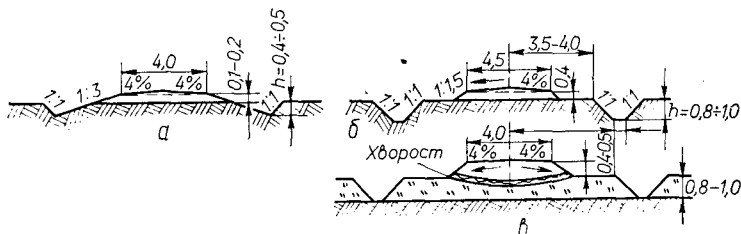


Рис. 9.25. Поперечные профили земляного полотна временных дорог:

а — в сухих местах на дренирующих грунтах; б — в сырых местах на недренирующих грунтах; в — в сырых местах с избыточным увлажнением, в заболоченных участках

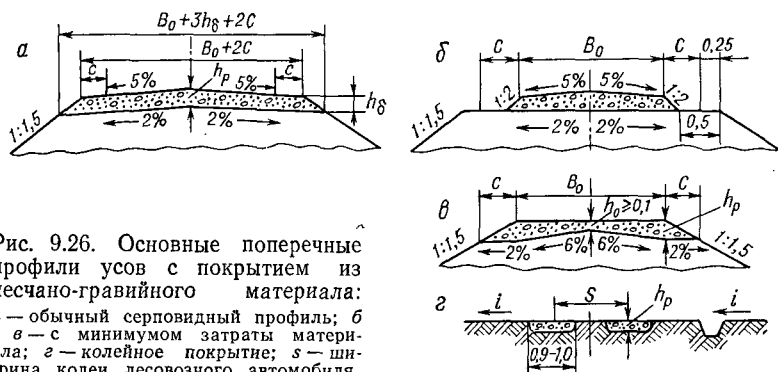


Рис. 9.26. Основные поперечные профили усов с покрытием из песчано-гравийного материала: а — обычный серповидный профиль; б и в — с минимумом затраты материала; г — колеиное покрытие; д — ширина колеи лесовозного автомобиля

шарнирами (рис. 9,27, б). Расход металла на 1 км составляет 27,5 т, древесины 248 м³. Недостатком лент ЛД-5 является отсутствие необходимой жесткости колесопроводов, в связи с чем даже в местности первого типа для них приходится готовить специальное основание из лесосечных отходов или древесины. Достоинством лент ЛД-5 является возможность их быстрой укладки и разборки с помощью специальной лентоукладочной машины, сконструированной СевНИИП.

В ОСТ 13-79—79 для усов предусмотрены плиты типа ПДТЗ третьей группы толщиной 0,18 м.

В ЛТА разработаны и проверены в производственных условиях обладающие высокой жесткостью дерево-металлические щиты размером 6×1×0,16 м, состоящие из двух швеллеров, об-

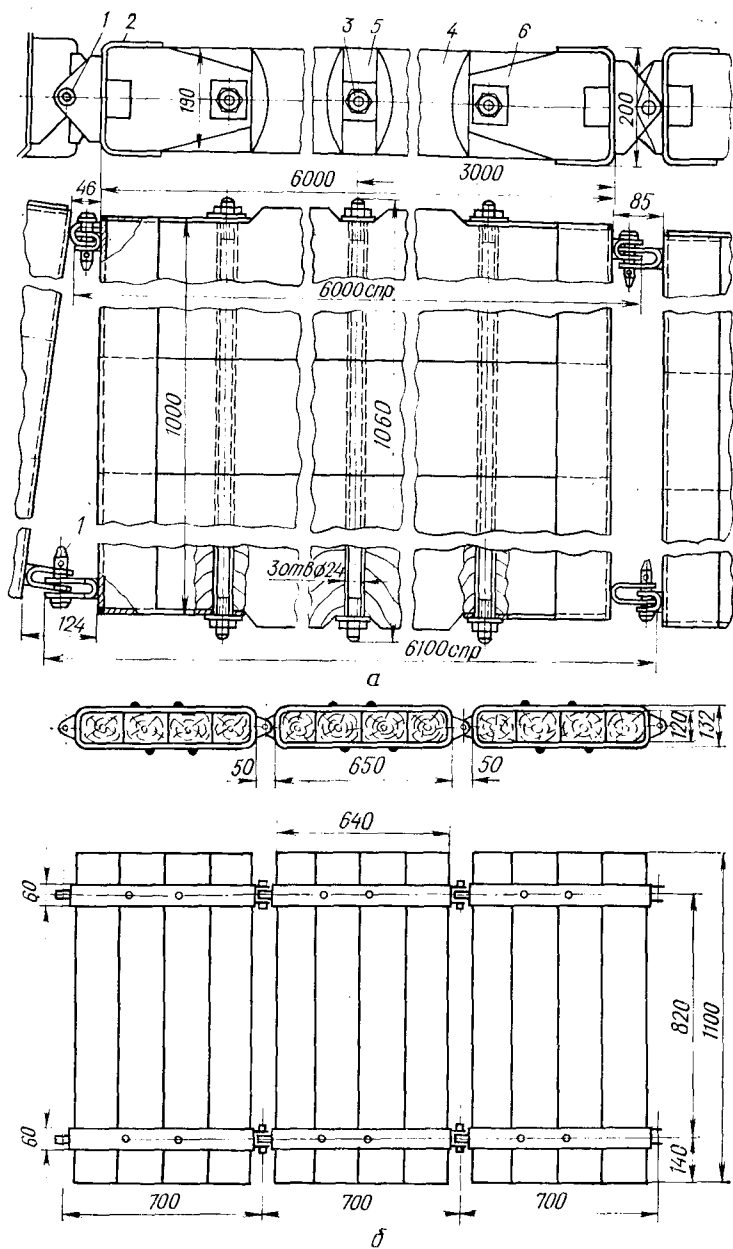


Рис. 9.27. Деревянные инвентарные щиты для колейных покрытий:
 а — щит ЛВ-11 (ЦНИИМЭ): 1 — соединительный палец; 2 — оголовник; 3 — болт; 4 — брус; 5, 6 — врубки; 6 — ленточное покрытие ЛД-5

разующих обойму, в которую закладываются поперечные деревянные бруски длиной 1—1,2 м с расходом металла около 70 т/км.

На временных лесовозных дорогах зимнего действия на небольших водотоках и суходолах не устраивают водопропускные сооружения. На дорогах летнего действия для пропуска воды предусматривают клетки из хлыстов и бревен с проезжей частью колеинового типа из инвентарных покрытий или хлыстов. Стоимость постройки 1 км зимнего уса колеблется в пределах 0,5—1,0 тыс. р., грунтового 1,2—2,0 тыс., с гравийной одеждой — до 3,5 тыс., с инвентарным покрытием из щитов (при 5—6 перекладках) 4,5—5,0 тыс. и лежневых — 8—12 тыс. р.

Выбор дорожной конструкции. За последнее время длина одного уса летнего действия составляет 3 км и более, часто применяют усы с ответвлениями для освоения смежных лесосек, у которых головной участок работает несколько лет, имея значительный грузооборот (до 70 тыс. м³ и более за срок службы). У таких усов дорожная конструкция головного участка должна быть более прочной, чем на ответвлениях.

Применяемые в настоящее время усы летнего действия можно разделить на четыре группы: 1) грунтовые усы (около 65 % общего протяжения), 2) усы с покрытием из песчано-гравийных материалов (около 15 %), 3) усы с инвентарным покрытием из щитов или плит (около 2 %) и 4) лежневые усы с колесопроводами из хлыстов или со сплошным поперечным настилом (около 18 %). Зимой повсеместно применяют усы со снежным покрытием. В ближайшем будущем следует ожидать уменьшения масштабов применения крайне неэкономичных усов с лежневым колеиным покрытием или с поперечным настилом, требующих для постройки до 1000 м³ и более леса на 1 км и роста протяжения усов с покрытием из гравия и инвентарных элементов. Важная роль грунтовых усов в связи с их дешевизной сохранится.

При выборе конструкции проезжей части усов летнего действия следует исходить из следующих положений: 1) в первом типе местности (сухие места) широко использовать грунтовые усы, 2) во втором типе местности (сырые места) широко применять инвентарные покрытия; 3) для бесперебойной работы в неблагоприятное время года (затяжные дожди) иметь один-два уса с гравийным или инвентарным покрытием, 4) в третьем типе местности применять зимние усы.

Основы расчета покрытий из песчано-гравийных материалов неоптимального состава. Как правило, на усах и временных ветках устраивают покрытия из карьерных малосвязных песчано-гравийных материалов. Такой материал представляет собой сыпучее тело, состоящее из отдельных зерен (зернистая среда). Зерна, находящиеся на поверхности покрытия и близко к ней, под действием внешней нагрузки могут легко перемещаться

с разуплотнением среды и выпиранием зерен из-под колес. Лишь на определенной глубине, от поверхности, когда нагрузка от вышележащих зерен или других слоев одежды будет обеспечивать необходимую пригрузку, сдвиги зерен и выпирания происходить не будут. Поэтому дорожную одежду с малосвязными

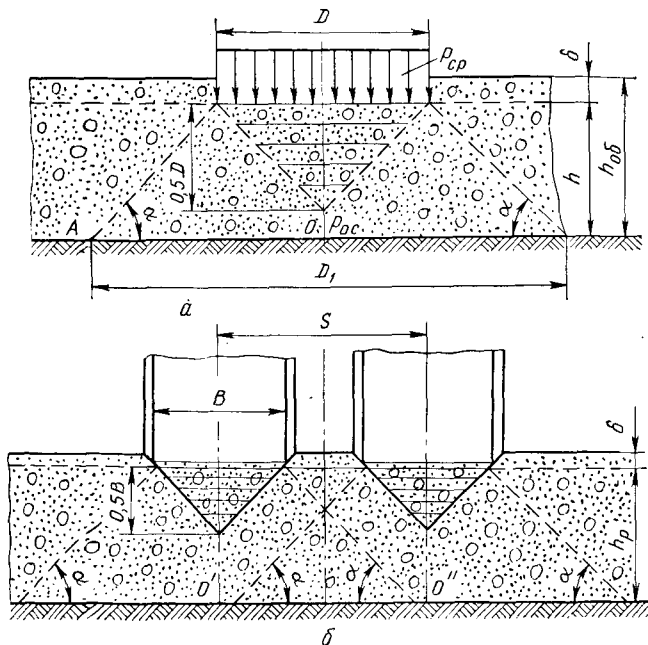


Рис. 9.28. Расчетная схема для определения толщины покрытия на временных дорогах из малосвязных песчано-гравийных материалов:

a — при передаче нагрузки на покрытие однооскатными колесами; b — то же двухскатными колесами; B — ширина одной шины

слоями, расположенными ниже покрытия, можно рассчитывать по методу упругого прогиба.

Толщину покрытия из малосвязного материала можно определить, рассматривая его как зернистую среду, способную распределять внешнюю нагрузку, приложенную к поверхности покрытия, на большую площадь [39]. Согласно рис. 9.28, a можно написать, что

$$0,25\pi D^2 p_{cp} = 0,25\pi D_1^2 \cdot 0,5 p_{oc}; \quad D_1 = D + 2h/\operatorname{tg} \alpha,$$

где D — диаметр эквивалентного круга колеса, м; p_{cp} — среднее удельное давление внешней нагрузки, МПа; p_{oc} — нормальное

напряжение сжатия на поверхности земляного полотна в точке O (максимальное); остальные обозначения см. на рис. 9.28.

Приняв $p_{ос} = p_{доп}$ — допускаемому удельному давлению на грунт, МПа в точке O , получим квадратное уравнение относительно h , решая которое, получим

$$h = 0,5D \operatorname{tg} \alpha \left(\sqrt{\frac{2p_{ср}}{p_{доп}}} - 1 \right). \quad (9.40)$$

В принятой расчетной модели в качестве характеристики распределяющих свойств материала покрытия принят угол распределения α , величина которого зависит от угла трения φ материала и отношения h/D . Опыты в ЛТА показали, что при $0,6 < h/D < 1,2$

$$\operatorname{tg} \alpha = (h/D) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (9.41)$$

где α_1 — угол распределения при $h/D = 1$ (по данным опытов, выполненных в ЛТА, $\alpha_1 = 43 \div 50^\circ$ для гравия с содержанием песка и мелкозема до 25—35 % и около 60° для песка).

Обозначив $\operatorname{tg} \alpha_1 = k_p$ (коэффициент распределительной способности материала при $h/d = 1$) и подставив значение $\operatorname{tg} \alpha$ в выражение (9.40), получим окончательно, что необходимая толщина покрытия

$$h_{об} = \delta + h = \delta + D \sqrt{0,5k_p \left(\sqrt{\frac{2p_{ср}}{p_{доп}}} - 1 \right)}, \quad (9.42)$$

где δ — деформация, возникающая в результате многократного приложения нагрузки с появлением сдвигов зерен материала и их выпиранием по бокам колеи (можно принимать $\delta = 0,05$ — $0,06$ м в зависимости от намечаемой периодичности утюжек во время эксплуатации уса).

Величину $p_{доп}$ следует определять по методике В. Г. Березанцева¹, принимая ее равной предельной нагрузке, соответствующей полному исчерпанию несущей способности грунта (для суглинка с $\varphi = 20^\circ$ и $c = 0,018$ МПа $p_{доп} = 0,475$ МПа, а для очень увлажненного грунта при $\varphi = 13^\circ$ и $c = 0,01$ МПа $p = 0,1$ МПа (для супесей $p_{доп}$ можно принимать в 2 раза больше). С учетом образования под колесом (штампом) уплотненного ядра с напряжениями в нем близкими к $p_{ср}$ величина $h_{об}$ должна быть не менее $0,65$ — $0,7D$, где D — диаметр эквивалентного круга односкатного колеса. Для двухскатных колес D следует определять для одной шины (см. рис. 9.28, б).

¹ Цытович Н. А. Механика грунтов. М., Высшая школа, 1973. 280 с.

Глава 10

ЗИМНИЕ ДОРОГИ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЗИМНИХ ДОРОГ

Зимние дороги отличаются низкой стоимостью строительства (в 4—10 раз дешевле, чем дороги летнего действия), и вывозка по ним обходится в 2—4 раза дешевле. Поэтому их следует широко использовать во всех районах с устойчивой зимой (европейский Север, Северо-Запад, Сибирь, Дальний Восток).

В настоящее время используют следующие виды зимних автомобильных дорог: снежные (снежно-уплотненные), снежно-ледяные и ледяные, бесколеяного типа. Простейшим типом зимних дорог являются снежно-уплотненные бесколеяные дороги. Покрытие этих дорог представляет собой уплотненный слой снега на спланированном земляном основании. При периодической поливке снежно-уплотненных дорог водой на всю ширину проезжей части или тепловой обработке образуется снежно-ледяное бесколеяное покрытие. Зимние дороги с таким покрытием имеют широкое распространение в Карельской АССР и в других районах. На снежно-ледяных дорогах снег в течение зимы не счищают, а уплотняют по мере выпадения (исключение составляет только снег, выпавший во время метелей, который препятствует движению поездов) и поливают водой, что дает возможность накопить к концу зимы слой снегольда толщиной до 50 см и обеспечить возможность удлинения сезона вывозки на 8—10 дней по сравнению со снежно-уплотненными дорогами. Ледяные дороги на земляном основании строят в Архангельской области и других, а также на востоке страны, в малоснежных районах с длительной зимой.

Применение ледяных покрытий позволяет продлить зимний сезон вывозки на 12—15 дней и более и довести его до 100 дней и более [43]. Поэтому применение снежно-уплотненных покрытий на зимних дорогах допустимо лишь при освоении небольших лесных массивов, а также на ветках и усах.

Ледяное или снежно-ледяное покрытие создается за счет поливки проезжей части дороги водой поливочными машинами. Созданы опытные конструкции снегоуплотняющих машин нескольких типов с тепловой обработкой снега, которые за два прохода могут создать ровное снежно-ледяное бесколеяное покрытие.

§ 2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СНЕГА И ЛЬДА

Снег представляет собой неоднородный материал, состоящий из кристаллов льда, пленок воды, водяного пара и воздуха. При температурном перепаде между нижним и верхним слоями снега

кристаллы льда испаряются без перехода в жидкую фазу (сублимация), а пары переходят в твердую фазу в верхнем слое. При этом нижний слой разуплотняется, а верхний делается более плотным — образуется фирн. Этот процесс происходит быстрее в рыхлом снеге. Быстрее идет и уплотнение рыхлого снега при укатке. Самыми важными характеристиками дорожных свойств снега и снегольда являются плотность и твердость.

Плотность измеряют отношением массы порции снега к ее объему. Свежевыпавший снег имеет плотность $0,1\text{--}0,12\text{ т/м}^3$, в накатанной колее плотность снега доходит до $0,6\text{ т/м}^3$. При плотности свыше $0,7\text{ т/м}^3$ снег переходит в фазу льда. Для нормальной работы лесовозных поездов зимой необходима плотность снега (снегольда) не менее $0,55\text{ т/м}^3$. Снег уплотняется хорошо тонкими слоями, не более $0,1\text{--}0,2\text{ м}$, лучше всего при температуре близкой к 0°C . Плотность снежного покрытия определяют дюралюминиевыми стаканчиками с заостренными краями. Их забивают деревянным молотком в покрытие, извлекают и взвешивают. Заполнение снегом стаканчика (объемом 100 или 200 см^3) проверяют через отверстие в дне.

Твердость снега (снегольда) зависит от плотности и температуры и характеризует его прочность. Твердость измеряется величиной усилия, необходимого для вдавливания штампа определенной формы и площади на расчетную глубину. Для измерения твердости применяют портативные твердомеры, твердомеры-зонды и ударники Союздорнии с облегченной гирей массой 1 кг . При использовании этого ударника твердость (МПа) вычисляют по формуле [43]

$$\sigma = 0,56 + 0,058n, \quad (10.1)$$

где n — число ударов гири для заглубления наконечника ударника на 10 см .

Целинный снег имеет твердость менее $0,05\text{--}0,1\text{ МПа}$. Покрытие из снега и снегольда плотностью $0,55\text{ т/м}^3$ обладают твердостью $1,2\text{--}1,5\text{ МПа}$, которую можно считать минимально допустимой для открытия движения. Повышение плотности снегольда до $0,64\text{--}0,68\text{ т/м}^3$ обеспечивает увеличение твердости покрытия до $10\text{--}15\text{ МПа}$.

Лед состоит из отдельных кристаллов, спаянных в одну массу, обычно с включениями пузырьков воздуха, от количества которых зависит прочность льда. Плотность чистого льда равна $0,9176\text{ т/м}^3$ при 0°C и $0,9377\text{ т/м}^3$ при -25°C . Прочность льда оценивается его сопротивлением действию внешних нагрузок при сжатии. Величина разрушающих напряжений зависит от температуры (при $t=0^\circ\text{C}$ это напряжение равно от $1,6$ до 4 МПа , а при $t=-12^\circ\text{C}$ $3,7\text{--}4,6\text{ МПа}$). Модуль упругости льда колеблется в пределах $(1,2\div 2,1) \cdot 10^3\text{ МПа}$.

По плотности и наличию льда в снежно-ледяном материале различают три типа покрытия — снежные плотностью $\delta=0,5\div$

$\div 0,55 \text{ т/м}^3$; снежно-ледяные с $\delta = 0,57 \div 0,65 \text{ т/м}^3$ и ледяные с $\delta > 0,65 \text{ т/м}^3$.

При повышении температуры до $+1^\circ\text{C}$ снежные покрытия быстро теряют твердость и разрушаются, у снежно-ледяных твердость понижается с 2,0—2,5 МПа до 0,4 МПа, а у ледяных — с 6,0—7,0 до 1,0—1,2 МПа.

При вывозке леса автомобилями МАЗ-509 и КраЗ-255Л твердость покрытия должна быть не менее 1,2—1,5 МПа. Снежные покрытия обладают такой твердостью (при уплотнении до $0,5\text{—}0,55 \text{ г/см}^3$) при $t = -4^\circ\text{C}$, снежно-ледяные (при плотности не менее $0,64 \text{ г/см}^3$) при $t = -2,7 \div -2,0^\circ\text{C}$, а ледяные даже при $t = +1 \div 2^\circ\text{C}$.

Зная расчетную температуру (в пределах указанных выше), можно установить по каждой зимней дороге начало и конец вывозки леса и количество дней работы зимой в зависимости от климатической характеристики данного района.

Мерзлые грунты являются основаниями всех типов зимних дорог. При давлениях менее 0,5—1,0 МПа они практически несжимаемы.

§ 3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗИМНИХ ДОРОГ

На зимние автомобильные дороги распространяются требования норм [17], как и на дороги летнего действия, со следующими основными изменениями. На ледяных дорогах величина руководящего подъема должна быть не более 30 ‰, а при многокомплектной вывозке 15—20 ‰. Максимальные спуски устанавливаются расчетом по формуле (8.41) с допущением ограничения скорости не более чем до $0,5 v_p$. В основном зимние дороги проектируются с двумя полосами движения, в одной или отдельных просеках (усы — однополосные).

При суточном грузообороте 800 м^3 и более зимние магистрали проектируют в основном по нормам для дорог IVБ категории и при меньшем грузообороте — для дорог V категории с учетом особенностей зимней вывозки. Ширину просеки принимают для двухполосных дорог 12—14 м и для однополосных 8 м (на усах 6 м), ширину земляного полотна: на двухполосных дорогах 8—10 м и на однополосных 5—6 м (большие цифры — для двухкомплектных поездов). Проектирование насыпей и выемок допускается лишь на отдельных участках грузовой полосы (при пересечении водоразделов, водотоков и т. п.), назначаемой в таком случае в отдельной просеке. Порожняковый путь в отдельной просеке и двухполосная дорога в одной просеке, как правило, проектируются в нулевых отметках, с горизонтальной (на прямых) поверхностью земляного полотна, без боковых и нагорных канав (рис. 10.1). На хорошо промерзающих сырых и заболоченных местах с торфом толщиной до 1 м предусматривается устройство дороги в нулевых отметках со срезкой кочек

и планировкой проезжей части дороги, а толщиной более 1 м устраивают прошпаливание (укладку поперек оси дороги на спланированную поверхность болота дровяного долготья длиной 5—6 м, диаметром 10—16 см через 0,4—0,7 м). На болотах с торфяной залежью более 2 м целесообразно устраивать сплошные настилы из низкокачественного долготья.

Водопропускные сооружения необходимы лишь в случаях пересечения дорогой постоянных водотоков с обрывистыми берегами или длительно незамерзающих с быстрым течением воды.

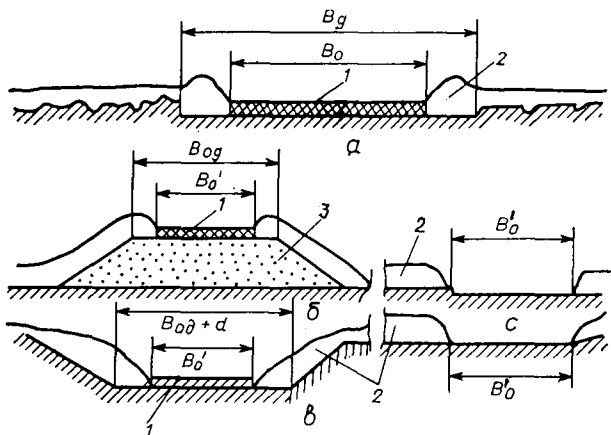


Рис. 10.1. Поперечные профили зимних дорог:

a — ледяная двухполосная дорога в одной просеке; *б* — то же в отдельных просеках, грузовая полоса проходит в насыпи; *в* — то же в выемке; B_d — ширина земляного полотна двухполосной дороги; $B_{од}$ — ширина земляного полотна однополосной дороги; B_0 — ширина проезжей части двухполосной дороги; B'_0 — то же однополосной дороги на нулевых местах и в насыпях; d — дополнительное уширение земляного полотна в выемках ($d=1$ м); 1 — лед; 2 — снег; 3 — насыпной грунт

Ледяные покрытия устраивают, как правило, на земляном основании, шириной на двухполосных дорогах 6—8 м, на однополосных 3—3,5 м (большие цифры для дорог с вывозкой леса двухкомплектными поездами). К концу зимы слой льда (или снегольда) должен быть не менее 30—40 см. Чем больше толщина льда покрытия к началу весны, тем продолжительнее будет период вывозки леса.

§ 4. ЛЕДЯНЫЕ ПЕРЕПРАВЫ

Ледяные переправы устраивают на пересечениях средних и больших водотоков. Для переправы выбирают участок реки со спокойным течением с невысокими пологими берегами. При необходимости устраивают съезды с берегов на лед (рис. 10.2). Для скорейшего ввода переправы в действие целесообразно усиление льда намораживанием путем разлива воды тонкими слоями (0,5—1,0 см) по ширине переправы. За сутки при

$t = -10 \div -25^\circ \text{C}$ можно наморозить слой льда 8—15 см при установке бортов проезжей части из подтоварника для предотвращения растекания воды.

Для определения необходимой толщины льда на переправе предложен ряд формул и методов. По предложению С. А. Бернштейна, лед можно рассматривать как плавающую на воде тонкую пластину, подвергающуюся воздействию подвижной на-

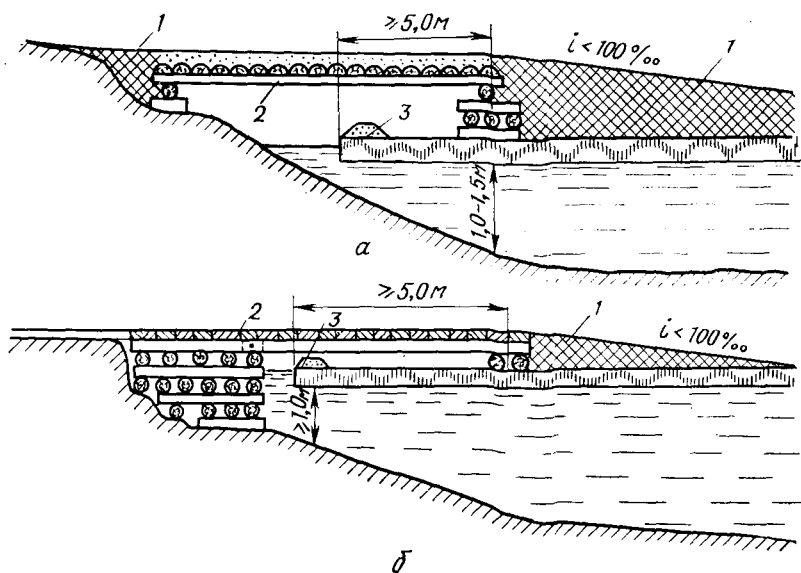


Рис. 10.2. Съезды с берега на ледяную переправу:

а — с расположением клетки на льду; б — с расположением клетки на берегу; 1 — снежно-хворостяная гать; 2 — прогоны; 3 — снежный валик

грузки, что позволяет для расчета толщины слоя льда применить теорию центрального изгиба плиты, лежащей на упругом основании (подробнее см. в работе [43]). Значительное распространение получила откорректированная формула М. М. Корунова, полученная в результате упрощения аналитических зависимостей, полученных Бернштейном, и использования средних значений характеристик прочности льда,

$$h = a_1 \alpha \sqrt{Q}, \quad (10.2)$$

где h — минимально допустимая, приведенная толщина льда, м, необходимая для пропуска груза массой Q ; a_1 — коэффициент, учитывающий изменение прочности льда в зависимости от средней t за последние 3 суток ($a_1 = 1$ при $t = -10^\circ \text{C}$ и ниже; 1,1 — при $t = -5^\circ$; 1,4 — при 0°C); α — коэффициент, зависящий от

вида ходовой части экипажа и равный 0,11 для колесного и 0,09 для гусеничного.

В формуле (10.2) учитывается только лед хорошего качества, приведенная толщина которого определяется по формуле [43]

$$h = [h_1 + 0,5(h_2 + h_3)] K_1 K_2, \quad (10.3)$$

где h_1 — толщина прозрачного чистого льда; h_2 — толщина мутного льда; h_3 — толщина намороженного слоя; K_1 — коэффициент, учитывающий структуру льда: при раковистой равен 1, при игольчатой 0,67; K_2 — коэффициент, учитывающий t воздуха: при t ниже нуля равен 1, при положительной 0,8 и меньше.

В Канаде используют эмпирическую формулу

$$h = 0,1 \sqrt{Q + 2,27}, \quad (10.4)$$

где h — необходимая толщина льда, м.

Формулы (10.3), (10.4) неприменимы для неподвижных машин, так как при стоянках в ледяном слое возникают значительные остаточные деформации вплоть до разрушения ледяного покрова.

Скорость движения автопоездов на переправе составляет 10—20—30 км/ч, соответственно при глубине воды 1,2—2,5 и 6,5 м во избежание появления опасного резонанса, строго только в одном направлении при расстоянии между автопоездами

$$l \geq 5 \sqrt{Q}, \quad (10.5)$$

но не менее 50 м.

На озерах и реках ожидаемая толщина ледяного покрова может быть определена по формуле

$$h_{\text{ож}} = a \sqrt{\Sigma t}, \quad (10.6)$$

где a — коэффициент, зависящий от условий льдообразования: под снегом при медленном течении равен 0,027; быстром течении 0,02, при отсутствии снегового покрова 0,0317; Σt — сумма отрицательных среднесуточных температур за расчетный период °С.

При регулярном движении на ледяных переправах лесовозных автопоездов на поверхности льда устраивают колежные лежневые настилы на поперечинах длиной 6—8 м, диаметром 18—20 см через 0,5—0,7 м, предохраняющие лед от износа, распределяющие давление подвижной нагрузки на большую площадь, позволяющие продлить зимний сезон вывозки и повышающие безопасность движения.

Глава 11

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

§ 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Эксплуатация лесовозных дорог включает комплекс весьма разнообразных мероприятий, необходимых для безопасной и высокопроизводительной работы лесовозного транспорта. Основными проблемами эксплуатации лесовозных автомобильных дорог в настоящее время являются: организация высокопроизводительной работы автотранспорта, разработка и совершенствование технологии содержания и ремонта дорог на основе комплексной механизации, изучение работоспособности и установление оптимальных сроков службы основных видов дорожных одежд на лесовозных дорогах, борьба с пылеобразованием на грунтовых и гравийных дорогах, разработка специальных, учитывающих специфику лесотранспорта, методов борьбы с пучинообразованием, методы и организация эксплуатации лесовозных дорог с нежесткими одеждами в неблагоприятные периоды года (весна, осень), повышение безопасности движения и др.

Применительно к вывозке леса структурную схему эксплуатации дороги и подвижного состава на основе принципов системотехники¹ можно представить состоящей из четырех блоков: водитель, автопоезд, дорога, внешняя среда (рис. 11.1). В этой структуре можно выделить следующие основные подсистемы: 1) внешняя среда — водитель; 2) водитель — автопоезд; 3) автопоезд — дорога; 4) внешняя среда — дорога; 5) внешняя среда — автопоезд. В свою очередь каждую подсистему можно дифференцировать на отдельные элементы. Основным критерием экономичности проектируемой или действующей системы эксплуатации дороги являются минимальные удельные (т. е. отнесенные к 1 м³ или 1 м³·км вывезенного леса) приведенные затраты.

Подсистема внешняя среда — водитель является информационной основой транспортного процесса. Внешняя среда представляет собой информационное поле, формирующее у водителя эмоциональное напряжение. Водитель, анализируя внешнюю среду, избирает такую скорость и траекторию движения в пределах проезжей части, которая обеспечивает безопасность движения и привычный для него уровень эмоционального напряжения. Исследование этой подсистемы и ее организация очень важны для обеспечения безопасности движения и высокой производительности труда на вывозке леса.

¹ Системотехника — научно-техническая дисциплина, охватывающая вопросы создания и эксплуатации сложных систем.

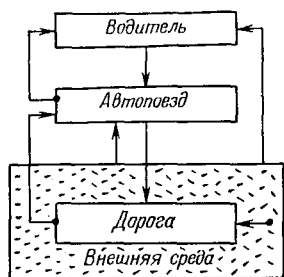


Рис. 11.1. Структурная схема системы эксплуатации автомобильных дорог (по В. М. Сиденко)

Под внешней средой в данном случае подразумевается окружающий дорогу ландшафт, атмосферные условия, видимость, освещенность проезжей части, дорожные знаки и указатели, встречный транспорт и пешеходы, габариты мостов, размеры и состояние проезжей части и обочин, микроклимат в кабине автомобиля и пр.

Внешняя среда непрерывно действует на водителя. Последний, получая информацию о внешней среде, анализирует ее и принимает необходимое решение о режиме и направлении движения автопоезда. Существует оптимальный объем сведений, при котором водитель уверенно управляет автомобилем. Перегрузка информацией (если водитель не устранил ее снижением скорости) может вызвать отказ, т. е. состояние, при котором водитель не воспринимает изменение ситуации (порог насыщения информацией). Существуют математические методы оценки восприятия водителем информации о внешней среде во время движения транспорта [51]. Ведущим компонентом является зрительное восприятие пространства и движения. Поле восприятия водителя перемещается в процессе движения и создает у него эмоциональное напряжение, зависящее от скорости. При высоких скоростях движения время появления объектов внешней среды в поле зрения водителя может быть недостаточным, в результате чего появление объекта может быть воспринято как неожиданное и вызвать испуг, сопровождающийся неправильными действиями водителя. Как установлено [51], достаточное время для оценки ситуации водители имеют при следующих минимальных расстояниях видимости на дороге неподвижного объекта: 23 м при скорости $v=6$ м/с; 65 м при $v=12$ м/с и 120 м при $v=18$ м/с.

При монотонном (однообразном) воздействии раздражителей у водителя может возникнуть заторможенное состояние, вызывающее безразличие и даже сонливость. В результате этого могут возникнуть аварии, что следует учитывать при разработке проекта дороги, расстановке дорожных знаков и др.

Подсистема водитель — автопоезд является эргономической, базирующейся на физиологических возможностях водителя и быстродаействии органов управления автопоездом. Получив от внешней среды информацию, водитель, воздействуя на исполнительные механизмы автомобиля, задает ему рациональные траекторию движения и скорость. Исследование этой подсистемы имеет большое значение при эксплуатации лесовозного подвижного состава и его конструктивном совершенствовании.

Подсистема автопоезд—дорога представляет собой механическую модель транспортного процесса. При движении автопоезд воздействует через свою подвеску и колеса на дорогу, в результате чего в последней возникают напряжения и деформации, определяющие прочность и долговечность дорожной одежды. Исследование подсистемы позволяет установить причины образования различных деформаций проезжей части, определить необходимую прочность дорожной одежды и разработать систему эксплуатационных мероприятий по поддержанию дороги в исправном состоянии. Часть вопросов, относящаяся к этой подсистеме, рассмотрена в главе 9. Здесь следует коснуться влияния ровности покрытий на работу транспорта. На проезжей части дорог имеются неровности различной величины и формы. При движении автотранспорта по неровной поверхности возникают вертикальные, продольные и поперечные колебания подвижного состава, часто существенно ухудшающие условия движения. Из-за неровностей скорости движения могут снижаться вдвое, производительность на 30—40 %, себестоимость вывозки возрасти на 50—60 %.

В процессе эксплуатации дороги количество неровностей и их размеры увеличиваются. Если появившаяся выбоина не будет своевременно ликвидирована, она будет являться причиной появления новых выбоин. Период колебаний кузова автомобиля при движении составляет $t=2\pi\sqrt{M/k}$, где M — масса кузова; k — жесткость рессор. При скорости движения автомобиля (в м/с) выбоины будут располагаться на расстоянии друг от друга, равном $l=2\pi v\sqrt{M/k}$. Таким образом на дорогах с гравийной одеждой возникают «волны» (см. с. 221).

Изучение ровности покрытий автомобильных дорог [51, 54] показало, что распределение неровностей по дороге носит случайный характер. Поэтому микропрофиль покрытий оценивается статистическими характеристиками: m — числом выступов (впадин) на 1 км; Σh — суммарной величиной выступов (впадин) на 1 км, σ — среднеквадратичным отклонением величин неровностей и μ — коэффициентом вариации ровности,

$$h_{cp} = \frac{\Sigma h}{m}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\Sigma (h_{cp} - h_i)^2}{m - 1}}; \quad \mu = \frac{\sigma}{h_{cp}}.$$

Характеристики микропрофилей получают при помощи различных профилографов, нивелировкой или косвенно, по колебаниям автомобиля. Автомобиль и дорогу рассматривают как динамическую систему, характеризующуюся передаточной функцией или частотной характеристикой, позволяющими вычислить вынужденные колебания автомобиля, если известен микропрофиль дороги [51]. Изучение колебательного процесса автомобиля позволяет правильно сконструировать подвеску автомобиля и прицепного состава (или подобрать для данного типа покрытия

соответствующий подвижной состав), определять динамические усилия, действующие на дорогу, возможную скорость движения и др.

Подсистема внешняя среда — дорога является сложной тепломассообменной структурой. Ее изучение базируется на анализе влияния климата, рельефа местности, гидрогеологии, гидрологии и рода грунтов на водно-тепловой режим дорожной конструкции и ее устойчивость в процессе эксплуатации, снежно-метельный режим и пр. Исследование подсистемы позволяет совершенствовать конструкцию дорожных одежд и обеспечивать регулирование водно-теплого режима пути в целом и его отдельных элементов (см. главу 3) как при строительстве, так и при эксплуатации лесовозной дороги, организацию борьбы со снежными заносами, гололедом и пр.

Исследование подсистемы внешняя среда — авто-поезд позволяет изучить надежность применяемого подвижного состава и условия его работы в различных климатических и метеорологических условиях.

Все подсистемы между собой взаимосвязаны. Их физико-механический анализ является теоретической основой эксплуатации лесовозных автомобильных дорог.

§ 2. ДЕФОРМАЦИИ И ИЗНОС ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПУТИ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

В результате воздействия колес подвижного состава и природных факторов (осадки, ветер, колебания температуры и др.) происходят износ и деформирование земляного полотна, водопроводных сооружений и дорожной одежды. Кроме того, имеют большое значение и такие причины, как низкое качество дорожно-строительных работ, недоучет при проектировании дороги влияния некоторых природных факторов и др. В частности, нередко следующие виды деформаций земляного полотна дороги (рис. 11.2): просадки насыпей из-за недостаточного уплотнения грунта или слабого основания; сползание насыпи по косогору из-за неправильной подготовки основания; размывы обочин и откосов в связи с недоуплотнением или слишком большой крутизной; сплывы откосов выемок при вскрытии водоносных горизонтов; размывы кюветов и канав водоотвода и др.

Для искусственных сооружений на лесовозных дорогах характерны следующие виды деформаций:

просадка насыпи у въезда на мост и опор, расстройство соединений и врубок; загнивание свай и стоек, износ проезжей части деревянных мостов;

просадка секций сборных труб и их повреждения, засорение отверстий, размывы выходных участков русел и др. Значительная часть этих деформаций также может возникнуть из-за неудовлетворительного качества строительных работ,

Деформации дорожных одежд бесколеинового типа можно разделить на три основные группы: 1) просадки, 2) трещины в покрытии и 3) отделение и перемещение материала покрытия.

К 1-й группе относятся:

впадины или просадки (плавные неровности); причины — недостаточное уплотнение полотна и одежды, пучинообразование;

колеи мелкие (только в покрытии); причины — езда по одному следу, недостаточная толщина покрытия;

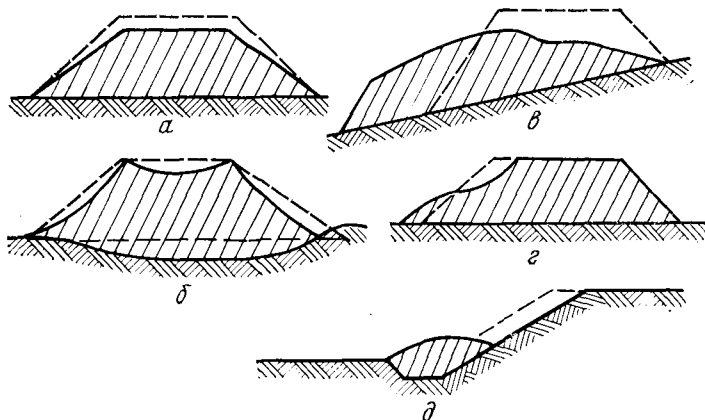


Рис. 11.2. Основные виды деформаций земляного полотна:

а — просадка насыпи из-за недостаточного уплотнения; *б* — просадка насыпи из-за наличия слабого основания; *в* — сползание насыпи по косогору; *г* — размыв откоса насыпи; *д* — сплыв откоса выемки

колеи глубокие; причины — недостаточно прочный слой основания, повышение уровня грунтовых вод; появление тяжелых автомобилей, рост интенсивности движения;

волны (однообразные неровности с шагом 0,8—1,0 м); причина — езда одностипных автомобилей с одинаковой скоростью.

К 2-й группе деформаций относятся:

трещины в железобетонных плитах и их переломы; причины — недостаточная прочность плит, слабое основание, вымывание материала подстилающего слоя в стыковой зоне;

сетка трещин на покрытии из асфальтобетона или укрепленного грунта; причины — появление трещин в слое основания из-за усадки, недостаточная морозоустойчивость материала покрытия.

К 3-й группе деформаций относятся:

выбоины (углубления с крутыми краями); причины — вырывание материала ударами колес, падающими бревнами, проходами гусеничных машин;

отслаивание; причина — отсутствие связи покрытия с основанием;

шелушение покрытия из цемента- или известгегрунта, цементобетона; причины — излишняя жесткость и крупность материала, низкая морозостойкость;

отделение крупных частиц гравийного покрытия (появление «катуна»), причина — неудовлетворительный подбор зернового состава;

выступы крупных камней в покрытии; причина — неудовлетворительная сортировка материала;

более или менее равномерный износ покрытия; причина — воздействие подвижного состава и природных факторов.

Во время эксплуатации дороги происходит постоянное уменьшение толщины покрытия, вызывающее снижение прочности дорожной одежды и ухудшение ровности.

Наиболее интенсивно изнашиваются проезжая часть грунтовых дорог, гравийные и щебеночные дорожные одежды из-за накопления остаточных деформаций, ухудшения зернового состава и уменьшения толщины слоя покрытия за счет пылеобразования и перемещения материала на обочины и откосы дорожного полотна.

Под действием колес автомобилей происходят истирание и раздробление частиц. Растет количество мелких фракций и в результате воздействия низких температур.

Износ покрытия за год приблизительно равен (мм)

$$h = a + bQ_{6p}, \quad (11.1)$$

где Q_{6p} — годовой грузооборот брутто (с учетом массы подвижного состава), млн. т; a и b — коэффициенты, значения которых приведены в табл. 11.1 (для дорог общего пользования).

Таблица 11.1

Покрытия	Значения коэффициентов	
	a	b
Асфальтобетонные ¹	0,4—0,6	0,25—0,55
Щебеночные, гравийные, обработанные битумом	1,3—2,8	3,5—6,0
То же, необработанные	4—6 ¹	15—30

От ровности покрытия зависит скорость движения автопоездов по дороге, динамика воздействия подвижного состава на путь, расход топлива и себестоимость вывозки леса.

Деформации дорожной одежды в виде небольших неровностей, высотой 3—5 мм не вызывают толчков и колебаний подвижного состава — они полностью поглощаются упругими ши-

нами колес. Однако более крупные неровности вызывают колебания подвижного состава и появление динамических усилий, вызывающих в свою очередь увеличение деформаций. Поэтому обеспечение ровности дорожной одежды — главная забота дорожников-эксплуатационников. Кроме того, на интенсивность накопления деформаций дорожной одежды большое влияние оказывает повышение влажности грунта, подстилающего одежду, и ее слоев. Поэтому внимание работников дорожной службы должно быть уделено предотвращению переувлажнения одежды и земляного полотна.

На дорогах с колеи́ным покрытием из железобетонных плит быстрое накопление деформаций происходит чаще всего из-за плохого качества материала подстилающего слоя (применение мелкого пылеватого песка) и его недостаточной толщины как под плитами, так и в межколеи́ном промежутке и на обочинах. Наиболее характерными деформациями являются расстройство колесопроводов (изменение положения плит в плане и профиле), просадки плит, появление уступов в стыках, поперечных трещин в плитах, промоин в слое песка под стыками, смятие и выпадение из пазов брусьев и др.

Для измерения ровности покрытия широко применяют трехметровые рейки. Просвет между ними и поверхностью покрытия измеряют линейкой или клином-промерником. Используют также несколько типов реек на колесной ходовой части с записывающим устройством (ПКР-1, ПКР-3, ПКР-5, ПКР-6У и др.), а также нивелирование через 2 м. Для контроля ровности значительных участков дороги применяют толкомеры ХАДИ типа ЦХК-2, толкографы ГКРБ и др. Согласно СНиП III-Д.5—73 предельно допускаемый просвет под трехметровой рейкой составляет для щебеночных и гравийных покрытий 15 мм. Отклонения от этой величины должны составлять не более 5 % общего числа промеров. Максимальные просветы не должны превышать 30 мм. Промеры просветов делают на трех створах на каждом пикете. На дорогах с колеи́ным покрытием предельный просвет под трехметровой рейкой (вдоль дороги) составляет 20 мм, зазор между плитами в стыках 10 мм, уступ в стыках 5 мм, разница по высоте по осям колесопроводов на прямой 20 мм.

Влияние поврежденных участков покрытия на скорость движения поездов можно приблизительно оценить по формуле

$$v_p = v_p \frac{v_{\min}}{(1 - \alpha) v_{\min} + \alpha v_p}, \quad (11.2)$$

где v_p — расчетная скорость; v_{\min} — скорость движения по поврежденному участку (2,5—3 м/с); α — отношение площади поврежденной части покрытия к его общей площади на данном участке.

§ 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ДОРОЖНОЙ СЛУЖБЫ И СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ В ИСПРАВНОСТИ

Для поддержания лесовозной дороги в исправном состоянии и проведения ее ремонтов в леспромхозах организуют дорожную службу.

Работами по содержанию и ремонту дорог руководит начальник дороги, подчиненный директору леспромхоза. Если дорога входит в состав лесопункта, то дорожными работами руководит дорожный мастер, подчиненный начальнику лесопункта. Для удобства обслуживания дорожная сеть предприятия делится на участки протяжением 45—50 приведенных километров. При этом 1 км магистрали принимается за единицу, 1 км веток и хозяйственных дорог берется с коэффициентом 0,75 и 1 км усов с коэффициентом 0,5.

Работой по содержанию и ремонту дороги на каждом участке руководит дорожный мастер, которому подчинена комплексная бригада из 5—7 человек и более. Бригадам выделяют необходимые средства механизации для выполнения дорожных работ. Целесообразно разделение бригады на два звена, из которых одно из 1—2 человек может выполнять работы по патрульному содержанию дороги с выполнением регулярной планировки (утюжки) покрытия и устранения мелких неисправностей, другое звено выполняет более сосредоточенные работы — текущий и средний ремонт дороги по определенному графику. Для успешного выполнения работ по содержанию и ремонту дорог все рабочие должны осваивать смежные профессии механизаторов-трактористов, бульдозеристов, грейдеристов. Для строительства лесовозных усов организуют комплексную бригаду из 5—6 человек под руководством дорожного мастера. Необходимое количество машин и оборудования для содержания и ремонта зависит от протяжения дорог, типов покрытий, интенсивности движения и местных природных условий.

В ПИТЭ [46] приведен примерный табель машин для содержания и ремонта автомобильных дорог с учетом их грузооборота и вида дорожной одежды. Например, для лесовозной дороги грузооборотом 150—300 тыс. м³/год необходимы три-четыре автосамосвала, один-два автогрейдера, один каток, один трактор «Беларусь» (ремонтер), один КБК (бульдозер), один экскаватор с ковшом 0,5—0,65 м³, два снегоочистителя, одна поливочная машина.

Система эксплуатационных мероприятий по поддержанию лесовозной дороги в исправном состоянии включает содержание дороги в исправности и ее текущий, средний и капитальный ремонты.

Содержание дороги (грунтовой или гравийной) в исправности заключается в выполнении следующих сезонных работ:

летом обеспечение ровности покрытия систематической планировкой (утюжкой) поверхности (выполняют после дождей), обеспыливание, обеспечение ровности износа покрытия с запрещением водителям езды по одному следу;

осенью обеспечение водоотвода с устранением рытвин, выбоин и колеи, где может задержаться вода, заготовка снегощитов, древесных завес, закрытие перед снегопадом отверстий малых мостов и труб щитами;

зимой борьба со снежными заносами и гололедом (посыпкой песком, хвоей), постройка ледяных и снежно-ледяных покрытий;

весной обеспечение исправной работы водоотвода для скорейшего просыхания дороги, борьба с пучинообразованием, закрытие движения по грунтовым, гравийным дорогам на период распутицы, раскрытие отверстий мостов и труб, пропуск ледохода под мостами, планировка проезжей части к началу летней вывозки.

В течение года необходимо проведение систематических планировок (утюжек) автогрейдерами или дорожными утюгами в количестве: три-четыре весной, три-четыре летом и четыре-шесть осенью (большие цифры для суглинков). Эту работу выполняют с установкой отвала или ребер утюга под углом 45—60° к оси дороги, последовательными проходами с захватом предыдущих проходов на 15—20 см. При повторных планировках необхо-

дно изменять порядок работы и обрабатывать проезжую часть сначала от краев к середине, а в следующий раз от середины к краям во избежание накопления материала на оси дороги.

Большое значение имеет организация летом борьбы с пылеобразованием на грунтовых и гравийных дорогах.

Борьба с пучинообразованием. На пучинных участках с нежесткой одеждой под воздействием подвижного состава при оттаивании образуются просадки и проломы, а на дорогах с колеиным покрытием из железобетонных плит — просадка плит, их перекосы и сдвиги. Поэтому все участки дороги, на которых весной образуются пучины, должны быть взяты на учет и на них следует проводить систематическую работу по устранению причин, вызывающих появление пучин. Для этого необходимо во время проведения среднего и капитального ремонтов отрегулировать водно-тепловой режим земляного полотна (см. главу 3).

При текущем содержании дороги на пучинных участках проводят следующие работы: до снеготаяния удаляют снег с обочин, из канав и на откосах, в начале снеготаяния устраивают на обочинах прорези для выпуска воды при таянии «донников» (линз льда), снижают полезную нагрузку на автомобили, ограждают пучинные места и делают объезды, а если пучинный участок имеет ограниченное протяжение, на покрытие для предотвращения его разрушения колесами автомобилей во время распутицы укладывают инвентарные щиты ЛВ-11 или другие. Одновременно принимают меры для ускорения осушения верха земляного полотна, устраивая выпуски воды из колеи на откосы полотна дороги и в канавы в виде канавок шириной 20—25 см. При значительном протяжении пучинных участков движение по дороге с нежесткой одеждой весной до окончания распутицы необходимо закрывать полностью.

Обеспыливание. В сухую жаркую погоду грунтовые и гравийные дороги сильно пылят. Пыль ограничивает видимость, что приводит к снижению скоростей движения, а следовательно, и производительности автомобилей и способствует увеличению износа трущихся частей подвижного состава. Унос ветром мелких частиц ухудшает зерновой состав материала покрытия, который теряет свою связность, а ее оседание на листьях деревьев отрицательно сказывается на росте последних.

Основным средством борьбы с пылеобразованием является обработка покрытия гигроскопическими солями или различными вяжущими или клеющими веществами.

Применение гигроскопических солей CaCl_2 , NaCl и др. в виде 15—20 % -ного раствора, порошка или гранул, заделываемых в покрытие на глубину 2—4 см, основано на свойствах этих солей поглощать влагу из воздуха и таким образом повышать влажность покрытия. Это в свою очередь ведет к возрастанию капиллярных сил взаимодействия между пылевыми частицами, и пылеобразование резко сокращается.

Для обеспыливания дорог используют также жидкие битумы марок А-1, А-2, А-3, СГ-15/25, СГ-25/40, каменноугольные дегти, сырую нефть, топочный мазут, битумные эмульсии, сульфитно-спиртовую барду, сульфитный щелок и др., которые склеивают частицы пыли между собой в более крупные агрегаты, вызывая этим уменьшение пылеобразования.

Средний расход наиболее широко применяемого хлористого кальция составляет: при первой обработке 0,8—1,2 кг/м² и при повторной 0,5—0,8 кг/м² при внесении в виде порошка и до $\frac{2}{3}$ этого количества при поливке 30 % -ным раствором. При обработке покрытия органическими вяжущими требуется 1,0—1,5 кг/м² вещества на первую поливку и 0,5—0,8 кг/м² на последующую, а сульфитного щелока (концентрация 10—13 %) в 3 раза больше. За сухое жаркое лето необходимо обрабатывать покрытие 2—3 раза с предварительной планировкой и уплотнением.

Борьба со снежными заносами и гололедом. По степени снегозаносимости различают: сильнозаносимые участки (выемки); среднезаносимые (нулевые места и малые насыпи, высота которых близка к средней толщине снежного покрова); слабозаносимые (насыпи большей высоты) и незаноси-

мые (насыпи высотой более 1 м, участки, проложенные по узким просекам в лесу). Перенос снега и образование заносов происходят при метелях. Различают метели: верховые — выпадение снега при ветре, низовые — перенос ранее выпавшего снега, поземки — перенос снега по поверхности, бураны (называемые также пургой) — при значительной влажности воздуха. В горах бывают снежные обвалы и лавины. Наиболее частые и сильные заносы характерны для III дорожно-климатической зоны; в лесных районах европейской части СССР снежные заносы возникают в основном на открытых необлесенных местах (болота, вырубки). Меры борьбы со снежными заносами делят на пассивные — снегозадержание и активные — очистка от снега. Снегозащитные устройства разделяют на постоянные полосы леса вдоль дорог шириной до 60 м и временные (щиты решетчатые, деревянные, снежные стенки, траншеи и валы, ряды вершинок и крупных сучьев).

Щиты размером $1,5 \times 2$ или 2×2 м устанавливают в конце осени вдоль дороги со стороны господствующего зимой ветра на расстоянии 20—25 м, а в сильнозаносимых местах в 40—45 м от бровки кювета или выемки, закрепляя их кольями. Для очистки дорог от снега применяют различные снегоочистители, автогрейдеры, бульдозеры. При больших заносах наилучшими являются шнеко-роторные снегоочистители. Гололед возникает при понижении температуры после оттепели с выпадением осадков и в результате образования ледяной корки при уплотнении снега колесами автомобилей. При гололеде резко снижается сцепление колес (ведущих и тормозных) с поверхностью дороги иезда по таким дорогам становится опасной, а сила тяги автомобилей по сцеплению резко снижается. Для повышения коэффициента сцепления применяют посыпку проезжей части песком, гравийным материалом с добавкой до 20 % NaCl. Нормы рассыпки материалов согласно ПТЭ [46] составляют до $0,3\text{—}0,4 \text{ м}^3$ на 1000 м^2 покрытия.

Содержание и ремонт зимних дорог. Содержание и ремонт зимних дорог включает работы по созданию и наращиванию слоя снежно-уплотненного, ледяного или снежно-ледяного покрытия, планировке проезжей части, расчистке проезжей части от снега и защите от снежных заносов, заделку выбоин, колеи и раскатов снегом с последующей планировкой проезжей части и обильной поливкой, при температуре $-5\text{—}-10^\circ\text{C}$. Необходимой также является и борьба с гололедом (см. выше).

Планировку проезжей части зимних дорог следует выполнять автогрейдерами или простейшими, реверсивными, изготавливаемыми на месте деревянными треугольниками, состоящими из двух брусьев-полосьев размером $3,5 \times 0,4 \times 0,3$ м с окованными полосовым железом режущими гранями, соединяемых под углом 60° двумя поперечными брусками (в виде буквы А, но с двумя поперечинами).

Количество планировок зависит от климата района (в особенности числа дней оттепелей на зиму) и вида покрытия и в среднем равно 12—15 для снежно-уплотненных покрытий и до 10 для ледяных и снежно-ледяных. В конце зимы выполняют работы по наращиванию слоя льда на кривых, где образуются раскаты, и на открытых местах, а также укрывают проезжую часть от солнечных лучей опилками и другим материалом.

§ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ДОРОГ

Обследование состояния лесовозной дороги и составление плана ремонтных работ. Ежегодно в конце весенней распутицы проводят обследование состояния лесовозной дороги, на основании которого выявляют участки, требующие ремонта, виды последнего, объем ремонтных работ и разрабатывают план их выполнения. Обследование дорог выполняет инженер с 2—3 рабочими. Результаты обследования и необходимые ремонтные работы заносят в дефектные ведомости и линейный график

дороги. Методика проведения такого обследования состоит в следующем. На основе визуального осмотра дороги устанавливают ее общее состояние с разбивкой на следующие участки в зависимости от их колеиности, наличия повреждений проезжей части и неисправностей водоотвода: а) участки, находящиеся в хорошем (ремонта не требуют); б) участки в удовлетворительном (требуют текущего ремонта) и в) участки в неудовлетворительном состоянии (требуют среднего или капитального ремонта). На участках, требующих ремонта, определяют причины, приведшие к разрушению или повреждению тех или иных элементов пути и водоотвода, определяют объемы ремонтных работ, проводят фактические замеры толщины слоев дорожной одежды, при помощи рычажного прогибомера определяют общий модуль упругости одежды и устанавливают тремя-четырьмя опытными проездами груженого до расчетной массы одиночного автомобиля величину фактической скорости движения.

Общие модули упругости одежды определяют и для участков дороги, находящихся в хорошем состоянии. Средние значения модулей для этих участков с одинаковым грунтом земляного полотна и одеждой принимают за эталонные для года и периода обследования.

При определении модуля упругости одежды прогибомером измерительный стержень прибора устанавливают между спаренными шинами заднего колеса автомобиля и берут отсчет по индикатору. Затем автомобиль съезжает с места стоянки, упругая деформация восстанавливается, и на индикаторе берут другой отсчет. Разница отсчетов позволяет установить величину упругой осадки. Величину последней можно определить с помощью нивелира [51].

На основании материалов обследования для каждого участка дороги устанавливают численные значения следующих эксплуатационных коэффициентов, характеризующих состояние дороги:

$$\left. \begin{aligned} \text{коэффициент службы } k_{\text{сл}} &= v_{\text{ф}} : v_{\text{р}}; \\ \text{коэффициент износа покрытия } k_{\text{из}} &= h_{\text{ф}} : h_{\text{пр}}; \\ \text{коэффициент прочности } k_{\text{пр}} &= E_{\text{ф}} : E_{\text{р}}, \quad \text{или} \quad k_{\text{пр}} = E_{\text{ф}} : E_{\text{эт}}, \end{aligned} \right\} \quad (11.3)$$

где $v_{\text{ф}}$ и $v_{\text{р}}$ — фактическая и расчетная техническая скорость движения на данном участке; $h_{\text{ф}}$ — полная величина износа покрытия в момент измерения; $h_{\text{пр}}$ — та часть толщины покрытия, которая предназначалась на износ; $E_{\text{ф}}$ и $E_{\text{р}}$ — фактический (определенный по номограмме на основании промеров толщины слоев одежды) и расчетный общий модуль упругости; $E_{\text{эт}}$ — модуль упругости эталонных участков с одинаковыми видами грунтов и конструкцией дорожной одежды.

Если коэффициенты $k_{\text{сл}}$ и $k_{\text{пр}}$ больше 0,9, а $k_{\text{из}}$ близок

к нулю, то участок дороги не нуждается в ремонте. Если $k_{\text{с.п.}} < 0,9$, а $k_{\text{из}}$ близок к единице, требуется средний ремонт. Если $k_{\text{пр}} < 0,85 \div 0,9$, то необходим капитальный ремонт.

В правилах технической эксплуатации лесовозных автомобильных дорог [46] приведены следующие ориентировочные межремонтные периоды:

для гравийных и щебеночных одежд из оптимальных смесей средний ремонт через 4—5 лет и капитальный 8—10 лет, для одежд из несортированного материала средний через 3—4 года, капитальный через 8—10 лет;

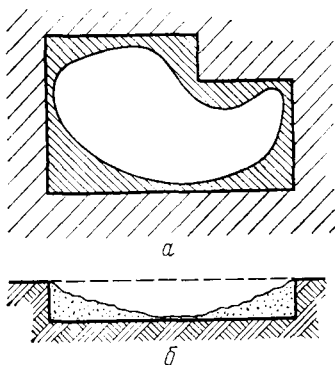


Рис. 11.3. Схема выполнения «ямочного» ремонта покрытия:

а — план; б — продольный разрез

для грунтовых улучшенных средний ремонт через 2—3 года; для колейных покрытий из железобетонных плит средний ремонт через 7—10 лет и капитальный через 15—20 лет.

Сроком службы слоя износа покрытия считают межремонтный период для среднего ремонта, а дорожной одежды — межремонтный период для капитального ремонта.

Текущий ремонт. Основная задача текущего ремонта заключается в устранении неисправностей и повреждений проезжей части дороги сразу после их появления. При текущем ремонте выполняют следующие виды работ: а) по земляному полотну и водоотводу — исправление отдельных мелких повреждений, восстановление размывов дождем откосов полотна с засевом травой; б) по дорожной одежде — заделка ям, рытин, выбоин, колеи, исправление отдельных просадок плит, исправление поперечного профиля одежды без внесения добавок материалов; в) по искусственным сооружениям — исправление отдельных повреждений, г) ремонт и окраска дорожных знаков. Поврежденные участки покрытия исправляют путем проведения «ямочного» ремонта, для чего поврежденное место расчищают от грязи и разрушенных материалов покрытия, раскирковывают, удаляя ослабленный материал по краям разрушения (рис. 11.3). Получаемое углубление должно иметь вертикальные стенки и края, параллельные или перпендикулярные оси дороги. Затем его

заполняют тем же материалом, из которого было построено покрытие, и тщательно утрамбовывают.

Значительную колеиность, волны, или «гребенки», устраняют ремонтной профилировкой покрытия автогрейдером с предварительной раскировкой и последующим уплотнением укаткой. Ремонтную профилировку необходимо проводить после дождя, когда материал покрытия хорошо увлажнен.

Средний ремонт. Этот вид ремонта дороги включает выполнение следующих видов работ: возмещение износа покрытия, восстановление водоотвода, укрепление размываемых откосов насыпей и выемок, ремонт мостов и труб, установку и восстановление дорожных знаков. Средний ремонт выполняют комплексно, как правило, на участках значительного протяжения (не менее 3—5 км) на основании материалов весеннего обследования дороги и с учетом долгосрочного графика выполнения дорожных ремонтных работ.

При хорошем качестве строительства дорожной одежды износ покрытия в межремонтный период не должен превышать толщины слоя износа, предусмотренного при проектировании дороги. На дорогах с гравийным или грунтощебеночным покрытием последнее наращивается на необходимую толщину. Одновременно производится ямочный ремонт поврежденных участков. Количество добавляемого гравия или щебня при среднем ремонте дороги зависит от ширины проезжей части, интенсивности движения и качества материала покрытия. До ремонта нужно провести поверочный расчет дорожной одежды на прочность, исходя из которого устанавливают проектную толщину покрытия с добавлением слоя износа, величину которого можно определить по формуле (11.1). Имея данные о фактической толщине покрытия и требуемой по расчету, нетрудно определить объем добавляемого дорожно-строительного материала.

По данным Союздорнии, материал гравийного покрытия наращивается в количестве 5—7 м³/км на каждые 3000 проходов одиночного грузового автомобиля (считая проходы в обоих направлениях). Объем добавляемого при среднем ремонте материала составляет примерно 300—450 м³ на 1 км ремонтируемого участка. Средний ремонт гравийного покрытия выполняют в следующей последовательности: доставляют дополнительный гравийный материал автосамосвалами и разгружают на поврежденные участки дороги или на негрузовую полосу движения, раскирковывают проезжую часть на глубину имеющихся впадин, перемещают дополнительный материал к месту укладки, планируют и профилируют покрытие автогрейдером и тщательно уплотняют пневмошинным катком с предварительной поливкой водой.

При среднем ремонте покрытий из укрепленных грунтов необходимо устройство поверхностной обработки, которую выполняют автогудронаторами, распределителями мелочи,

дорожными щетками, моторными катками, битумными котлами (см. главу 16). Средний ремонт выполняют, как правило, работники дорожной службы, обеспечивающие содержание дороги в исправности и ее текущий ремонт, кроме водителей автосамосвалов, необходимых для доставки дорожностроительных материалов, которые дополнительно выделяет предприятие на время ремонта.

Средний ремонт колейных покрытий из железобетонных плит заключается в восстановлении его ровности, что достигается устранением просадок, промоин, перекосов и других смещений плит с добавлением материала подстилающего слоя, а также замене разрушенных плит (с применением автокрана). Износившиеся стыковые бруски заменяют антисептированными, новыми. Плиты с обнаженной арматурой и трещинами ремонтируют на месте с применением жесткого цементного теста, а также эпоксидных смол или эпоксидно-минеральных смесей.

Трещины шириной до 5 мм заделывают цементным тестом (на одну часть воды две части цемента) с предварительной их очисткой железными крючками и щетками и промывкой водой. Трещины шириной более 5 мм сначала расширяют, очищают от пыли, промывают и заделывают жестким тестом (одна часть воды на три части цемента) или эпоксидно-минеральным клеем. Плиты, имеющие значительные повреждения, заменяют новыми, а затем ремонтируют на специально оборудованном участке.

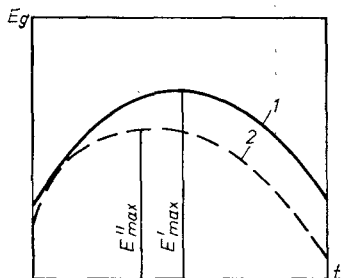
Капитальный ремонт. Капитальный ремонт дороги проводят не только для восстановления прочности ее элементов, но и для улучшения транспортно-эксплуатационных показателей работы дороги. При капитальном ремонте дороги восстанавливается дорожная одежда и земляное полотно дороги, улучшается водоотвод с восстановлением поперечного профиля всех сооружений, с производством укрепительных работ на размываемых участках и постройкой новых дополнительных сооружений водоотвода, если в этом выявилась необходимость. При капитальном ремонте смягчают крутые уклоны, ушибают, где необходимо, земляное полотно и проезжую часть, улучшают конструкции дорожной одежды, спрямляют извилистые участки. Контроль качества и приемка готовых участков дороги после среднего и капитального ремонтов производятся в порядке и с учетом норм отклонения размеров элементов пути от проектных, изложенных в ПТЭ [46].

Капитальный ремонт дороги от ее реконструкции отличается тем, что категория дороги при этом не меняется. Капитальный ремонт выполняют хозяйственным способом или подрядными строительными организациями на основании проектов и смет, составленных по материалам обследований и изысканий улучшающих вариантов. Вопросы технологии проведения ремонтных работ и содержания дорог более подробно изложены в работах [41, 42, 50, 51, 54].

При вывозке леса по грунтовым усам крайне важно правильно установить дату начала вывозки леса. Как известно, модуль деформации грунтов в распутицу имеет наименьшее значение в связи с переувлажнением, но по мере просыхания грунта его величина возрастает и к середине лета достигает максимума. Затем по мере приближения осени модуль деформации уменьшается (рис. 11.4).

Таким образом, если начать вывозку очень рано, когда модуль мал, то предельно допускаемая глубина колеи наступит очень быстро и общий объем вывозки по усу будет невелик.

Рис. 11.4. График изменения модуля деформации ездовой грунтовой поверхности в зависимости от фактора времени: 1 — кривая зависимости для районов с умеренно сухим летом; 2 — то же для районов с частыми летними дождями



Неправильно допускать задержку начала вывозки до середины лета, так как в этом случае число рабочих дней до наступления осенней распутицы также будет невелико.

На величину E_d в течение неморозного периода влияет главным образом влажность грунта, которая значительно колеблется в зависимости от выпадения осадков (в местности третьего типа влияет также и уровень грунтовых вод). В многолетнем разрезе зависимость величины модуля деформации от времени, отсчитываемого от какой-то определенной даты (например, 1 мая), математически может быть выражена трехчленом

$$E_d = s + qt^n - rt^m, \quad (11.4)$$

где t — текущая координата времени, сутки; остальные величины — коэффициенты, зависящие от рода грунта и режима выпадения осадков в летне-осенний период вывозки (определяются экспериментальным путем).

Для районов с континентальным климатом, умеренно сухим летом (основные лесные районы страны) показатели степени в формуле (11.4) близки к $n=1$ и $m=2$. В этом случае зависимость $E_d=f(t)$ выражается квадратичной параболой. На рис. 11.5 представлена расчетная схема решения задачи. Необходимо найти оптимальную дату начала работы уса t_n , при которой общее время работы уса в летне-осенний период t будет максимальным.

Принимая зависимость

$$E_d = s + qt - rt^2 \quad (11.4a)$$

и решая задачу на нахождение экстремума функции, получим, что максимальное значение этой функции будет при $t = 0,5 q/r$, а величина

$$|E_d|_{\max} = s + \frac{q^2}{4r}. \quad (11.5)$$

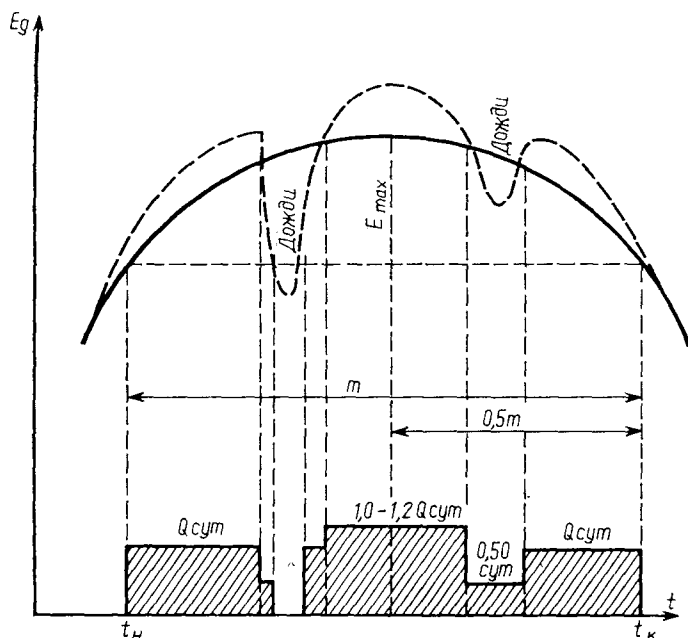


Рис. 11.5. Расчетная схема для определения оптимального дня начала вывозки леса:

t_n — начало вывозки по усу (ветке); t_k — конец летней вывозки; m — календарная продолжительность летнего периода вывозки; $Q_{сут}$ — суточный объем вывозки леса. Сплошной линией показана теоретическая зависимость $E_d = f(t)$, пунктирной — фактическая за один конкретный год. Внизу рисунка приведен примерный график вывозки с учетом периодов неблагоприятной погоды

Исследования, выполненные в ЛТА [34, 36], показали, что глубина колеи на временных лесовозных путях зависит от основных влияющих факторов следующим образом:

$$h = \frac{pD}{E_d} [a + b \ln (Nk_x k_{пор} k_{пр})], \quad (11.6)$$

где h — глубина колеи, м; p — удельное давление колеса автомобиля на дорогу, МПа; D — диаметр эквивалентного круга, м; E_d — модуль деформации грунта в период вывозки, МПа; a и b — коэффициенты, зависящие от конструкции проезжей части; N — число рейсов лесовозного автопоезда; k_x — коэффициент, учитывающий влияние на глубину колеи вида ходовой части автомобиля ($k_x = 1$ для трехосного автомобиля и 0,67 для двухосного);

$k_{\text{пор}}$ — коэффициент, учитывающий влияние движения в порожняковом направлении; $k_{\text{пр}}$ — коэффициент, учитывающий влияние прицепного состава. Для упрощения можно принять

$$k = k_x k_{\text{пор}} k_{\text{пр}}. \quad (11.7)$$

Для автопоездов МАЗ-509+ГКБ-9383 $k=1,7$; КрАЗ-255Л(260)+ГКБ-9383 2,04; ЗИЛ-131+ТМЗ-802 1,75. Ориентировочные значения коэффициента a для грунтовых усов 1,0, для гравийного покрытия колеинового типа 1,05 и бесколеинового 1,1 и коэффициента b соответственно 1,5; 0,85; 0,443.

Используя формулы (11.3) и (11.5), можно получить, что глубина колеи в первый день после начала вывозки при числе рейсов $N_{\text{сут}}$ будет равна

$$h_1 = pD \frac{1 + b \ln(N_{\text{сут}} k)}{s + q t_{\text{н}} - r t_{\text{н}}^2};$$

приращение колеи во второй день составит

$$\begin{aligned} h_2 &= pD \frac{1 + b \ln(2N_{\text{сут}} k) - 1 - b \ln(N_{\text{сут}} k)}{s + q(t_{\text{н}} + 1) - r(t_{\text{н}} + 1)^2} = \\ &= \frac{b p D \ln 2}{s + q(t_{\text{н}} + 1) - r(t_{\text{н}} + 1)^2} \text{ и т. д.} \end{aligned}$$

Суммируя приращения колеи за весь период летней работы уса и приравняв эту сумму к $h_{\text{доп}}$ (допускаемой глубине колеи) при $b=1,5$, получим

$$\begin{aligned} h_{\text{доп}} &= 1,5 p D \left(\frac{0,67 + \ln(N_{\text{сут}} k)}{s + q t_{\text{н}} - r t_{\text{н}}^2} + \frac{\ln 2}{s + q(t_{\text{н}} + 1) - r(t_{\text{н}} + 1)^2} + \right. \\ &+ \left. \frac{\ln(3/2)}{s + q(t_{\text{н}} + 2) - r(t_{\text{н}} + 2)^2} + \dots + \frac{\ln[m/(m-1)]}{s + q(t_{\text{н}} + m - 1) - r(t_{\text{н}} + m - 1)^2} \right) \end{aligned} \quad (11.8)$$

где m — общее календарное число дней работы уса (см. рис. 11.5).

В уравнении (11.8) имеется два неизвестных: $t_{\text{н}}$ и m . Анализ формулы (11.4а) показывает, что при параболической зависимости $E_{\text{д}} = f(t_{\text{н}})$ между ними существует следующая связь:

$$m = q/r - 2t_{\text{н}}. \quad (11.9)$$

Подставив это значение m в формулу (11.8), можно найти $t_{\text{н}}$.

Уравнение (11.8) удобнее решать с применением ЭВМ. Метод его решения вручную графоаналитическим способом изложен в работе [36]. На рис. 11.6 приведены результаты определения $t_{\text{н}}$ для первого типа местности. Дата начала отсчета времени принята 1 мая, $s=4,5$, $q=0,274$ и $r=0,00139$ для супеси и $s=1,5$, $q=0,37$, $r=0,002$ для суглинка. Величина суточного объема вывозки $Q_{\text{сут}}=500 \text{ м}^3$. На рис. 11.6 хорошо видно влияние произведения pD на дату начала вывозки. Например, в заданных условиях эксплуатации для автопоезда КрАЗ-255Л+ропуск ГКБ-9383, у которого $pD=0,165 \text{ МПа} \cdot \text{м}$, оптимальная (среднеголетняя) дата начала вывозки $t_{\text{н}}=38 \div 43$ -й

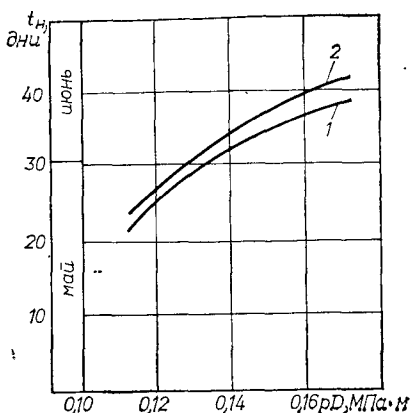


Рис. 11.6. Зависимость оптимальной даты начала вывозки по грунтовому усу от произведения pD :
1 — для супеси; 2 — для суглинка

день, т. е. 7—12 июня, а для автопоезда ЗИЛ-131 + роспуск ТМЗ-802 ($pD=0,123$ МПа·м) 26—28 мая, соответственно для супеси и суглинка.

Установив t_n по формуле (11.4), можно определить E_d^n в день начала работы уса, зная который, легко установить оптимальный день на-

чала работы в натуре в данный конкретный год, определив фактический модуль деформации грунта на усе, например ударником Союздорнии. Расчетное количество ударов гири ударника для заглубления на 10 см должно быть не менее $n_{уд} = 0,67 E_d^n$.

§ 6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСОВ ЛЕТНЕГО ДЕЙСТВИЯ И ЕЕ УВЕЛИЧЕНИЯ

Работоспособность лесовозного уса, т. е. количество леса, которое можно вывезти по усу за летний период, является важным показателем, позволяющим обоснованно решить такие вопросы при разработке схемы рубок и технологии лесозаготовок, как выбор типа уса (летний или зимний), дорожной конструкции, величины суточного объема вывозки леса и др. С учетом изложенного в § 5 работоспособность грунтового уса без укрепления проезжей части равна

$$Q_p = Q_{пол} N_{сут} m \beta k_{кл} k_{р.д} = Q_{сут} m \beta k_{кл} k_{р.д} = Q_{сут} \beta (q/r - 2t_n) k_{кл} k_{р.д}, \quad (11.10)$$

где $Q_{сут}$ — суточный объем вывозки леса, m^3 ; $k_{кл}$ — коэффициент, учитывающий приостановку вывозки во время дождей ($k_{кл} = 0,7 \div 0,9$); β — коэффициент, учитывающий возможность увеличения Q_p за счет ремонтных профилировок ($\beta = 1,0 \div 1,2$); $k_{р.д}$ — коэффициент перехода от календарных дней к рабочим ($0,71—0,86$).

Сравнивая Q_p с необходимым объемом вывозки, можно решить вопрос о необходимости укрепления проезжей части грунтового уса или перехода к применению иных дорожных конструкций, или к использованию, например, двухступенчатой вывозки с применением на усах легких типов подвижного состава (группы Б) с небольшими значениями pD . Значительное (до

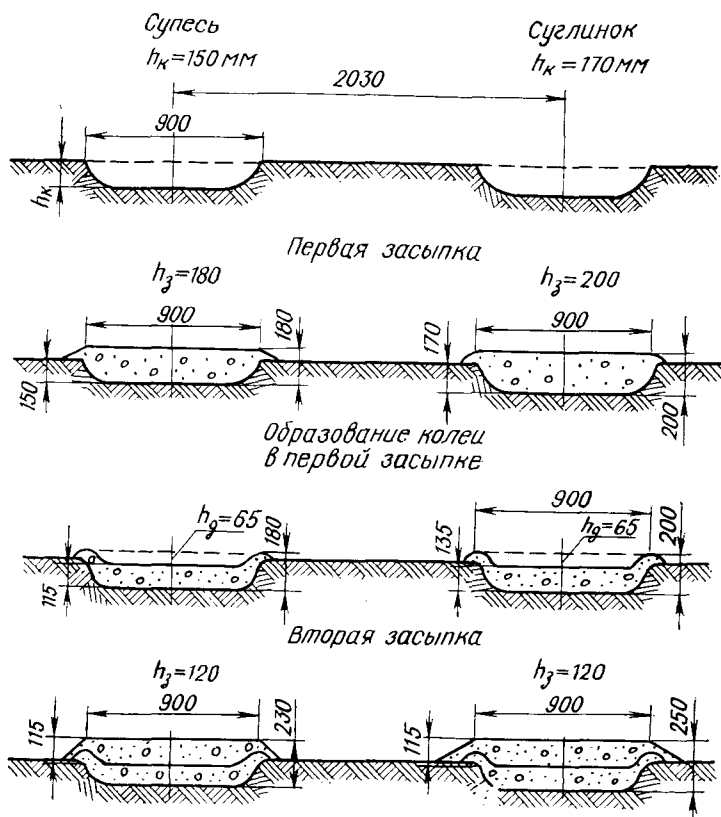


Рис. 11.7. Укрепление проезжей части грунтового уса засыпкой колеи песчано-гравийным материалом:

h_k — глубина колеи в грунте; h_z — толщина слоя каждой засыпки; h_d — глубина колеи в материале одежды перед каждой очередной отсыпкой материала (размеры в мм)

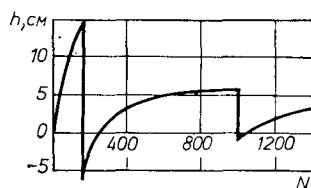


Рис. 11.8. Зависимость интенсивности колееобразования от количества проходов автопоезда ЗИЛ-131+2Р-8 при устройстве колейного покрытия из песчано-гравийного материала

3—5 раз) увеличение работоспособности грунтовых усов можно получить путем заполнения образовавшихся колеи песчано-гравийным материалом (рис. 11.7). Лучшее уплотнение материала можно получить, выполняя засыпку колеи в два этапа, равными долями. После отсыпки первой половины материала следует организовать вывозку леса до получения колеи глубиной 5—8 см, после чего отсыпать остальной материал. На рис. 11.8 показана примерная зависимость роста глубины колеи в зависи-

мости от числа проходов автопоезда при таком способе укрепления проезжей части грунтового уса.

Работоспособность уса с колейнными покрытиями из инвентарных щитов (плит) зависит от конструкции и качества основания покрытия и прочности инвентарных элементов. При правильном подборе конструкции основания (в зависимости от типа местности) и исправных элементов покрытия работоспособность уса весьма значительна (до 100 тыс. м³ и более).

Работоспособность инвентарных элементов покрытия определяется количеством перекладок, которые они могут выдерживать без разрушения. Износ элементов (щитов, плит) является следствием воздействия природных факторов (осадков, температуры, биофакторов — плесени, грибков, гнили и т. п.), механического воздействия колес подвижного состава и повреждений, возникающих при разборке, транспортировке и укладке элементов на новом месте. Особенно быстро разрушаются элементы и покрытие в целом под действием гусеничных машин, движение которых по инвентарным покрытиям недопустимо.

Из применяемых в настоящее время инвентарных щитов наиболее прочными являются деревянные щиты ЛВ-11, выдерживающие от четырех до шести перекладок.

§ 7. ДОРОЖНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ И ОГРАЖДЕНИЯ

Общие положения. При выполнении работ по вывозке леса и по текущему содержанию и ремонту лесовозных автомобильных дорог следует руководствоваться правилами технической эксплуатации автомобильных дорог. Все дороги круглогодичного действия, а также зимние магистральные пути должны быть оснащены соответствующей дорожной сигнализацией и знаками.

Дорожная сигнализация. Для обеспечения безопасности движения на автомобильных дорогах используют следующие виды дорожной сигнализации: 1) дорожные знаки, 2) линии и знаки, наносимые на поверхность дороги, 3) сигналы, подаваемые специальными постами и светофорами, 4) сигналы на автомобилях и прицепном составе (стопсигналы, номерные знаки, сигналы поворота), 5) радиустановки, обеспечивающие связь с диспетчером и встречными автомобилями.

Ограждения дорог. Для предупреждения аварий в опасных местах на лесовозных дорогах устанавливают ограждения: а) в виде столбиков и тумб на прямых участках насыпи высотой более 2 м через 50 м и на кривых (при той же высоте насыпи) радиусом 60 м через 5 м; радиусом 60—400 м через 10 м и 400—1000 м — 15 м, б) в виде сплошных, выполненных из камня или бетона парапетов — при расположении дорог на крутых склонах, вдоль ушей с обрывистыми берегами.

На двухполосной дороге ремонтные работы выполняют на одной полосе движения, оставляя вторую полосу свободной для движения. При ремонте однополосных дорог следует либо закрывать на необходимое время движение, либо устраивать объезды ремонтируемых участков с установкой указателей. Ремонтируемый участок ограждается предупреждающими знаками «Ремонтные работы», установленными за 40—50 м до ремонтируемого участка и дублирующими — непосредственно у ремонтного участка. Места ямочного ремонта ограждаются переносными барьерами с предупреждающими знаками на них.

При перевозке рабочих в лес и обратно должны строго соблюдаться ПТЭ [46, 45].

ЛЕСОВОЗНЫЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ

Глава 12

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕСОВОЗНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

§ 1. ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ В ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Железные дороги имеют большое значение для транспортного освоения крупных лесных территорий. Они часто являются самостоятельными цехами лесозаготовительных предприятий, а при больших грузооборотах и обслуживании нескольких лес-промхозов выделяются в самостоятельные предприятия.

Каждая железная дорога состоит из железнодорожного пути, тягового и прицепного подвижного состава, депо для локомотивов с экипировочным и ремонтным хозяйством и средств эксплуатации и связи.

Железнодорожный путь характеризуется его верхним строением, которое состоит из рельсов, рельсовых скреплений, рельсовых опор (деревянные или железобетонные шпалы) и подстилающего их упругого слоя из дренирующего материала, называемого балластным слоем (рис. 12.1). Назначение верхнего строения — направлять движение тягового и прицепного подвижного состава по рельсам, воспринимать сосредоточенное давление от колес подвижного состава и передавать его с наибольшей равномерностью и наименьшими деформациями на земляное полотно. Так, колеса подвижного состава УЖД передают на рельсы давление 600—800 МПа, рельсы на шпалы 2—4 МПа, от шпал на балластный слой 0,2—0,50 МПа и от балласта на земляное полотно при правильно спроектированном и построенном пути не больше 0,1 МПа, а при земляном полотне из песчаного грунта не больше 0,15 МПа.

Ширина рельсовой колеи измеряется между вертикальными плоскостями, касательными к внутренним граням головок рельсов. Поезда движутся по рельсам, являющимся опорной поверхностью для колес и направляющими их движения. Колеса имеют реборды и коническую поверхность катания с наклоном образующей $\frac{1}{20}$. Аналогичный уклон внутрь колеи придают и рельсам (подуклонка).

Технические особенности железных дорог обусловили следующие их эксплуатационные преимущества: небольшое удельное сопротивление движению (20—40 Н/т) и, как следствие, значительно меньший, чем на автомобильных дорогах, расход топлива для перевозки одного и того же количества груза; допустимость больших нагрузок на колесо без ущерба для пути и подвижного состава; незначительное возрастание себестоимости перевозок с увеличением расстояния вывозки; неизменность условий движения в разное время года и суток, что создает возможность вполне равномерной и ритмичной вывозки древесины в течение всего года.

Для безопасного движения подвижной состав всех видов дорог должен иметь поперечное очертание, не превышающее

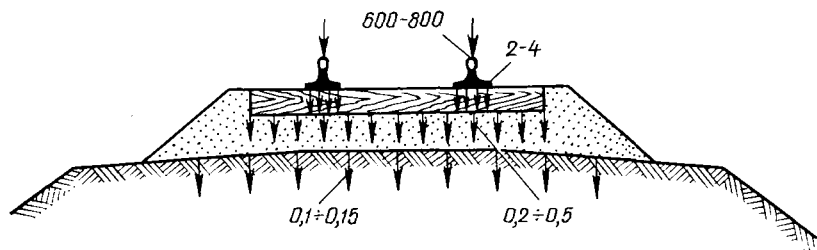


Рис. 12.1. Верхнее строение железнодорожного пути и схема передачи нагрузок (напряжения указаны в МПа)

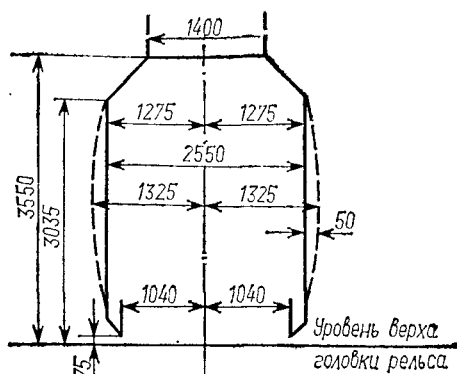
определенных размеров. Предельное поперечное очертание, перпендикулярное оси дороги, в котором не выходя наружу, должен помещаться установленный на прямом и горизонтальном пути подвижной состав (как в порожнем, так и в нагруженном состоянии) называется габаритом подвижного состава.

Габаритом приближения строений железных дорог называется предельное поперечное очертание, внутрь которого, кроме подвижного состава, не должны заходить никакие части сооружений и устройств, находящихся рядом с дорогой. Пространство между габаритом приближения строений и габаритом подвижного состава называется междугабаритным и служит для безопасности движения при возможных смещениях подвижного состава или самого пути.

Габаритом погрузки называется предельное поперечное, перпендикулярное оси пути очертание, в котором, не выходя наружу, должен помещаться погруженный на открытый подвижной состав груз с учетом упаковки и крепления.

Для подвижного состава железных дорог узкой колеи (750 мм) по ГОСТ 9720—76 установлен габарит Ту (рис. 12.2). Максимальная ширина габарита составляет 2550 мм и наибольшая высота 3550 мм. Тем же ГОСТом нормируются предельные

Рис. 12.2. Габарит вагонов узкоколейных железных дорог



очертания груза, находящегося на платформах узкой колеи. Максимальная ширина груза не должна превышать 2450 мм, высота 3500 мм, причем верхние 500 мм по высоте представляют собой трапецию с верхней горизонтальной стороной в

1400 мм, а на железных дорогах нормальной колеи предельная ширина груза 3250 мм, высота 5300 мм, причем самая верхняя часть высотой 1300 мм представляет собой трапецию с верхней стороной 1240 мм.

В соответствии с Инструкцией по проектированию железных дорог колеи 750 мм (СН 251—78) железнодорожные пути узкой колеи разделяются на следующие категории в зависимости от расчетной годовой грузонапряженности нетто в грузовом направлении на пятый год эксплуатации (в тыс. т·км/км): I категория — более 500; II категория — от 500 до 200, III категория — менее 200. Лесовозные ветки со сроком действия более 5 лет с ежегодным объемом более 250 тыс. м³ проектируют по нормам железных дорог II категории, при меньшем объеме — по нормам дорог III категории.

При расчете тех или иных параметров проектирования следует исходить из следующих максимальных скоростей движения поездов (км/ч): на путях I и II категорий 50, на магистралях III категории 40, на ветках 25 и на усах 10.

§ 2. ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ОСНОВЫ РАЗМЕЩЕНИЯ РАЗДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ

Для обеспечения скрещения и обгона поездов однопутные дороги необходимо разбивать на перегоны, представляющие собой участки, ограниченные раздельными пунктами, имеющими дополнительные пути и устройства сигнализации, которые обеспечивают регулирование движения поездов. Для безопасности движения поездов на каждом перегоне допускается нахождение только одного поезда. Таким образом, поезда могут отправляться на перегон только после того, как его покинул предыдущий поезд.

Раздельные пункты с путевым развитием, т. е. разъезды, обгонные пункты и станции, обеспечивают скрещение и обгон поездов, а на станциях также и выполнение маневровых работ,

грузовых и технических операций. Места расположения раздельных пунктов необходимо выбирать во время изысканий и трассирования дороги, так как к плану и профилю этих путей предъявляются повышенные требования. Станции, разъезды и обгонные пункты следует располагать на горизонтальных площадках или на уклонах не круче 1,5 ‰, а в трудных условиях при специальном обосновании — не круче 3 ‰. При расположении приемо-отправочных путей на уклонах должны предусматриваться меры против самопроизвольного ухода вагонов за пределы остановочного пункта на перегон. Как правило, станции, разъезды и обгонные пункты следует располагать на прямых участках пути, и только в трудных условиях допускается размещать пути остановочных пунктов на кривых, обращенных в одну сторону с радиусом не менее 300 м.

Пропускная способность железной дороги определяется числом пар поездов (туда и обратно), которые могут быть пропущены по дороге или ее участку в течение суток. Для обеспечения необходимой пропускной способности важное значение имеет размещение раздельных пунктов, так как перегон с наибольшим временем движения по нему пары поездов лимитирует пропускную способность всей дороги.

Пропускная способность зависит от числа перегонов и времени их прохода поездами расчетной массы. Число пар лесовозных поездов, которое необходимо пропустить по дороге, определяется формулой

$$N_{\text{л}} = \Gamma \gamma A Q, \quad (12.1)$$

где A — расчетное число дней работы дороги в году; Γ — годовой грузооборот, м³; Q — полезная нагрузка на поезд, м³; γ — коэффициент годовой неравномерности грузовых перевозок (обычно 1,2).

Кроме грузовых перевозок, необходимо учитывать движение рабочих $N_{\text{р}}$, а иногда и пассажирских $N_{\text{п}}$, балластных $N_{\text{б}}$ и хозяйственных поездов $N_{\text{х}}$. Таким образом, общая требуемая пропускная способность равна $N_0 = N_{\text{л}} + N_{\text{р}} + N_{\text{п}} + N_{\text{б}} + N_{\text{х}}$.

Как указывалось, пропускная способность дороги определяется числом пар поездов по перегону, имеющему наибольшее время движения туда и обратно ($t_1 + t_2$), т. е.:

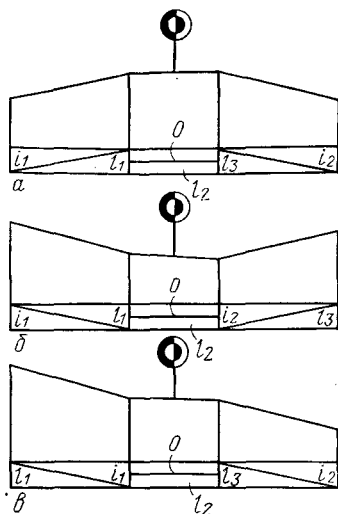
$$N = 1440 / (t_1 + t_2 + \tau_1 + \tau_2), \quad (12.2)$$

где τ_1 и τ_2 — интервалы времени, требующиеся для операций по приему и отправлению поездов, мин; 1440 — число минут в сутках.

Зная требуемую пропускную способность дороги, можно установить тот интервал времени хода туда и обратно по каждому перегону, который нельзя превышать, чтобы обеспечить требуемую пропускную способность на каждом перегоне:

$$t_1 + t_2 = 1440 / N_0 - (\tau_1 + \tau_2). \quad (12.3)$$

Рис. 12.3. Расположение остановочного пункта на продольном профиле дороги:
 а — на выпуклом участке; б — в яме; в — на уступе



Таким образом, при трассировании дороги места для раздельных пунктов необходимо расположить так, чтобы обеспечить идентичность всех перегонов по времени их прохода парой поездов. Поэтому перед началом трассирования следует заранее подсчитать пропускную способность данной дороги, расчетную массу поезда и величину $t_1 + t_2$, которую нужно обеспечить на каждом перегоне. Зная массу поезда и тип локомотива, предварительно по методу равновесных скоростей определяют скорость движения поезда в грузовом и обратном направлениях. При различных уклонах, зная протяжение участков, определяют время хода поезда по участкам с различными уклонами. Трассируя дорогу после каждого участка, вычисляя время хода пары поездов, и, по мере того как сумма минут $t_1 + t_2$ для пары поездов приближается к расчетному значению, выбирают место для размещения раздельного пункта, отклоняясь в необходимых случаях от руководящего румба. Длина площадки, место для которой предусматривают при прокладке трассы, должна превышать расчетную длину поезда на 220 м для разъездов и на 250 м для станции. Ширину площадки для разъездов достаточно иметь 100 м и для станции от 150 до 250 м. Наибольшие преимущества имеет остановочный пункт, размещаемый на возвышенной части профиля (рис. 12.3), так как в этом случае облегчается замедление approaching к остановочному пункту поезда и разгон отправляющегося. Кроме того, такое положение облегчает отвод воды от площадки.

§ 3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ УЖД

В связи с незначительной величиной основного сопротивления движению на железных дорогах даже небольшое изменение в величине руководящего подъема существенно сказывается на объеме перевозимой за рейс древесины. Вот почему даже в относительно трудных условиях на УЖД стараются не допускать значительных по величине руководящих подъемов. В практике проектирования УЖД в равнинной и слабо холмистой местности не допускают i_p больше 12‰ на

дорогах I и II категорий и 15‰ — на дорогах III категории, в сильно холмистой местности эти значения соответственно увеличиваются до 20 и 25‰, в горной местности уклоны могут достигать предельного значения — 40‰. Сведения по 100 узкоколейным лесовозным дорогам, построенным в прошлые годы, показывают, что 87 % дорог имеют руководящие подъемы, не превышающие 15‰.

Наименьшая величина руководящего подъема определяется условиями трогания поезда с места на остановочных пунктах: если $i_{ос}$ — уклон на остановочных пунктах, то $i_{р. мин} = \omega_{тр} + i_{ос}$. Как правило, $i_{р} < 6‰$ не назначается.

На ветках и на усах допускается применение расцепочного уклона с вывозкой состава по частям. Обозначим: Q — расчетная масса поезда, т; P — масса локомотива; F_p — расчетная сила тяги локомотива, Н; m — количество частей, на которые делится состав. Из условия [см. формулу (5.33)]

$$F_p = \frac{Q}{m} (gi_{рас} + \omega_0'') + P (gi_{рас} + \omega_0')$$

получаем

$$i_{рас} = \frac{F_p - \frac{Q}{m} \omega_0'' - P \omega_0'}{(P + Q/m) g}. \quad (12.4)$$

Наибольший спуск может определяться как по условиям торможения, так и из условия доставки на верхние склады порожних вагонов в количестве, необходимом для формирования состава расчетной массы. Уклон, определяемый из последнего условия, называется уравнивающим. Его величина равна

$$i_{ур} = \frac{F_p - (P \omega_0' + Q_{пор} \omega_0')}{(P + Q_{пор}) g}. \quad (12.5)$$

При этом массу состава в негрузовом направлении принимают равной $Q_{пор} = nq_t + Q_{хоз}$, где $Q_{хоз}$ — масса хозяйственных грузов, равная 0,2 расчетной массы поезда нетто в грузовом направлении; q_t — масса тары одного вагона; n — число сцепов в грузе поезда.

В местах сосредоточенных высотных препятствий, требующих при применении руководящих уклонов данной величины значительного увеличения объемов земляных работ или удаления пути, допускается использовать в грузовом направлении уклоны кратной тяги, круче руководящего, которые преодолеваются двумя локомотивами одинаковой или разной мощности. В этом случае формула (12.4) для двойной тяги принимает вид

$$i_{кр} = \frac{F_1 + 0,9F_2 - [Q\omega_0'' + (P_1 + P_2)\omega_0']}{(Q + P_1 + P_2) g}, \quad (12.6)$$

где F_1 и F_2 — расчетная сила первого и второго локомотивов; а P_1 и P_2 — масса первого и второго локомотивов; 0,9 — коэффициент, учитывающий несогласованность работы локомотивов.

Установленную расчетом величину наибольших подъемов в грузовом направлении на кривых участках пути, имеющих радиус R , следует уменьшать на величину $i_{\text{эк}}$ эквивалентную дополнительному сопротивлению движения от кривой, равному

$$\omega_{\text{кр}} = g425/R, \quad (12.7)$$

а при длине кривой менее длины поезда $L_{\text{п}}$

$$\omega_{\text{кр}} = 7,5g\alpha/L_{\text{п}}, \quad (12.8)$$

где α — угол поворота.

Продольный профиль железнодорожного пути следует проектировать элементами возможно большей длины. В трудных условиях длину элементов профиля можно сокращать до длины поезда и даже до половины длины поезда или маневровой подачи, принятой на перспективу, но на величину не менее 100 м для магистральных путей и не менее 50 м на ветках и усах. Очень важное значение имеет правильное сочетание смежных элементов профиля.

Наибольшая алгебраическая разность сопрягаемых уклонов и наименьшая длина разделительных площадок по нормам СН 251—78 ограничена следующими значениями:

Масса поезда брутто, т . . .	более 500	300—500	200—300	150—200	менее 150
Разность уклонов, %:					
в углублениях и на уступах профиля	2,4	4	6	10	14
на возвышениях профиля	4	6	9	14	20
Наименьшая длина площадок, м	200/150	150/100	100/75	75/50	50

Примечание. В числителе указаны размеры для разделительных площадок в углублениях и на уступах продольного профиля, в знаменателе для площадок на возвышении продольного профиля.

Смежные прямолинейные элементы продольного профиля УЖД при алгебраической разности сопрягаемых уклонов 6‰ и более для путей I категории и 8‰ для других категорий должны сопрягаться вертикальными кривыми, радиус которых для путей I категории должен быть не меньше 5000 м и для других категорий не менее 2000 м. Переломы продольного профиля должны располагаться от концов переходных или круговых кривых, а также от концов пролетных строений мостов на величину большую, чем тангенс вертикальной кривой.

§ 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА ЛЕСОВОЗНЫХ УЖД

На лесовозных железных дорогах узкой колеи радиусы кривых в плане также нужно принимать достаточно большими, но не более 2000 м на путях I категории и 1000 м на путях других

категорий (СН 251—78). Такое ограничение связано с трудностью обеспечения постоянства кривизны на криволинейных участках. Радиусы кривых меньше 300 м приводят к увеличению длины линии и снижают скорость движения. Если местные условия не препятствуют, то наиболее целесообразно применять радиусы от 600 до 2000 м, обеспечивающие достаточно хорошую видимость и не требующие применения переходных кривых и возвышения наружного рельса.

Нормами допускаются следующие минимальные значения радиусов кривых, которые могут применяться в трудных и особо трудных условиях: магистрали I категории 300/200, II категории 200/150, III категории 150/100, лесовозные ветки 150/80, усы 100/60 (в числителе радиусы, допустимые для применения в трудных условиях, в знаменателе — в особо трудных условиях). На путях, где происходит сцепка или расцепка вагонов радиусы кривых должны быть не менее 100 м. Радиус кривой, примыкающей к стрелочному переводу, должен быть не меньше радиуса переводной кривой прилегающего стрелочного перевода. При применении на кривых радиусов 600 м и менее прямые и кривые участки пути, а также смежные круговые кривые разных радиусов следует сопрягать посредством переходных кривых переменного радиуса.

Для безопасности движения и предотвращения схода подвижного состава с рельсов между последовательно расположенными круговыми или переходными кривыми следует устраивать прямые вставки. Их минимальная длина на путях I категории для кривых, направленных в одну сторону, должна быть 45 м и для кривых, направленных в разные стороны, 30 м; для путей II и III категорий и веток минимальный размер прямых вставок равен 25 и 15 м соответственно. В трудных условиях кривые, направленные в одну сторону, лучше заменять одной общей кривой большого радиуса.

Как указывалось, применение малых радиусов значительно ухудшает условия движения и приводит к увеличению длины трассы. В то же время на путях относительно кратковременного действия, т. е. на усах и ветках, можно использовать допустимые значения минимальных радиусов. Чем меньше времени служит путь, тем он должен быть более гибким в плане, обходить препятствия и укладываться в местный рельеф.

§ 5. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА УЗКОКОЛЕЙНОГО ПУТИ В КРИВЫХ МАЛЫХ РАДИУСОВ

Для обеспечения плавного изменения центробежного усилия на кривых устраивают возвышение наружного рельса, переходные кривые и уширение колен для облегчения вписывания подвижного состава, а также укладывают на внутренней нитке кривых укороченные рельсы.

Возвышение наружного рельса. Для обеспечения одинакового износа рельсов на наружной и внутренней нитках и снижения бокового давления на наружные рельсы необходимо возвышение наружного рельса. Величина возвышения определяется из условия равенства нормальных реакций рельсов $N_{\text{л}}$ и $N_{\text{п}}$ (рис. 12.4, а). Примем: I — центробежная сила; S_1 — расстояние между центрами рельсов; a — расстояние от плоскости верха

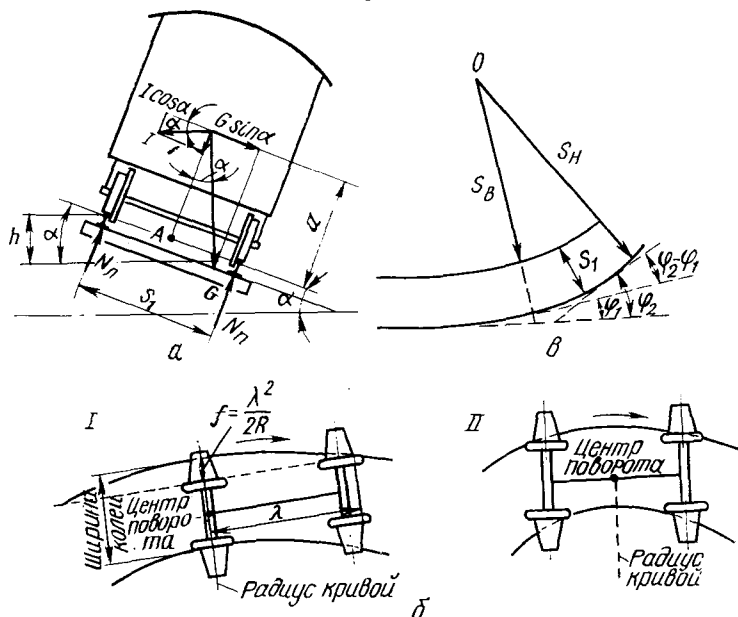


Рис. 12.4. Путь в кривых:

а — схема действия сил при возвышении наружного рельса на кривых; б — свободное (I) и заклиненное (II) вписывание подвижного состава в кривую; в — схема к определению количества укороченных рельсов

рельсов до центра тяжести экипажа; G — сила тяжести; R — радиус кривой. Уравнение моментов около точки A в середине колен будет иметь вид: $(I \cos \alpha - G \sin \alpha) a = (N_{\text{п}} - N_{\text{л}}) S_1/2$.

Приравняем нулю разность $(N_{\text{п}} - N_{\text{л}})$: $N_{\text{п}} - N_{\text{л}} = \frac{2a}{S_1} (I - G \tan \alpha) = 0$.

Следовательно, $I = G \tan \alpha \approx G \sin \alpha$.

Подставив значения $I = Gv^2/R$ и $\sin \alpha = h/S$, находим величину требуемого возвышения наружного рельса (мм)

$$h = S_1 v^2 / g R. \quad (12.9)$$

Подставляя в формулу $g = 9,81$ м/с² и $S_1 = 1600$ мм для колен 1520 мм и $S_1 = 800$ мм для колен 750 мм, находим:

$$\text{для дорог колен 1520 мм} \quad h = 160v_1^2/R = 12,5v^2/R; \quad (12.10)$$

$$\text{для колен 750 мм} \quad h = 78v_1^2/R = 6v^2/R, \quad (12.11)$$

где v_1 — скорость, м/с; v — скорость, км/ч.

Полученное расчетом возвышение наружного рельса округляется до 5 мм. Отвод возвышения выполняется на участке длиной l_0 , который располагается симметрично по отношению к началу круговой кривой. Уклон отвода возвышения принимается 1‰ в нормальных условиях и 2—3‰ в стесненных. При устройстве переходной кривой отвод возвышения устраивается на участке переходной кривой, а если ее нет — на прямом участке, прилегающем к кривой. На железных дорогах длина переходной кривой l_{π} принимается примерно равной длине отвода возвышения наружного рельса h , т. е.

$$l_{\pi} \approx l_0 = h/i_0. \quad (12.12)$$

Полученную величину округляют до стандартных размеров 10 или 20 м. Применение небольшого числа стандартных длин переходных кривых позволяет при расчетах пользоваться ограниченным количеством величин параметров переходных кривых, которые равны $C = Rl_{\pi}$ (м²).

В связи с тем, что стандартная длина может отличаться от определенной по формуле (12.12), фактический уклон отвода i_0 возвышения наружного рельса изменится в ту или другую сторону. Возвышение наружного рельса тем больше, чем больше центробежная сила, а следовательно, его величина пропорциональна квадрату скорости движения и обратно пропорциональна радиусу кривой. В связи с этим в современных нормах участки пути делят в зависимости от конфигурации продольного профиля на скоростные зоны. На узкоколейных железных дорогах путь делят на две характерные зоны: 1) углубления продольного профиля и примыкающие к ним участки, а также другие участки, проходимые грузовыми поездами с максимальными или близкими к ним скоростями; 2) все прочие участки продольного профиля. По нормам СН 251—78, для путей I и II категорий в 1-й скоростной зоне следует принимать при $R = 100 \div 500$ м длину переходной кривой 20 м и при $R = 600$ м 10 м, во 2-й скоростной зоне при $R = 100$ м длина переходной кривой 20 м и при больших радиусах 10 м. Для путей III категории и на ветках в 1-й скоростной зоне длина переходной кривой 20 м и при больших радиусах 10 м. Во 2-й скоростной зоне переходная кривая при всех радиусах равна 10 м. Во всех случаях при $R < 100$ м длина переходной кривой принимается 10 м. Переходные кривые разбиваются по уравнению радиоидальной спирали (клотоиды) или кубической параболы. При $l_{\pi} < 0,2R$ можно для разбивки переходной кривой использовать более простые формулы кубической параболы. В этом случае абсциссы и ординаты кривой находятся без таблиц по формулам: $x = S$; $y = x^3 : 6C$. Тангенс переходной кривой принимается равным $l_{\pi} = l_{\pi}/2$. Смещение точек оставшейся части круговой кривой к центру равно $p \approx l_{\pi}^2/24R$, угол переходной кривой $\beta = 90l_{\pi}/\pi R$.

Уширение колеи в кривых малых радиусов необходимо для облегчения вписывания подвижного состава. Движение железнодорожного экипажа в кривой состоит как из поступательного перемещения в направлении его продольной оси, так и поворота около точки, называемой центром поворота. Этот центр находится на пересечении продольной оси жесткой базы тележки с нормальным к ней радиусом кривой. Статическое свободное вписывание (рис. 12.4, б) происходит при небольших скоростях движения, когда горизонтальные силы не в состоянии переместить заднюю ось экипажа к наружной нитке рельсов. В данном случае наружное колесо первой оси прижимается к наружному рельсу, а внутреннее колесо задней оси касается рельсов внутренней нитки, а задняя ось устанавливается по радиусу кривой. Центр поворота у двух- и трехосных тележек находится на последней оси.

По мере уменьшения ширины колеи и возрастания скорости движения внутреннее колесо задней оси оказывает все большее давление на внутренний рельс и центр поворота перемещается к середине жесткой базы. При дальнейшем возрастании скорости движения все колеса двухосной тележки могут прижаться гребнями к рельсам. Такое вписывание называется заклиненным (рис. 12.4, б) и сопровождается значительным возрастанием сопротивления движению и увеличением распорного давления на рельсы. Для того чтобы предотвратить такие условия движения ширину колеи увеличивают при радиусах от 200 до 101 м до 755 мм и при радиусе кривой 100 м и меньше до 760 мм. Приемочные допуски по ширине колеи составляют по уширению 4 мм (на усах 6 мм) и по сужению 2 мм. Отвод уширения колеи должен быть достаточно плавным, не более 1 мм на 1 пог. м пути, причем при уширении отодвигается внутренняя нитка рельсов.

Укладка укороченных рельсов. На наружной нитке кривой укладывают рельсы стандартной длины. В связи с разницей в длине наружной и внутренней рельсовых ниток для сохранения одинакового количества рельсов на кривой по внутренней нитке укладывают наряду с рельсами нормальной длины укороченные рельсы. Для любого вида кривой (рис. 12.4, в) на отрезке в пределах угла $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ внутренняя нить будет короче наружной на величину

$$E = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \rho_n d\varphi - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \rho_v d\varphi,$$

где ρ_n и ρ_v — радиусы кривизны по наружной и внутренней ниткам. Следовательно, величина укорочения равна

$$E = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (\rho_n - \rho_v) d\varphi = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} S_1 d\varphi = S_1 (\varphi_2 - \varphi_1) = S_1 \varphi, \quad (12.13)$$

где S_1 — расстояние между осями головок рельсов на кривой. Как известно, для переходных кривых $\varphi = l_n^2 / 2C$ и для круговых

кривых $\varphi = l_{кр}/R$. Здесь l_n и $l_{кр}$ — длина переходной и круговой кривых соответственно. Суммарное укорочение на двух переходных кривых и на одной круговой равно

$$E_c = 2E_{пк} + E_{кр} = S_1 (l_n^2/c + l_{кр}/R). \quad (12.14)$$

Требуемое число укороченных рельсов при величине стандартного укорочения Δ равно $N_y = E_c/\Delta$. Укороченные рельсы укладывают на внутренней нитке равномерно в зависимости от соотношения их количества и количества рельсов нормальной длины. Если укороченные рельсы не поставляются, то их подбирают, учитывая большие допуски по длине у изготавливаемых рельсов. Для механизированной перекладки рельсошпальной решетки стыки рельсов нужно укладывать по наугольнику. Укладка укороченного рельса назначается в том случае, если забег по внутренней нитке достигнет половины стандартного укорочения. Длина укороченных рельсов Р18 и Р24 составляет 7870 мм.

§ 6. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ЕГО ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ

По нормам СН 251—78 для магистральных линий УЖД I категории ширина земляного полотна между бровками составляет 4 м (3,8), для II категории 3,8 (3,6) м, для III категории 3,5 (3,3) м, для веток с меньшим сроком службы и для усов 2,7 (2,4) м. В скобках приведены размеры при скальных, крупнообломочных и песчаных дренирующих грунтах. На кривых участках пути ширина земляного полотна увеличивается с наружной стороны кривой на 0,2 м при радиусе меньше 600 м на путях I категории и при радиусах 300 м и менее на путях II и III категорий.

Земляное полотно лесовозных железных дорог в целом подобно земляному полотну автомобильных дорог и к нему предъявляются те же требования в отношении возвышения бровки над уровнем грунтовых вод (см. табл. 3.1) или над уровнем длительного стояния (более 20 сут) поверхностных вод, т. е. и в этом случае необходимо достаточное возвышение для предохранения земляного полотна от пучения и просадок. Насыпи на болотах должны устраиваться из дренирующих грунтов. Высота насыпи над поверхностью болот после осадки должна быть не менее 0,6 м при полном удалении торфа из-под основания насыпи и 0,8 м при частичном сохранении торфа.

Ширина бермы между подошвой откоса насыпи и бровкой резерва или водоотводной канавы должна быть не менее 2 м. Для насыпей высотой менее 2 м, отсыпаемых из резервов, ширина бермы может уменьшаться до 1 м. На болотах ширина бермы между подошвой откоса насыпи и бровкой водоотводной канавы должна быть не менее 3 м. При благоприятных гид-

рологических условиях насыпи высотой до 1 м можно проектировать и без берм, с переходом откоса насыпи в откос резерва или канавы, но в этом случае он делается более пологим с крутизной 1:3.

На болотах I типа насыпи лесовозных УЖД проектируют без выторфовывания, на болотах II типа с посадкой на минеральное дно без выторфовывания или на затопленных сланях и на болотах III типа только с посадкой на минеральное дно. Высота насыпи над поверхностью болот после осадки должна быть не менее 0,6 м при полном удалении торфа из-под основания и 0,8 м при частичном удалении или сохранении торфа.

На рис. 12.5 показана конструкция основной площадки земляного полотна с выпуклой сливной призмой, которую на одно-

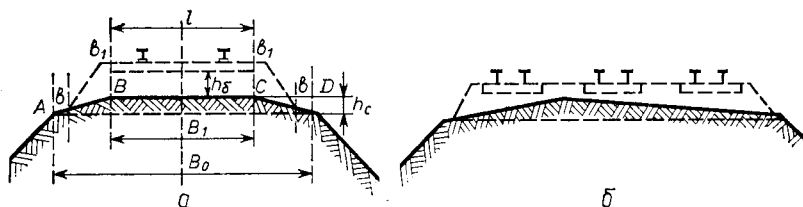


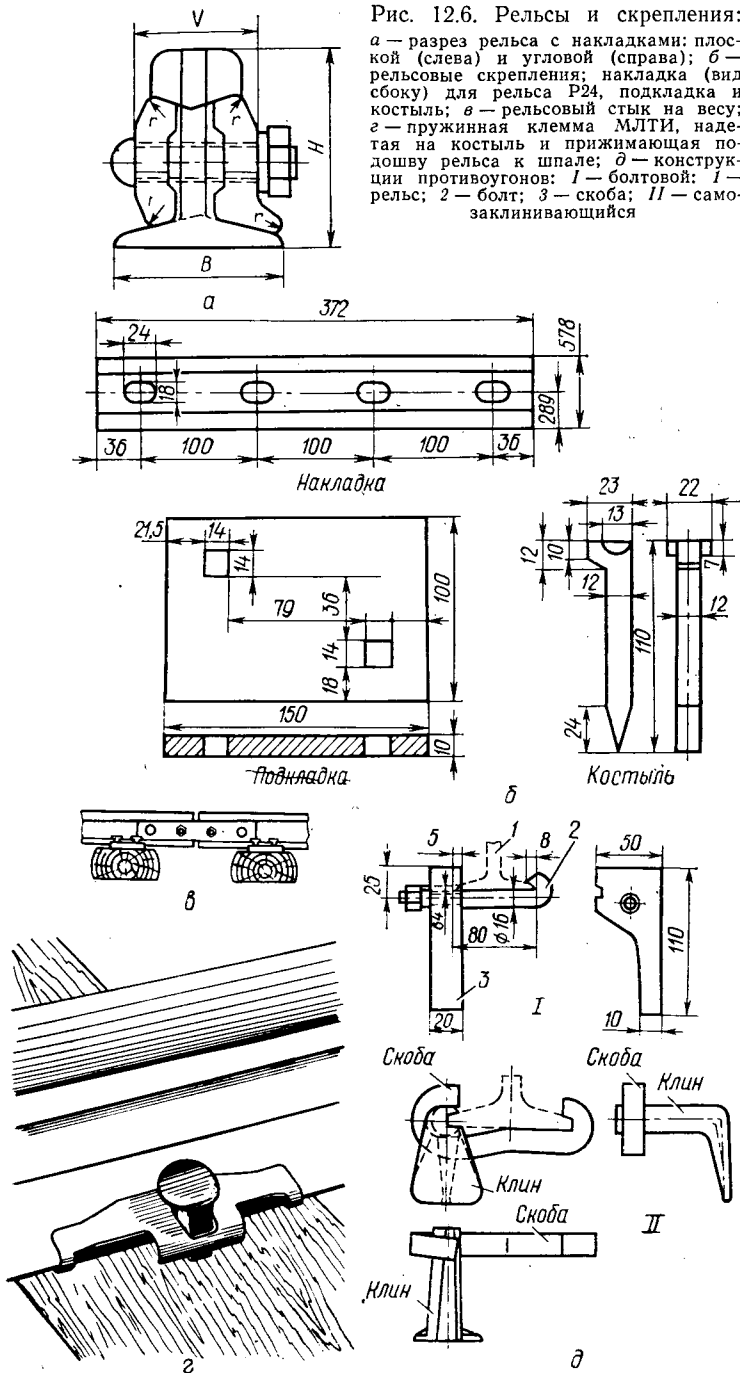
Рис. 12.5. Основная площадка земляного полотна:
а — на однопутных участках; б — на двух- и трехпутных участках

путных дорогах устраивают в виде трапеции, а на остановочных пунктах и на двухпутных дорогах в виде треугольника. Ширина верхней стороны трапеции обязательно должна быть меньше длины шпала для того, чтобы при образовании на поверхности полотна под шпалами вмятин, так называемых шпальных корыт, влага из них могла бы удаляться. Поэтому на лесовозных УЖД ширина верхней стороны трапеции составляет 1,2 м, высота сливной призмы на путях I и II категорий 0,1 м и на путях III категории 0,06 м. Опыт показал, что и на дорогах III категории высоту сливной призмы следует принимать 0,1 м.

§ 7. ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ ПУТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Верхнее строение является основным элементом железнодорожного пути. Оно должно иметь такую прочность и устойчивость, которые обеспечивают движение поездов с установленными максимальными скоростями. Два рельса нормальной длины, прикрепленные к находящимся под ними шпалам, составляют звено. Места соединения рельсов друг с другом называются стыками. Их число обратно пропорционально длине рельсов. В связи с тем, что стык является наиболее слабым местом пути, в настоящее время стремятся применять рельсы большей длины или сваривать концы рельсов в стыках. Рельсы сое-

α — разрез рельса с накладками: плоской (слева) и угловой (справа); δ — рельсовые скрепления; накладка (вид сбоку) для рельса Р24, подкладка и костыль; θ — рельсовый стык на весу; ξ — пружинная клемма МЛТИ, надеваемая на костыль и прижимающая подушку рельса к шпале; θ — конструкция противоугонов: I — боковой; II — рельс; 2 — болт; 3 — скоба; II — само-заклинивающийся



диняют друг с другом стыковыми скреплениями, состоящими из накладок и стягивающих их болтов, а прикрепляют к опорам промежуточными скреплениями (костылями, шурупами, болтами и пр., а также подкладками, укладываемыми между рельсами и шпалами). К скреплениям относятся также противоугоны, передающие на шпалы продольные усилия от рельсов. Рельсы вместе со шпалами образуют рельсошпальную решетку. На прямых участках шпалы укладывают нормально к оси пути, на кривых по радиусу кривой. Под рельсошпальной решеткой должен устраиваться балластный слой из дренирующего материала (щебня, гравия, песка) для обеспечения устойчивости ее в пространстве, отвода от нее воды, распределения воспринимаемого от шпал давления на возможно большую площадь поверхности земляного полотна, уменьшения пылеобразования и создания достаточной упругости рельсового основания.

Рельсы. Форма рельсов (рис. 12.6, а) близка к двутавровой балке, верхняя полка которой представляет собой головку, непосредственно воспринимающую давление колес подвижного состава. Нижняя полка представляет собой подошву рельса. Головка с подошвой соединяется тонкой шейкой. В связи с большим износом головки в процессе эксплуатации количество металла в ней увеличено и составляет 43—46 %. Подошва для увеличения устойчивости рельса имеет увеличенную ширину; в ней находится 33—36 % металла рельсов. Верхняя часть головки обычно имеет выпуклую форму с радиусом 100—200 мм. На концах рельсов в шейке устраивают эллипсовидные отверстия для болтов, стягивающих накладки. Такая форма отверстий обеспечивает возможность температурных удлинений и укорочений рельсов.

Типы рельсов различают по массе 1 пог. м. Для железных дорог нормальной колеи СССР применяют четыре типа: Р43, Р50, Р65 и Р75, для железных дорог узкой колеи Р8, Р11, Р15, Р18 и Р24. Для лесовозных УЖД в настоящее время поставляют рельсы Р18 и Р24, на ряде дорог сохранились и рельсы Р15. Число в наименовании типа показывает округленную величину массы 1 пог. м рельса.

Основные размеры рельсов Р18 и Р24 приведены в табл. 12.1.

Для дорог узкой колеи рельсы изготавливают из углеродистой спокойной мартеновской и кислородно-конверторной стали. Качество рельсов из полуспокойной стали значительно ниже, в связи с чем их нельзя укладывать на магистралях и ветках лесовозных железных дорог.

В зависимости от содержания в стали углерода (от 0,45 до 0,80 %) рельсы подразделяются на три категории:

Н50 — нормальной твердости, с временным сопротивлением 580 МПа;

Т60 — твердые с временным сопротивлением 650 МПа;

ПТ70 — повышенной твердости с временным сопротивлением 750 МПа.

Таблица 12.1

Показатели	Буквенное обозначение	Тип рельсов	
		P18	P24
Высота рельса, мм	<i>H</i>	90	108
Ширина подошвы, мм	<i>B</i>	80	92
Ширина головки, мм	<i>v</i>	40	51
Толщина шейки, мм	<i>d</i>	10	10,5
Площадь поперечного сечения, см ²	<i>F</i>	22,88	31,79
Момент инерции относительно горизонтальной оси, см ⁴	<i>I_x</i>	238,44	497,80
Момент инерции относительно вертикальной оси, см ⁴	<i>I_y</i>	40,68	86,10
Момент сопротивления рельсов, см ³ : по низу подошвы	<i>W₁</i>	55,36	93,39
по верху головки	<i>W₂</i>	50,81	91,02
Масса 1 пог. м рельсов, кг		17,91	24,90
Площадь подкладки для рельсов, см ²		144	196
Длина накладки, мм		372	364

Примечание. Справочные данные по остальным типам узкоколейных рельсов приведены в [61].

Рельсы категорий ПТ и Т изготавливают только из спокойной стали и именно рельсы этих категорий работники лесозаготовительных предприятий должны указывать в своих заказах. На шейке каждого рельса в горячем состоянии выкалывают или выбивают буквы и цифры, обозначающие: тип рельсов, две последние цифры — год изготовления рельсов, условное обозначение или товарный знак предприятия-изготовителя. Дополнительно к этому на шейке или торце каждого рельса выбивают номер или шифр плавки. У рельсов второго сорта подошва и половина шейки торца должны быть окрашены несмываемой красной краской.

Длина рельсов на УЖД все еще незначительная — 8 м, хотя по требованию потребителя они могут изготавливаться и большей длины. На дорогах колеи 1520 мм раньше рельсы прокатывали длиной 12,5 м, но сейчас почти все заводы перешли на прокат рельсов длиной 25 м. Чем длиннее рельсы, тем меньше стыков и динамических ударов, воздействующих на путь при проходе подвижного состава по стыкам. Поэтому кроме рельсов нормальной длины применяют длинные рельсы в виде плетей, сваренных из рельсов стандартной длины. Для укладки в кривых часть рельсов (по заявке потребителя) поставляют укороченными.

Длинные рельсы получили на УЖД значительное распространение. Длина их кратна стандартной, т. е. 24; 32 или 40 м. Такие рельсы при изменении температуры изменяют длину, но эти изменения ограничиваются величиной стыкового зазора и при высоких температурах концы рельсов упираются друг

в друга, а при низких, укорачиваясь, стремятся срезать или изогнуть стыковые болты. Таким образом, железнодорожный путь некоторую часть года (летом и зимой) является температурно-напряженным. По исследованиям МЛТИ, длина сварных рельсовых путей на УЖД может быть допущена при амплитуде температуры узкоколейных рельсов от 60 до 70 °С 64 м, от 70 до 80 °С 40 м, от 80 до 90 °С 32 м и при амплитуде годовых температур от 90 до 100 °С 24 м. Максимальную температурную амплитуду рельсов можно принимать равной амплитуде температур воздуха, увеличенную на 12—15 °С.

Бесстыковый путь устраивают из сварных плетей длиной в несколько сот метров или даже в несколько километров (по длине блоку участка). В этом случае сопротивления концов таких плетей продольным перемещениям настолько большие, что их не могут преодолеть даже весьма значительные температурные усилия, возникающие в рельсах, и средняя часть длинных плетей не имеет возможности изменять свою длину. Для предохранения таких плетей от выброса необходимо выполнять ряд мероприятий по увеличению сопротивляемости пути продольным и поперечным перемещениям [63].

Срок службы рельсов зависит от их износостойкости и проходящего тоннажа (брутто). Интенсивность износа зависит от качества рельсов и характеризуется коэффициентом износа β , который представляет собой площадь изношенной части головки рельса (в мм²) за период пропуска 1 млн. т брутто груза. Для рельсов нормальной колеи $\beta = 2 \div 3$ мм². Для узкоколейных рельсов с временным сопротивлением не менее 700 МПа и выше можно принимать $\beta = 3$ мм²; для рельсов с временным сопротивлением 550—650 МПа коэффициент износа возрастает до 4,5 мм² и для рельсов с меньшим временным сопротивлением $\beta = 7 \div 8$ мм² на 1 млн. т брутто. На кривых с радиусом менее 200 м величина коэффициента износа возрастает в 1,5—2 раза. Срок службы (лет) рельсов определяют по формуле

$$t = \omega_n / \beta G, \quad (12.15)$$

где ω_n — площадь допустимого износа головки рельса данного типа; G — объем проходящего за год тоннажа (брутто).

Рельсовые опоры. На УЖД основным видом рельсовых опор являются деревянные шпалы. По ГОСТ 8993—75 они подразделяются на два вида: обрезные А и необрезные Б. В зависимости от размеров поперечного сечения ГОСТом предусматриваются по три типа каждого из видов шпал. Толщина шпал I типа (А и Б) 140 мм, II типа 130, III типа 120 мм. Ширина верхней постели I типа 140 мм, II типа 110 и III типа 100 мм. Ширина нижней постели I типа 230 мм, II типа 210 и III типа 190 мм. На путях I и II категорий должны применяться шпалы только I и II типов. На путях III категории, лесовозных ветках и усах допускается укладка деревянных шпал III типа. В последние годы

все чаще начинают применять железобетонные шпалы. Длина шпал на дорогах узкой колеи 750 мм принимается равной 1500 мм (удвоенная ширина колеи). Деревянные шпалы до укладки в путь должны быть пропитаны масляными антисептиками, растворенными в органических растворителях для долговременной защиты их от гниения. Глубина пропитки должна быть не менее 85 % толщины заболони. Режим и качество пропитки предусмотрены ГОСТ 20022.5—75.

Рельсовые скрепления. Как указывалось выше, рельсы скрепляются между собой и прикрепляются к опорам рельсовыми скреплениями. Стыковые скрепления не обеспечивают полной компенсации целого сечения рельсов.

Наиболее удовлетворительной является конструкция стыка на весу (рис. 12.6, в), в которой концы рельсов перекрываются с двух сторон накладками, стянутыми болтами. Стык располагается в середине пролета между шпалами, расстояние между которыми должно обеспечивать возможность подбивки балласта под каждой шпалой с двух сторон. Располагать стыки на шпале не следует в связи с большей жесткостью ударов и худшими условиями содержания пути.

По расположению стыков на пути различают стыки вразбежку и стыки по наугольнику (друг против друга), как это принято на дорогах СССР. Такое расположение стыков удобно для звеньевой укладки и при перекладке временных путей, т. е. усов и веток.

В настоящее время для узкоколейных дорог изготавливают только плоские четырехдырные накладки. Плоские накладки устраивают заклинивающего типа с утолщениями на краях, прилегающих к головке и подошве рельса.

Для улучшения работы стыков узкоколейных рельсов и prolongации срока их службы необходимо применение накладок, имеющих угловой профиль (рис. 12.6, а). Накладки стягивают специальными болтами, имеющими для предотвращения проворачивания овальный подголовник. В настоящее время по предложению МЛТИ принято решение для рельсов Р18 и Р24 применять одни и те же болты, ранее применявшиеся только для рельсов Р24. Их размеры (мм): длина 100, диаметр 18; масса болта с гайкой 0,296 кг. Для постоянного упругого натяжения и предотвращения саморазвинчивания гаек применяют пружинные шайбы.

Промежуточные скрепления (рис. 12.6, б) делятся на простейшие (бесподкладочные) и подкладочные. В последнем случае они могут быть нераздельными, когда рельс через подкладку соединяется непосредственно с опорой; смешанными, если подкладка кроме сквозных крепежителей имеет отдельные, предназначенные только для прикрепления подкладки к шпале; раздельными, когда рельс скрепляется только с подкладкой, а последняя независимо от рельсов соединяется с опорой.

На лесовозных УЖД в основном применяют бесподкладочные скрепления, состоящие из забиваемых в шпалы костылей, головки которых прижимают подошву рельса к шпалам. На стыковых и пристыковых шпалах, а также в кривых и на других ответственных участках пути применяют подкладочное нераздельное скрепление. В данном случае давление рельса на шпалы передается через большую площадь, снижая напряжения на поверхности шпал. Кроме того, при наличии подкладок существенно увеличивается сопротивление рельсов действию горизонтальных поперечных сил, так как одновременно с наружными костылями отжатию рельсов сопротивляются и внутренние. Подкладки клиновидного сечения не требуют зарубки шпал для устройства подуклонки, а также обеспечивают большую точность подуклонки. Основным прикрепителем рельсов является костыль — стержень из стали квадратного сечения, заостренный в виде долота на одном конце и с головкой на другом. Костыль для рельсов Р24 и Р18 имеет сечение 14×14 мм, длину 130 мм, высоту головки 16 мм и массу 0,21 кг. Обычные костыли оказывают незначительное сопротивление продольному перемещению рельсов по шпалам и не способствуют предотвращению угона рельсов. В связи с этим применяют пружинные прикрепители, разработанные в МЛТИ. Исследования показали, что наиболее удобной и экономичной является пружинная клемма (рис. 12.6, з), надеваемая на костыли. После забивки костыля надетая на него пружинная клемма непрерывно нажимает на подошву рельса, в несколько раз увеличивая его сопротивление перемещению по шпалам или подкладкам, что уменьшает угон рельсов и расширяет возможность применения длинных рельсовых плетей и бесстыкового пути.

Подкладки для узкоколейных рельсов Р15 показаны на рис. 12.6, б, а для рельсов Р18 и Р24 они имеют одну и ту же площадь основания — $192,3 \text{ см}^2$ и размеры в плане 200×100 мм, площадь поперечного сечения профиля $27,2 \text{ см}^2$ и массу 1 шт. 2,04 кг. При применении железобетонных шпал подкладки не требуются, так как прочность бетона вполне достаточна для восприятия давления подошв рельсов, подуклонка осуществляется наклоном бетонных постелей. При железобетонных шпалах применяют различные виды прикрепителей: пружинные костыли или скобы, для которых в железобетонные шпалы втплены деревянные втулки (дюбели), шурупы, которые снабжают пружинными клеммами. Вместо шурупов иногда применяют шурупоболты или болты.

Противоугоны (рис. 12.6, д). Под действием продольных сил при движении поездов и особенно при их торможении рельсы и другие элементы верхнего строения перемещаются вдоль пути. Это явление называется *угоном*, в результате которого нарушается соответствие величины стыковых зазоров наружным температурам, что приводит к выбросу пути и авариям. Для пред-

отвращения угона на рельсы устанавливают специальные крепления — противоугоны. Они представляют собой устройства в виде упоров, с помощью какого-либо приспособления надежно закрепленных к подошвам рельсов. Чтобы шпалы не перекашивались, противоугоны ставят на обеих нитках друг против друга, причем так, чтобы они своими упорами касались шпалы. Для передачи давления от противоугона на большее число шпал между смежными шпалами ставят деревянные распорки. Их ставят парами и так, чтобы в плане они представляли собой прямые линии. Противоугоны с распорками образуют противоугонные секции, передающие усилия на три шпалы. Имеется много различных конструкций противоугонов. На рис 12.6, д приведены простейший болтовой и клиновой самозаклинивающийся противоугоны.

Балластный слой. К материалу балластного слоя предъявляются следующие требования: он должен хорошо распределять вертикальное давление на большую площадь, не пылить, не насыщаться водой, сопротивляться размыву и выдуванию. В то же время для балластного слоя следует применять по возможности местные материалы, так как на 1 км дороги требуется 500—700 м³ материала. В наибольшей степени предъявляемым требованиям удовлетворяет щебень размером 25—70 мм, но это наиболее дорогой материал, поэтому при его использовании для создания необходимой толщины рекомендуется устраивать подстилающий песчаный слой. На отдельных дорогах на щебень ставят только стыки, чем достигаются уменьшение ударов в стыках и снижение угона пути.

На лесовозных дорогах часто применяют песчаный балласт. Желательно использовать песок размером не меньше 0,5 мм, глинистые и пылеватые частицы являются вредными примесями, в связи с чем глинистых частиц должно быть в балластном материале не более 2 %, а общее количество мелкоземных частиц не должно превышать 10 %. Ширину балластной призмы поверху на прямых однопутных участках следует принимать 1,7 м, а на лесовозных ветках 1,6 м. При укладке железобетонных шпал ширину балластной призмы увеличивают до 1,8 м.

При применении длинных рельсовых плетей или бесстыкового пути для увеличения устойчивости пути против выброса ширину балластной призмы желательно увеличивать на 0,3—0,4 м. Минимальную толщину балластной призмы следует принимать в соответствии с рекомендациями СН 251—78, приведенными в табл. 12.2 или по результатам расчета. На кривых участках балластную призму нужно проектировать с учетом возвышения наружного рельса при сохранении под внутренними рельсами минимальной толщины, указанной в табл. 12.2 или определенной расчетом. На кривых участках магистральных путей I и II категорий радиусом менее 600 м требуется уширение с наружной стороны на 0,1 м. Крутизна откоса балластной призмы

при всех видах балласта должна быть 1:1,5, а для песчаной подушки 1:2. Верх балластной призмы должен отсыпаться в одном уровне с верхней постелью деревянных шпал или на уровне средней части железобетонных шпал. На путях со сроком службы меньше 5 лет балластная призма может отсыпаться на половину высоты шпал, за исключением участков, опасных в отношении угона пути. Междупутья на отдельных пунктах при расстоянии между осями смежных путей до 4,5 м следует заполнять балластом. При большем расстоянии между путями балластные призмы у смежных путей проектируют отдельными.

§ 8. РАСЧЕТ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ НА ПРОЧНОСТЬ

В СССР расчет железнодорожного пути ведут по способу, рассматривающему рельс как балку, лежащую на сплошном упругом основании. В этом случае действительную конструкцию пути из рельсов, опирающуюся на отдельные шпалы, необходимо представить в виде условной балки с той же площадью опоры на сплошное упругое основание, что и действительный путь (рис. 12.7, а). Фиктивная ширина такой балки, соответствующая действительной площади опирания шпал на балласт, равна

$$b_0 = \alpha ab/2l, \quad (12.16)$$

где a — длина шпалы; b — ширина ее нижней постели; l — расстояние между осями смежных шпал; α — коэффициент изгиба, учитывающий неравномерность прогиба шпал под рельсами (для УЖД $\alpha=0,95\div 0,98$). Для характеристики свойств основания принимают наиболее простую гипотезу о прямой пропорциональности между давлением на единицу площади основания шпал в данном месте p и вызываемой этим давлением упругой осадкой основания y , т. е. $p=Cy$, где C — коэффициент пропорциональности, в транспортных пособиях называемый коэффициентом постели, а в курсах сопротивления материалов коэффициентом упругого основания.

В излагаемом ниже способе расчета рельс считают неразрезной балкой бесконечной длины. Рельс рассчитывают на изгиб, а шпалы, балласт и земляное полотно на напряжения смятия. Принимается, что колеса при их движении не отрываются от рельсов и ударное воздействие отсутствует. За критерий прочности принимается допускаемое напряжение, которое сравнивается с результатами расчета.

Задачи расчета верхнего строения пути заключаются в том, чтобы по заданному типу подвижного состава установить устойчивые средние и максимальные значения вертикальных динамических сил и выбрать конструкцию верхнего строения и размеры его отдельных частей при заданном подвижном составе и скоростях движения. Характеристикой упругих свойств основания рассматриваемой фиктивной балки является сила, приложенная

к единице длины рельса, вызывающая единичную упругую осадку основания в сечении под рельсом. Такая характеристика называется модулем упругости рельсового основания U .

$$U = Cb_0 = C\alpha ab/2l. \quad (12.17)$$

Интенсивность реактивного отпора основания на единицу длины балки q зависит от величины ее просадки и упругости основания, т. е. $q = Uy$.

Рассмотрим изгиб бруса на сплошном упругом основании под воздействием одной вертикальной силы P . За положитель-

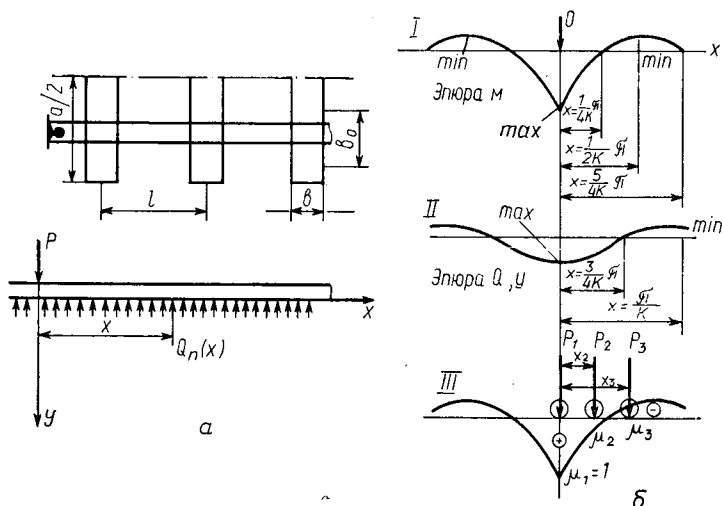


Рис. 12.7. Схемы к расчету верхнего строения пути:

a — замена площади шпал на площадь условной балки и схема балки на упругом основании; b — эпюры изгибающего момента (I), давления на шпалу и прогиба рельсов (II) и схемы их использования при расстановке колес подвижного состава (III)

ное направление оси y примем ее направление книзу (рис. 12.7, а). Как известно из курса сопротивления материалов [69], при отсутствии внешней распределенной нагрузки дифференциальное уравнение изгиба балки будет иметь вид $EIy^{(IV)} + Uy = 0$, где E — модуль упругости рельсовой стали; I — момент инерции сечения рельса. Вводя для удобства решения уравнения обозначение $U = 4k^4$, получим $y^{(IV)} + 4k^4y = 0$. В транспортных расчетах величину $k = \sqrt[4]{U:4EI}$ называют коэффициентом относительной жесткости основания и рельса.

При решении уравнения сосредоточенные силы (а если есть, то и моменты) учитывают путем наложения соответствующих граничных условий при определении постоянных интегрирования C_1, C_2, C_3, C_4 . Общий интеграл дифференциального уравнения

изгиба балки, лежащей на сплошном упругом основании, будет равен

$$y = C_1 e^{kx} \cos kx + C_2 e^{kx} \sin kx + C_3 e^{-kx} \cos kx + C_4 e^{-kx} \sin kx. \quad (12.18)$$

Рассмотрим граничные условия: при $x = \infty$ $y = 0$, и в этом случае два последних слагаемых обращаются в нуль из-за множителя e^{-kx} , а два первых только при условии $C_1 = C_2 = 0$; при $x = 0$ производная $dy/dx = 0$ и, следовательно, $C_3 = C_4$. Обозначим $C_3 = C_4 = C_0$, при $x = 0$ поперечная сила $Q_{\text{п}} = P/2$ (для сечения справа от начала координат) и, следовательно, если найти третью производную при полученных значениях произвольных постоянных, то $-EI y''' = -P/2$ и константа интегрирования будет равна $C_0 = P : 8k^3 EI$.

Учитывая, что $8k^3 EI = 2U/k$, уравнение изгиба для оси балки примет вид

$$y = \frac{Pk}{2U} e^{-kx} (\cos kx + \sin kx). \quad (12.19)$$

Взяв вторую производную, получим формулу для изгибающего момента:

$$M = -EI y'' = \frac{P}{4k} e^{-kx} (\cos kx - \sin kx). \quad (12.20)$$

Обычно для функций вводят такие обозначения:

$$e^{-kx} (\cos kx - \sin kx) = \mu; \quad (12.21)$$

$$e^{-kx} (\cos kx + \sin kx) = \eta. \quad (12.21a)$$

Следовательно, имеем:

$$y = \frac{Pk}{2U} \eta; \quad (12.22) \quad M = \frac{P}{4k} \mu. \quad (12.23)$$

Значения функций μ и η приведены в работе [70] и других.

Для определения давления рельса на шпалу можно найти равную ему по абсолютной величине реакцию полушпалы на рельс

$$Q_{\text{ш}} = p \alpha ab / 2 = C y \alpha ab = U y, \quad (12.24)$$

или, подставляя значение y из формулы (12.22), получим

$$Q_{\text{ш}} = P k \eta / 2. \quad (12.25)$$

Эпюры изменения значений M , y и $Q_{\text{ш}}$ приведены на рис. 12.7, б.

Таким образом, максимальные значения прогибов, моментов и давлений имеют место непосредственно под грузом. Эпюры величин M , y и $Q_{\text{ш}}$ от единичного усилия на основании принципа независимости действия сил и взаимности перемещений, а также с учетом их полной симметрии можно рассматривать как изображенные в определенном масштабе линии влияния.

В зависимости от расстояния точек приложения передаваемых через колеса усилий от расчетного сечения умножают значение каждого усилия на $\mu = f_1(kx)$ для изгибающих моментов и на $\eta = f_2(kx)$ для прогибов и давлений. Следовательно, при действии системы как либо расположенных вертикальных усилий значения M , y и Q для расчетного сечения пути могут быть определены следующими выражениями

$$M = \frac{1}{4k} (P_1\mu_1 + P_2\mu_2 + \dots + P_n\mu_n) = \frac{1}{4k} \sum_{i=1}^{i=n} P_i\mu_i; \quad (12.26)$$

$$y = \frac{k}{2U} \sum P_i\eta_i; \quad (12.27)$$

$$Q_{ш} = \frac{kl}{2} \sum P_i\eta_i. \quad (12.28)$$

В приведенных формулах $\sum P_i\mu_i$ и $\sum P_i\eta_i$ — эквивалентные нагрузки, заменяющие данную систему колес, соответственно первая для изгибающего момента, вторая для прогибов и давлений на шпалы, балласт и земляное полотно. За расчетные сечения принимают последовательно каждое из сечений, проходящее через центр колеса локомотива или вагона и расчет ведут на наибольшие из полученных значений эквивалентных нагрузок.

Определение вертикальных сил. Вертикальное давление, передаваемое колесом на рельсы, представляет собой сумму статического давления и различных значений составляющих вертикального давления, которые входят в суммарное вертикальное динамическое усилие в случайных сочетаниях, т. е. статистически. В результате использования основных положений теории вероятности проф. М. Ф. Вериго была разработана методика определения расчетных динамических усилий, основанная на композиции законов распределения случайных величин. Основываясь на этой методике, максимальное вертикальное усилие, передаваемое колесами на рельс, можно определить по формуле

$$P_{\text{макс}}^{\text{дин}} = P_{\text{дин}}^{\text{ср}} + 2,5S_0 = P_{\text{в}} + P_{\text{р}}^{\text{ср}} + 2,5S_0, \quad (12.29)$$

где $P_{\text{дин}}^{\text{ср}}$ — среднее динамическое усилие; $P_{\text{в}}$ — весовая составляющая вертикального усилия; $P_{\text{р}}^{\text{ср}}$ — среднее значение составляющей вертикального усилия, обусловленного колебаниями обрессоренных масс и дополнительным прогибом рессор; S_0 — среднеквадратическое отклонение для композиции всех силовых вертикальных воздействий, передаваемых колесом на рельс; при определении этой величины в последнее время принимают во внимание только основные, наиболее существенные по величине среднеквадратические отклонения:

$$S_0 = \sqrt{S_{\text{в}}^2 + S_{\text{р}}^2 + S_{\text{шп}}^2}, \quad (12.30)$$

где S_b — среднеквадратическое отклонение весовой составляющей от среднего значения; S_p — среднеквадратическое отклонение вертикальной составляющей, обусловленной колебаниями рессор; $S_{\text{нп}}$ — среднеквадратическое отклонение, обусловленное неровностями пути.

В приведенной формуле можно учитывать и среднеквадратические отклонения других составляющих вертикального усилия, если они по своей величине будут сопоставимы с указанными выше величинами.

Весовая составляющая вертикального давления колес на рельс P_b представляет собой статическое давление и принимается по паспортным данным локомотивов и вагонов. Среднеквадратическое отклонение S_b для узкоколейных локомотивов можно принимать равным $0,12 P_b$, для платформ и грузовых вагонов $0,15 P_b$, а для лесовозных вагонов-сцепов при вывозке хлыстов в разнокомелицу $S_b = (0,25 \div 0,30) P_b$ и при вывозке без предварительного разворота хлыстов $S_b = (0,35 \div 0,40) P_b$. Величина вертикальной составляющей усилия, обусловленного колебаниями обрессоренных масс (среднее значение), для узкоколейного подвижного состава принимается равным $P_r^{\text{cp}} = 0,6 \text{ жз}$, где ж — жесткость рессор; максимальная величина дополнительного прогиба рессор z принимается по опытным данным, приводимым в учебных пособиях. Среднеквадратическое отклонение указанной величины равно $S_p = 0,17 P_r$ (для подвижного состава УЖД).

Среднеквадратическое отклонение вертикальной составляющей, обусловленной неровностями пути, можно определять по формуле

$$S_{\text{нп}} = A \cdot 10^4 v \sqrt{q/2kU}, \quad (12.31)$$

где A — параметр, величина которого для рельсов Р18 равна 11, рельсов Р24 9; v — скорость; м/с; q — неподрессоренная масса экипажа, отнесенная к одному колесу, кг.

В приведенных выше формулах во всех случаях усилия берутся в Н, а размеры и перемещения в м, следовательно, получаемые по приведенным формулам напряжения имеют размерность в паскалях. Для уменьшения количества цифр применяется также обозначение в мегапаскалях ($1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$).

Определив по приведенным формулам величину действующих на рельсы максимальных и средних вертикальных динамических сил, можно установить и величину напряжений в рельсах и других элементах верхнего строения пути. При определении эквивалентного груза от группы смежных колес вычисляют предварительно максимальное динамическое усилие для колеса, находящегося над расчетным сечением, а для смежных колес, учитывая их меньшее влияние на результаты расчета, среднее динамическое усилие. Таким образом, при определении максимального изгибающего момента от совместного действия

нескольких колесных нагрузок расчетное эквивалентное усилие равно

$$P'_{\text{экв. макс}} = P_{\text{в}} + P_{\text{р}}^{\text{ср}} + 2,5S_0 + \Sigma P_i^{\text{ср}} \mu_i, \quad (12.32)$$

а при определении давлений и просадок аналогичное эквивалентное усилие составит

$$P'_{\text{экв. макс}} = P_{\text{в}} + P_{\text{р}}^{\text{ср}} + 2,5S_0 + \Sigma P_i^{\text{ср}} \eta_i. \quad (12.33)$$

Величины $P'_{\text{экв. макс}}$ и $P''_{\text{экв. макс}}$ определяют путем последовательной установки каждого колеса локомотива или вагона над расчетным сечением и для последующего определения напряжений принимают их максимальные значения. Горизонтальные поперечные силы в расчетах учитываются косвенно, коэффициентом f , равным отношению максимального напряжения в кромках подошвы рельсов к среднеосевому напряжению в центре подошвы; для прямых участков оно равно 1,07—1,15, для кривых радиуса 150—200 м 1,50—1,80. Дополнительные силы сопротивления в виде сухого и вязкого трения следует учитывать коэффициентом ρ ; для УЖД его значение при песчаных балластах 1,15; м, при щебеночных 1,1. Наибольшее напряжение в кромках подошвы рельсов определяют по формуле

$$\sigma_{\text{к}} = \rho f P'_{\text{экв. макс}} / 4Wk, \quad (12.34)$$

где W — момент сопротивления рельса.

Динамические напряжения под рельсом или подкладкой на смятие шпал

$$\sigma_{\text{ш}} = kl P''_{\text{экв. макс}} / 2\omega, \quad (12.35)$$

где ω — площадь передачи давления от рельса на шпалу.

Наибольшее напряжение под шпалой в балласте на уровне ее нижней постели равно

$$\sigma_6 = kl P''_{\text{экв. макс}} / \alpha ab. \quad (12.36)$$

Напряжение на основной площадке земляного полотна под балластом, имеющим толщину под шпалами равную h , определяют по формуле:

$$\sigma_1 = 0,32\sigma_6 (2\beta + \sin 2\beta) K_{\text{см}}, \quad (12.37)$$

здесь $\beta = \text{arctg } b/2h$ (в рад); $K_{\text{см}}$ — коэффициент, учитывающий влияние смежных шпал, обычно равный 1,1.

Полученные в результате расчетов напряжения сравнивают с допускаемыми значениями, и, если расчетные напряжения превышают допускаемые, проектируется усиление конструкции пути и затем проводят повторный расчет. Допускаемые динамические напряжения в кромках подошвы узкоколейных рельсов для первого сорта 170 МПа и для второго сорта 140 МПа; для рельсов из стали марок Т60 допускаемые напряжения могут быть повышены на 20 % и для рельсов из стали марки ПТ70 на 25 %. До-

пускаемые напряжения (МПа) под шпалами зависят от материала балластного слоя и выражаются дробью, в числителе которой указывают значения для вагонной нагрузки, имеющей многократное повторение, и в знаменателе для локомотивной: при щебне размером 25—70 мм 0,35/0,5, при балласте из мелкого щебня или сортированного гравия 0,26/0,40, из карьерного гравия и ракушки 0,23/0,3, из песка крупно- и среднезернистого 0,20/0,28, из мелкозернистого песка 0,15/0,20, из шлаков топливных и кислых гранулированных металлургических 0,18/0,23. Допускаемые напряжения на основной площадке земляного по-

Таблица 12.2

Категория и назначение путей	Масса, приходящаяся на ось локомотива, т	Тип рельса	Число шпал, шт.км	Толщина балластного слоя под шпалой, см
Магистраль I категории	Более 7 4,6—7	P24 P24	1700 1600	25 20
Магистраль II категории	Более 7 4,6—7	P24 P18	1600 1500	25 20
Магистраль III категории	4,5 и менее	P18	1500	20
	4,6—7	P18	1500	20
	4,5 и менее	P18	1400	15
Ветки, пути нижнего склада	Более 7	P18	1600	20
и приемоотправочные пути станций	4,6—7	P18	1500	15
Прочие станционные, маневровые и погрузочно-выгрузочные пути	4,5 и менее	P18	1400	15
	Более 7	P18	1500	20
	4,6—7	P18	1500	15
Усы	4,5 и менее	P18	1400	15

Примечание. На кривых участках с радиусом меньше 600 м и на путях I и II категорий и меньше 300 м на прочих путях число шпал следует увеличивать на 10 %.

лотна зависят от вида грунтов: при грунтах из супесей, суглинков, твердых глин, мелких и пылеватых песков 0,1, для пластичных глин 0,07, для слаборазложившегося торфа 0,03—0,04. Для хорошо уплотненных грунтов (в выемках) допускаемые напряжения могут быть повышены на 25 %.

Мощность верхнего строения пути. К настоящему времени выработаны минимальные требования к мощности верхнего строения пути в зависимости от его категории и назначения, а также от нагрузки на ось локомотива. Эти требования изложены в нормативах СН 251—78 и приведены в табл. 12.2.

Приведенные в таблице данные о минимальной толщине балластной призмы соответствуют условиям хорошо уплотненного земляного полотна из песчаных и супесчаных грунтов. При более слабых грунтах указанная толщина балластного слоя недостаточна, ее нужно рассчитать. Проведенные в МЛТИ в 1978 и

1979 гг. исследования напряжений в рельсах на пути с песчаным балластом показали, что под осями тепловоза ТУ7 с осевой массой 6 т при скоростях движения более 25—30 км/ч напряжения в кромках подошвы рельсов превышают допускаемые. В связи с этим на магистральных путях узкой колес с большой грузонапряженностью используют старогонимые рельсы ширококолейных дорог типов Р30, Р33 и Р38.

§ 9. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСТРОЙСТВА ПУТЕЙ КРАТКОВРЕМЕННОГО ДЕЙСТВИЯ (УСОВ)

Трасса усов намечается в натуре мастером службы подготовки производства.

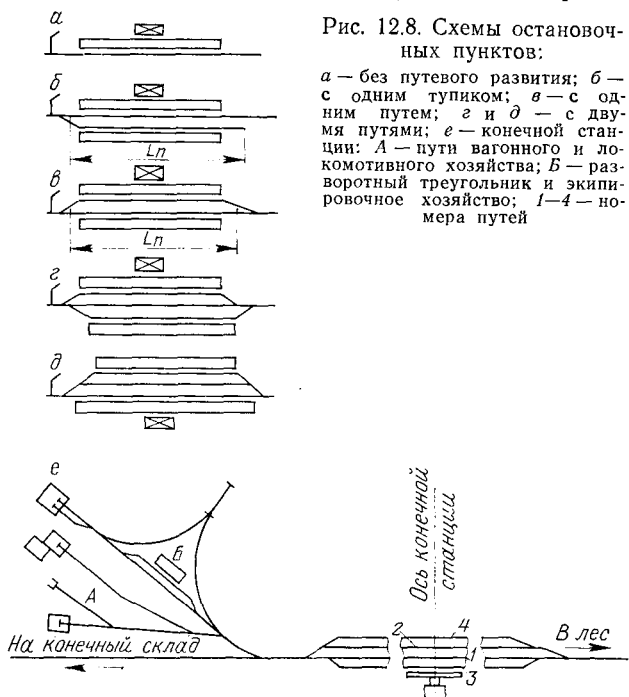
Наибольшая величина подъема в грузовом направлении назначается в зависимости от рельефа местности и не должна превышать 40 ‰. Примыкания должны назначаться на уклонах, не превышающих 4 ‰. Наименьшая величина радиуса допускается 100 м, в трудных условиях 80 м, а при особо сложных топографических условиях 60 м. Переходные кривые на усах не устраиваются. Верхнее строение на сухих участках пути можно устраивать и безбалластным, состоящим только из рельсошпальной решетки, уложенной на спланированном грунтовой основе с подбивкой в необходимых случаях шпал местным грунтом. В низинах с замедленным стоком путевую решетку укладывают на продольных лагах или на выстилке из лесосечных отходов. На мокрых грунтах и в заболоченном лесу под путевую решетку укладывают продольные лежни в 4—6 ниток или же применяют удлиненные шпалы длиной 1,8 м при механизированной перекладке звеньев и до 3 м при ручной укладке усов. На болотах без плотного торфяного слоя, а также при переходах через водотоки и логи рельсошпальную решетку укладывают на клетки в три или более ярусов в зависимости от осадки, глубины воды и болота и требуемой высоты. Элементы клетки в местах пересечения имеют врубки и дополнительно скрепляются скобами.

В связи с тем, что движение по усам осуществляется с разъединенными сцепами, обычно без тормозов, спуски к погрузочно-разгрузочным пунктам не должны быть крутыми. При массе состава до 100 т они не должны быть круче 12 ‰ при локомотиве в хвосте и 15 ‰ при локомотиве в голове состава, при массе состава от 100 до 200 т спуски должны быть не круче 6 ‰ при локомотиве в хвосте состава и не круче 8 ‰ при локомотиве в голове поезда.

§ 10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПУТЕЙ НА ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТАХ

Путевое развитие и техническое оснащение остановочных пунктов (рис. 12.8) должны удовлетворять следующим требованиям: иметь достаточную пропускную способность, обеспечи-

вать безопасность поездного и маневрового движения, благодаря минимальным пробегам обеспечить снижение эксплуатационных расходов, обеспечивать быстрый оборот подвижного состава за счет снижения простоев на всех операциях, соответствовать требованиям технологического процесса предприятия. Пути на остановочных пунктах по своему назначению делятся на следующие виды: главный, являющийся продолжением



перегонного; приемо-отправочные, обеспечивающие прием и отправку поездов; сортировочные, на которых расформировывают поезда, соединяют вагоны в группы и объединяют группы в поездной состав; тупики, применяемые для различных целей: вытяжные для производства маневров, предохранительные для предохранения от выездов на занятый путь, улавливающие, устраиваемые перед входной стрелкой остановочных пунктов и перед перегонами с большим затяжным спуском.

Полной длиной станционного пути называется расстояние между стыками рамных рельсов стрелочных переводов, ограничивающих путь.

Полезной длиной называется та часть полного пути, в пределах которой устанавливается состав при соблюдении безопасного прохода поездов по смежному пути. Полезная длина пути ограничивается предельными столбиками, упором

или специальным сигналом. На УЖД предельные столбики устанавливают там, где расстояние между осями сходящихся путей составляет 2,88 м. Полезная длина должна быть достаточной для установки состава расчетной массы с запасом на неточность установки:

$$L_{\text{п}} = l_{\text{л}} + nl_{\text{в}} + l_{\text{з}}, \quad (12.38)$$

где $l_{\text{л}}$ — длина локомотива, м; n — число вагонов в составе; $l_{\text{в}}$ — длина вагона (сцепы), м; $l_{\text{з}}$ — запас на неточность установки (10 м).

Главные пути на остановочных пунктах нумеруют римскими цифрами, остальные арабскими. Группа путей одного назначения называется парком. Пути в парке формируют в виде трапеции, параллелограмма или тупиковых ответвлений (елочка). В парк объединяют приемо-отправочные пути, сортировочные и пр.

Расчет количества путей и пропускной способности отдельных элементов развития отдельных пунктов может быть произведен аналитически и графически.

Минимальное число приемо-отправочных путей (кроме главного) должно быть не менее: на разъездах и обгонных пунктах, на которых не занимаются формированием или расформированием поездов и отсутствуют примыкания веток, 1; на прочих разъездах и промежуточных станциях 2; на конечных станциях в пункте примыкания лесовозных дорог 2—3. Вытяжные пути для маневровой работы проектируют при движении по главному пути более 8 пар поездов. Их полезная длина должна быть равна половине длины поезда, а в трудных условиях не менее $\frac{1}{3}$ его длины.

Остановочные пункты на лесовозных дорогах имеют небольшое путевое развитие, их проектируют с использованием типовых решений. Наиболее сложное путевое развитие имеет конечная станция (рис. 12.8, е). Для удобства работы и безопасности движения она должна быть отделена от нижнего склада, но в то же время находиться вблизи него, должна иметь выходы как в лес, так и к нижнему складу, а также непосредственно к отдельным крупным потребителям. На конечных станциях кроме приемо-отправочных и сортировочных путей следует предусматривать пути для депоовского и ремонтного хозяйства. Их полезная длина должна обеспечивать размещение 10 % рабочего парка локомотивов, 15 % грузовых вагонов, 100 % пассажирских вагонов и резерва локомотивов.

§ 11. СОЕДИНЕНИЯ ПУТЕЙ

Для соединения путей друг с другом или для ответвления путей применяют стрелочные переводы: на УЖД одиночные односторонние и реже одиночные симметричные переводы, на дорогах МПС также двойные и перекрестные переводы.

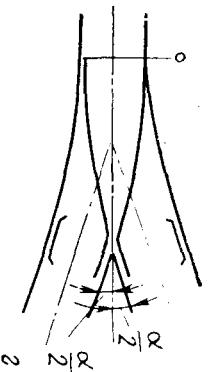
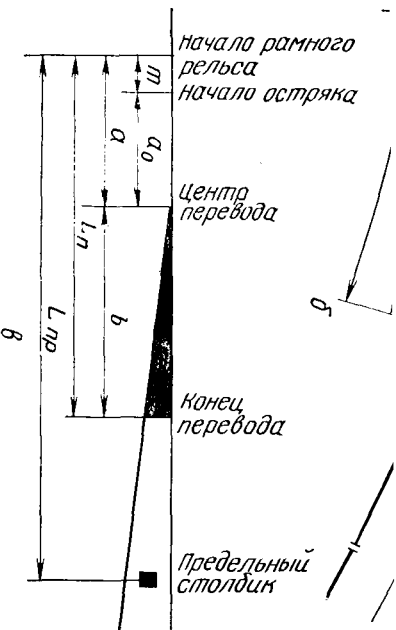
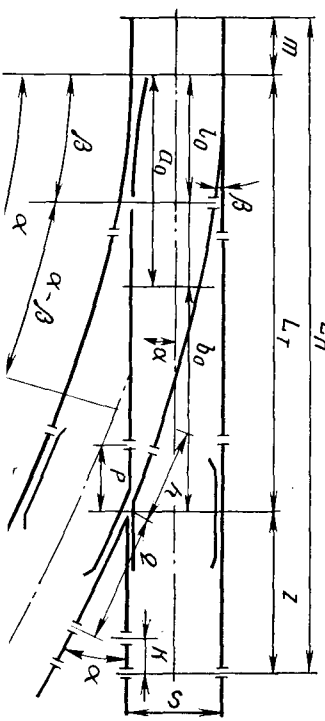
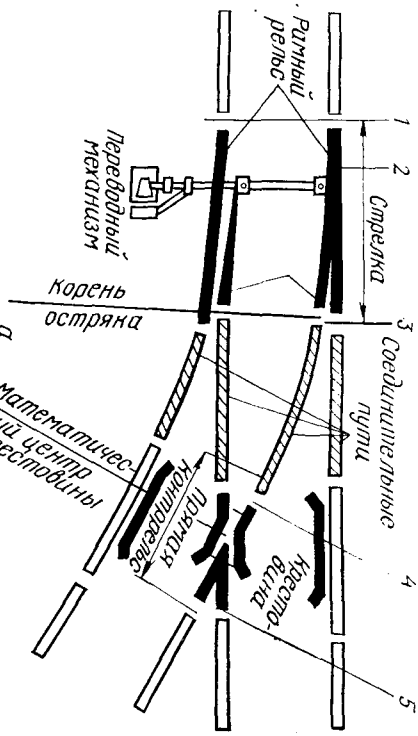


Рис. 12.9. Стрелочный переход:

вод:

a — схема устройства одностороннего перевода; 1 — начало остряков; 2 — начало рамного рельса; 3 — начало крестовины; 4 — начало перевода; 5 — расчетная схема; 6 — схема перевода в осях; 2 — схема симметричного стрелочного перевода



Одиночный односторонний стрелочный перевод (рис. 12.9, а). Он состоит из четырех частей: 1) стрелки с переводным механизмом, 2) острой крестовины с контррельсами, 3) соединительных путей между стрелкой и крестовиной и 4) комплекта переводных брусьев.

Стрелка обеспечивает изменение направления движения и имеет два рамных рельса и два подвижных остряка, соединенных между собой тягой. Тяга соединяется с переводным механизмом, который устанавливается на двух длинных брусках (2,8—3,2 м), уложенных у концов остряков. Один из остряков всегда прижат к рамному рельсу, направляя тем самым колесную пару на необходимый путь.

Крестовина обеспечивает прохождение реборд колес подвижного состава через пересечения рельсов. Она состоит из сердечника и двух усювиков. Для того чтобы реборды колес попали в нужный желоб крестовины, против нее на каждом пути укладывают контррельсы. На УЖД применяют простейшие сборнорельсовые крестовины, изготовление которых возможно в хорошо оборудованных механических мастерских. На дорогах колеи 1520 мм применяют сборные крестовины с литым сердечником, а также с сердечником в виде цельной отливки с наиболее изнашиваемой частью усювиков.

Наиболее прочными и устойчивыми являются цельнолитые термически обработанные крестовины из легированных сталей. На скоростных магистралях в настоящее время применяют крестовины с подвижными усювиками и сердечниками, которые переводятся так же, как и остряки, занимая необходимое для пропуска поездов направление и образуя по этому направлению непрерывную рельсовую нить. Тангенс угла α крестовины называется маркой крестовины и стрелочного перевода и обозначается $1/N = \operatorname{tg} \alpha$, где N — число марки. Математическим центром крестовины называется точка пересечения продолжения рабочих кантов сердечника крестовины. Горлом называют сечение, где расстояние между рабочими кантами усювиков минимально. Промежуток от горла до практического острия крестовины, на котором гребни колес не направляются рельсовыми нитями, называется вредным пространством. На этом участке колеса направляются контррельсами. Чем больше число марки, тем меньше угол крестовины, тем она положе и длиннее. На железных дорогах узкой колеи применяют крестовины с марками от $1/6$ до $1/10$, на дорогах МПС до $1/22$. По СН 251—78 крестовины для УЖД должны быть не круче $1/9$ на главных и приемо-отправочных путях, а также при примыканиях на перегонах, не круче $1/7$ на прочих станционных и погрузочно-выгрузочных путях, не круче $1/6$ на симметричных переводах. Размеры желобов в крестовине, а также между путевыми рельсами и контррельсами: ширина желоба в горле крестовины 50 мм, в желобе крестовины 38 мм, в сред-

ней прямой части контррельсов 32 мм, на отводах усювиков и контррельсов на входах 74 мм и в отведенной части 56 мм.

Соединительные пути состоят из прямого участка и соединительной кривой. Разбивка кривой производится по ординатам (см. § 4 гл. 17-й). На УЖД применяют радиусы кривых от 55 до 120 м в зависимости от марки перевода. Соединительные пути изготавливают в основном на месте из обычных рельсов в соответствии с эпюрой (схематическим чертежом) стрелочного перевода. На УЖД применяют крепление остряков в их корне к соединительным путям простейшего вкладышно-накладочного типа.

Расчет основных размеров стрелочного перевода. Сначала определяют угол, составляемый рабочими кантами остряка и рамного рельса. Этот угол называется углом набегания или удара и определяется из формулы

$$\sin \beta = (t + v)/l_0, \quad (12.39)$$

где l_0 — длина остряка, мм; t — просвет (желоб) для прохода гребней колес в корне остряка (57 мм); v — ширина головки рельсов, мм.

Проектируя все части перевода на вертикальную и горизонтальную оси (см. рис. 12.9, а) можно определить искомые размеры перевода:

$$S = (l_0 + K) \sin \beta + (R + S/2) (\cos \beta - \cos \alpha) + h \sin \alpha; \quad (12.40)$$

$$L_T = (l_0 + K) \cos \beta + (R + S/2) (\sin \alpha - \sin \beta) + h \cos \alpha, \quad (12.41)$$

где R — радиус переводной кривой; L_T — теоретическая длина стрелочного перевода (от начала остряка до математического центра крестовины), мм; S — ширина колеи у переднего конца остряка (760 мм); h — прямая вставка между центром крестовины и началом переводной кривой; K — прямая вставка между концом остряка и началом кривой.

Если необходимо иметь возможно меньший радиус переводной кривой и более короткий стрелочный перевод, то принимают минимально возможную величину прямой вставки. В этом случае из уравнения (12.41) находят величину радиуса и, округлив (в большую сторону), подставляют найденную величину в уравнение (12.42), из которого находят теоретическую длину стрелочного перевода. Полная, или практическая, длина L_{Π} включает дополнительное расстояние от стыка рамного рельса до начала остряка и длину хвостового вылета крестовины q

$$L_{\Pi} = L_T + m + q. \quad (12.42)$$

Вылет рамного рельса m обычно равен 1,5 или 2,5 величинам шпального пролета в стыках. Минимальная длина переднего p и хвостового вылета q крестовины определяется из условия, чтобы в конце стыковых накладок расстояние между подошвами усювиков было не меньше 50 мм.

В этом случае

$$p = (50 + B - v) N; \quad q = (50 + B + v) N, \quad (12.43)$$

где B — ширина подошвы рельса, мм; v — ширина головки рельса, мм.

Если стрелочные переводы комплектуют из имеющихся частей, размеры p и q находят непосредственным обмером. Длину K прямого отрезка за корнем остряка принимают несколько больше половины длины накладки. Если выполняется расчет симметричного перевода, формулы (12.41) и (12.42) принимают вид:

$$S/2 = l_0 \sin \frac{\beta}{2} + (R + S/2) \left(\cos \frac{\beta}{2} - \cos \frac{\alpha}{2} \right) + h \sin \frac{\alpha}{2}; \quad (12.44)$$

$$L_T = l_0 \cos \frac{\beta}{2} + (R + S/2) \left(\sin \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\beta}{2} \right) + h \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (12.45)$$

Симметричный перевод применяют, если прямой путь разделяется на два направления, примыкающие к нему под одинаковыми углами (рис. 12.9, з). У такого перевода для каждого направления угол крестовины α и стрелочный угол β делятся на равные части, в связи с чем при одной и той же длине перевода радиус кривой примерно в 1,5 раза увеличивается, а при одинаковых радиусах симметричные переводы получаются значительно короче.

На планах станций и нижних складов пути обозначаются одной линией, соответствующей оси пути, а стрелочный перевод — условной эпюрой стрелочного перевода в осях (рис. 12.9, в), на которой в масштабе указываются два размера: a — от начала рамного рельса до центра перевода и b — расстояние от центра перевода до конца хвостового вылета крестовины. Центром перевода называется пересечение осей прямого и примыкающего путей. Размеры a и b равны:

$$b = b_0 + q = SN + q; \quad a = a_0 + m = (L_T - SN) + m. \quad (12.46)$$

Расстояние от центра перевода до предельного столбика равно $L_{пр} = \Gamma N$. Для УЖД размер $\Gamma = 2,88$ м.

Расположение стрелочных переводов на путях. Стрелочные переводы широко используют как при устройстве остановочных пунктов, так и при устройстве ответвлений и складских путей. Ответвление путей широко используют при устройстве веток, усов, складских путей, тупиков и пр. Простым называется ответвление под углом α , равным углу крестовины стрелочного перевода. Полная длина соединения путей L и расстояние x от центра перевода до вершины угла поворота O_2 (рис. 12.10, а) равны:

$$L = a + x + t; \quad x = (b + g + t) \cos \alpha, \quad (12.47)$$

где g — прямая вставка; t — тангенс круговой кривой.

Длина прямой вставки равна

$$g = x / \cos \alpha - (b + t) = e / \sin \alpha - (b + t), \quad (12.48)$$

здесь e — ширина междопутья.

При проектировании веток и усов ответвление устраивают под углом большим, чем угол крестовины (рис. 12.10, б). В этом случае координаты точки, находящейся на расстоянии

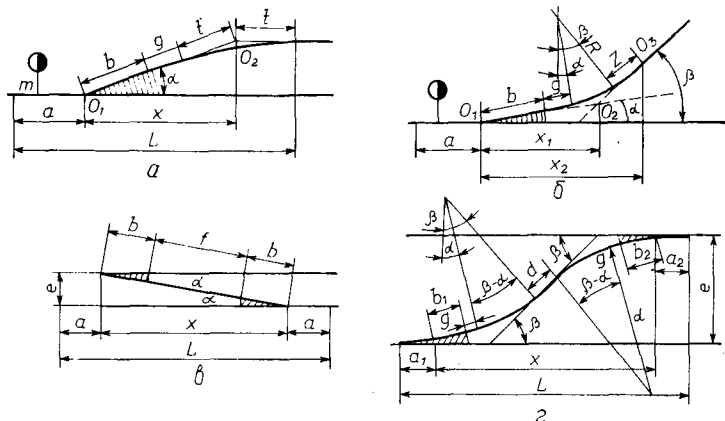


Рис. 12.10. Ответвления и съезды путей:

a — простое ответвление путей; b — ответвление под углом большим, чем угол крестовины; c — съезд путей обыкновенный; d — сокращенный съезд путей

z от конца круговой кривой, стягивающей угол $\beta - \alpha$, будут равны:

$$x = (b + g + t) \cos \alpha + (t + z) \cos \beta; \quad (12.49)$$

$$y = (b + g + t) \sin \alpha + (t + z) \sin \beta.$$

Проекция участка от O_1 до O_2 на ось прямого пути равна:

$$x_1 = (b + g + t) \cos \alpha; \quad t = R \operatorname{tg} \frac{\beta + \alpha}{2}. \quad (12.50)$$

Координата конца кривой определяется по формулам (12.50) при $z=0$.

Съезд путей представляет собой стрелочный узел из двух одиночных стрелочных переводов, уложенных на параллельных путях, и соединительного пути, уложенного между концами их крестовин. Он служит для перехода подвижного состава с одного пути на другой. Если соединительный путь прямой, съезд называется обыкновенным (рис. 12.10, в); при укороченном соединительном пути, состоящем из двух обратных кривых с прямой вставкой между ними, съезд называется сокращенным (рис. 12.10, г). Полная длина проекции обыкновенного съезда равна

$$L = x + 2a = e / \operatorname{tg} \alpha + 2a = (2b + f) \cos \alpha + 2a, \quad (12.51)$$

Длина соединительной вставки между стрелочными переводами зависит от расстояния между осями параллельных путей и угла крестовины:

$$f = e / \sin \alpha - 2b. \quad (12.52)$$

Полная длина сокращенного съезда равна $L = a_1 + a_2 + x$,

$$\text{где } x = 2(b + g) \cos^2 \alpha + d \cos \beta + 2R(\sin \beta - \sin^2 \alpha). \quad (12.53)$$

Сокращенный съезд применяют при ограниченной территории.

Сочетания стрелочных переводов. При проектировании размещения стрелочных переводов следует стремиться к их груп-

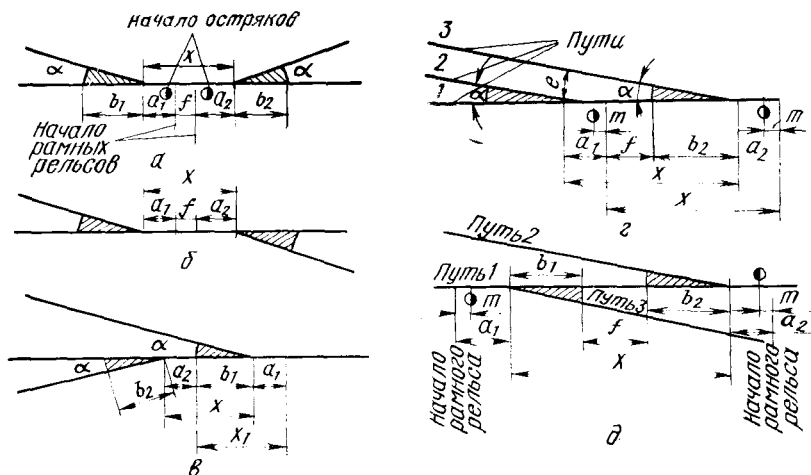


Рис. 12.11. Сочетания стрелочных переводов

пированию и смежному расположению, что облегчает надзор за их состоянием и установку стрелочных маршрутов. Наиболее часто встречаются следующие сочетания стрелочных переводов (стрелочные узлы):

1. Два встречных перевода, расположенные по одну сторону основного прямолинейного пути (рис. 12.11, а) или по обе стороны от него (рис. 12.11, б). В данном случае расстояние между центрами укладываемых переводов равно $x = a_1 + a_2 + f$.

2. Два последовательно уложенных попутных перевода, располагающихся с обеих сторон уложенного пути (рис. 12.11, в). Минимальное значение x равно: $x = b_1 + a_2$. Между концом переднего и началом заднего перевода желательно устраивать прямую вставку, равную длине рельса.

3. Два попутных перевода, последовательно уложенных с одной стороны основного пути (рис. 12.11, г). Здесь расстояние x зависит от ширины междупутья e : $x = a_1 + f + b_2 = e / \sin \alpha$. Длина прямой вставки $f = e / \sin \alpha - (a_1 + b_2)$.

4. Два стрелочных перевода, укладываемых по обе стороны от основного пути, расположенных хвостовыми вылетами крестовин друг к другу (рис. 12.11, *д*), должны иметь минимальное расстояние между центрами переводов $x = b_1 + f + b_2 = e / \sin \alpha$. В данном случае величина прямой вставки должна приниматься не меньше 15 м, в более трудных условиях ее принимают равной длине рельса, а в очень стесненных условиях может быть уложена вставка длиной 4 м.

Указанное выше расстояние между осями смежных параллельных путей на УЖД должно быть (м): главных и смежных с ним 4, приемо-отправочных, сортировочных и ремонтных 3,8, на второстепенных путях и путях для стоянки ожидающего ремонта подвижного состава 3,6.

Глава 13

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСОВОЗНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

§ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ЛЕСОВОЗНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

При организации движения поездов на лесовозных железных дорогах руководствуются действующими правилами технической эксплуатации — ПТЭ. Основой организации движения поездов является график движения, объединяющий работу всех подразделений железной дороги и смежных с ней цехов, в частности пунктов погрузки и нижнего склада. График разрабатывает начальник дороги и утверждает директор предприятия. Графиком движения определяется не только движение поездов, но и работа локомотивов, вагонов, станций, депо, погрузочно-разгрузочных складов, пути, средств связи и пр. **Выполнение графика и расписания движения поездов является обязательным для всех работников лесовозной железной дороги, а также мастеров верхних и нижних складов и бригадиров погрузочно-разгрузочных работ.**

Руководство движением поездов на дороге осуществляет дежурный диспетчер. Для безопасности движения на железных дорогах установлено, что каждый раздельный пункт и каждый поезд могут находиться одновременно в распоряжении только одного работника: станция — дежурного по станции, путевой пост — дежурного по посту, поезд — главного кондуктора, одиночно следующий локомотив — машиниста. Только через этих лиц передает свои распоряжения поездной диспетчер. На раздельных пунктах главный кондуктор, а также машинист, управляющий одиночно следующим локомотивом, подчиняется распоряжениям дежурного по раздельному пункту, а где его нет — диспетчеру. Дежурному по раздельному пункту запрещает

ется отправлять поезда на перегон без разрешения дежурного по тому раздельному пункту, на который отправляется поезд. Работами на раздельном пункте по приему, отправлению и пропуску поездов, производству маневров, управлению приборами поездной связи и сигнализации руководит дежурный по раздельному пункту.

Поезда на лесовозных УЖД по значению, роду перевозок и очередности пропуска подразделяют на внеочередные — санитарные, пожарные, восстановительные и снегоочистительные; очередные — лесовозные грузовые и порожние, рабочие и пассажирские, хозяйственные и грузовые (для перевозки платных грузов других организаций), и на поезда, не предусмотренные графиком (включая дрезины). Для технического обеспечения управлением движения железнодорожные пути колеи 750 мм в соответствии с нормативами СН 251—78 в зависимости от размеров движения и условий работы должны оборудоваться: групповой автоматической или полуавтоматической блокировкой, электрической централизацией стрелок и сигналов, диспетчерской централизацией, устройствами дистанционного управления стрелками из кабины локомотива, поездной телефонной связью, независимо действующей светофорной сигнализацией, электрожелезнодорожной системой [67]. Целесообразность применения той или другой системы сигнализации, централизации блокировки и связи (СЦБ) устанавливают проектом в соответствии с размерами движения на основании технико-экономических расчетов.

Автоматическая путевая автоблокировка обеспечивает большую пропускную способность перегонов. Перегоны разделяют на блок-участки, на границах которых установлены светофоры (один на двухпутном и два на однопутных участках), а также релейный шкаф и питающая аппаратура. На УЖД применяют трехцветную систему, при которой красный сигнал ограждает занятый блок-участок, на светофорах предшествующего при этом горит желтый сигнал, а на светофоре следующего за ним участка — зеленый.

Полуавтоматическая блокировка также дает право на занятие перегона при разрешающем огне выходного светофора, который открывается после получения по блокировке согласия дежурного смежного раздельного пункта. После выхода поезда на перегон выходные светофоры ограничивающих его раздельных пунктов блокируют перегон до тех пор, пока поезд не освободит его и дежурный смежного раздельного пункта не подтвердит это по блокировке.

Электрическая централизация стрелок и сигналов получила значительное распространение на станциях торфовозных УЖД. Эта система позволяет управлять стрелками и сигналами всей станции с одного пункта и надежно обеспечивать безопасность движения, так как исключает прием поезда

на занятый путь, а также перевод стрелки под поездом и одновременное открытие сигналов для приема поездов «враждебных» направлений на один путь. Электрическая централизация позволяет дежурному по станции видеть положение стрелок и сигналов и занятость путей, а также получать извещение о подходе поездов к станции.

Диспетчерская централизация является современной совершенной системой управления движением поездов. В эту систему входят электрическая централизация стрелочных переводов и сигналов на промежуточных станциях и других остановочных пунктах, оборудование перегонов автоблокировкой, телеуправление стрелками и сигналами и телеконтроль за их положением, а также за состоянием станций и перегонов. Эту систему широко применяют на дорогах МПС.

Телефонные средства связи являются наиболее распространенными на лесовозных узкоколейных железных дорогах, при этом на многих дорогах применяют селекторную связь. При телефонном способе связи разрешением на занятие перегона служит путевая телефонограмма, вручаемая машинисту кондуктором, дежурным или диспетчером. Для диспетчерской поездной связи следует использовать телефонную связь с избирательным вызовом (селекторную). В этом случае диспетчерский пункт связан с абонентами всего двумя проводами, но несмотря на это диспетчер может вызвать любого абонента, не беспокоя остальных. Это обеспечивается посылкой в сеть определенных комбинаций импульсов тока, причем каждая комбинация импульсов воспринимается только одним телефонным аппаратом с селекторным устройством. При такой связи диспетчерский пункт должен иметь блок распорядительного устройства, кнопочное распределительно-вызывное устройство, педаль для переключения переговорных приборов и управления, усилитель и микрофон. При телефонном способе связи и радиосвязи целесообразно также в систему переговорных устройств включать автоматически включающийся магнитофон, объективно фиксирующий все происходящие во время смены переговоры. По окончании смены пломбу с магнитофона снимают и, если не было чрезвычайных происшествий или аварий, запись стирают.

Радиосвязь находит все большее распространение. Ее преимущество по сравнению с телефонной состоит в том, что при радиосвязи диспетчер может получить информацию (и отдавать распоряжения) не только от отдельных пунктов, но непосредственно от машинистов локомотивов. Особенно удобно иметь такую связь с маневровыми локомотивами, работающими на вывозке лесовозных сцепов с усов, а также с бригадами погрузочных пунктов. Применение радиосвязи для диспетчерского управления производством и движением поездов требует отдельных каналов связи для главного диспетчера леспромхоза и поездного диспетчера УЖД. Особенность организации движе-

ния при использовании радиосвязи заключается в том, что машинист локомотива при подходе к какой-либо станции или разъезду, не снижая скорости, вызывает поездного диспетчера и запрашивает разрешение на возможность движения по следующему перегону. Если такое разрешение дано, поезд продолжает движение без остановки. Сокращение числа остановок и торможений увеличивает участковую скорость и производительность транспортных средств. В настоящее время разработаны типовые проекты диспетчерской радиосвязи.

Система поездных приказов применяется как при телефонной, так и радиосвязи при небольшой интенсивности движения (до пяти пар поездов в сутки). В этом случае допускается организация движения поездов без дежурных на отдельных пунктах по поездным приказам дежурного диспетчера. Обязанности дежурных по станции или другому остановочному пункту в этом случае исполняют главные (старшие) кондукторы прибывающих поездов. Распоряжения от дежурного поездного диспетчера по телефону или радиосвязи передаются непосредственно кондуктору, который и оформляет путевое разрешение, выдаваемое машинисту. При такой системе дежурный поездной диспетчер является единственным руководителем движения, а исполнителем его распоряжений главный кондуктор поезда (иногда такую систему называют поезд—станция).

§ 2. ОСОБЕННОСТИ ГРАФИКОВ ДВИЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЕЗДОВ

Графики движения железнодорожных поездов на однопутных железных дорогах существенно отличаются от графиков движения лесовозных автопоездов, так как в данном случае скрещение и обгон поездов могут производиться только на остановочных пунктах. Другая особенность графика лесовозных железных дорог связана с наличием веток и усов (рис. 13.1).

Точки пересечения наклонных линий хода поездов с горизонтальными линиями, соответствующими осям отдельных пунктов и границам перегонов, соответствуют моментам прибытия и отправления поездов. Каждому поезду на графике присвоен номер: поездам грузового направления четные, порожнего — нечетные. В зависимости от того, будет ли одинаковым или нет число поездов в четном и нечетном направлениях, графики разделяются на парные и непарные. Кроме того, их делят на параллельные, когда на данном перегоне все поезда имеют одинаковую скорость движения, а следовательно, и наклон линий хода поезда, и непараллельные, когда пассажирские и хозяйственные поезда имеют другое время хода по сравнению с грузовыми и на графике наклон линий хода поезда различен. Как правило, движение поездов на однопутных дорогах разграничивается не менее чем одним отдельным пунктом с путевым раз-

витием, т. е. станцией или разъездом. Но в отдельных случаях на лесовозных дорогах допускается разграничение поездов, следующих в одном направлении, межпостовыми перегонами. Та-

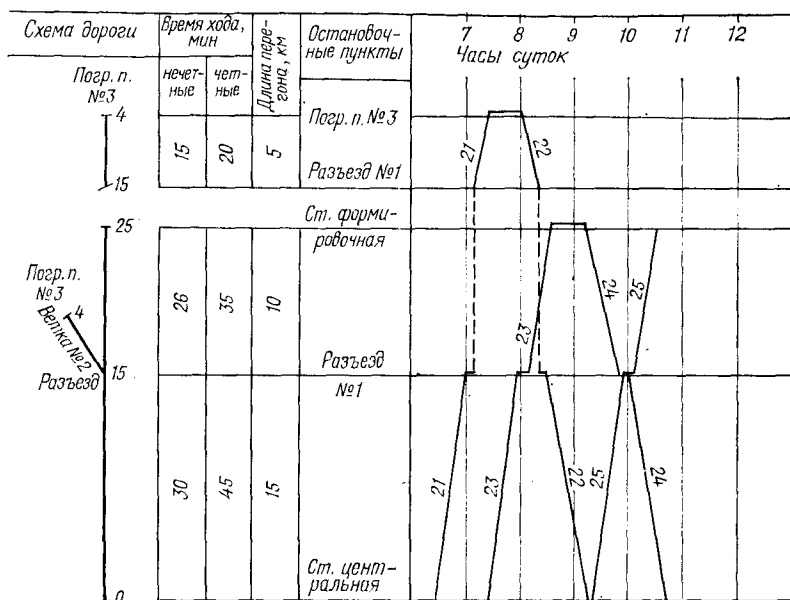


Рис. 13.1. Элемент графика движения поездов при наличии одной ветки

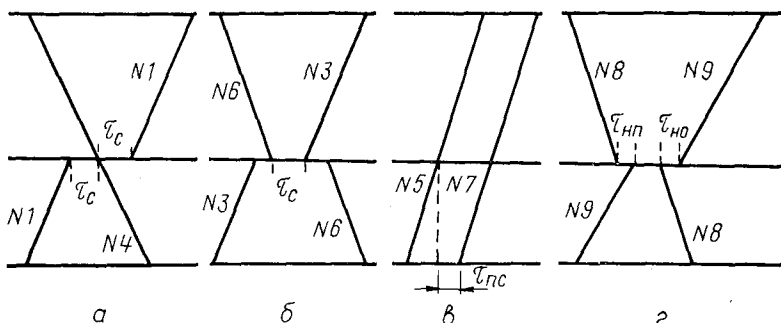


Рис. 13.2. Станционные интервалы:

а и б — интервалы скрещения; в — интервал попутного следования $\tau_{п.с}$; г — интервалы одновременного прибытия $\tau_{н.п}$ и отправления $\tau_{н.о}$

кой график называется пакетным. В этом случае на межстанционном перегоне может находиться несколько поездов.

При составлении графика движения поездов важное значение имеют станционные интервалы (рис. 13.2), т. е. минимальные промежутки времени между моментами приема и отправ-

ления различных поездов, необходимые для безопасности приема, пропуска и отправления поездов на данном раздельном пункте (от 6 до 12 мин).

Основными показателями, характеризующими график движения, являются техническая и участковая скорость движения и время оборота прицепного подвижного состава и локомотивов. Время хода поездов, указываемое на графике, определяют в тяговых расчетах [67].

§ 3. ДИСПЕТЧЕРСКАЯ СЛУЖБА, СВЯЗЬ И СИГНАЛИЗАЦИЯ

Движением поездов на дороге должен руководить только один работник — дежурный поездной диспетчер, который дает оперативные распоряжения по движению поездов на дороге, отвечает за выполнение графика движения, проверяет работу станций, разъездов, погрузочно-разгрузочных пунктов по выполнению графиков движения поездов и дает необходимые указания дежурным по станции и кондукторам, а также машинистам поездных локомотивов через кондукторов или непосредственно (по телефону или радио), устраняет всякие отклонения от нормального движения и вводит в график выбившиеся из расписания поезда. Дежурный диспетчер следит за приемом и отправлением поездов и проследованием их по перегонам и ведет график исполненного движения поездов, а также другую документацию, предусмотренную инструкцией по движению поездов.

Средством управления движением, имеющимся в распоряжении диспетчера, является связь и специальные устройства, перечисленные выше. Различают поездную межстанционную связь, диспетчерскую селекторную связь, стрелочную связь и общую.

Поездную межстанционную связь применяют при любых размерах движения для связи станций между собой по вопросам движения поездов. Ее обеспечивают телефонами системы МБ. Диспетчерскую селекторную связь применяют, когда число раздельных пунктов более пяти, а размеры движения более 12 пар поездов в сутки. Связь осуществляется по двухпроводной линии, к которой параллельно подключены все абоненты. Стрелочная связь создается в пределах одной станции для связи со стрелочными постами. Никакие другие абоненты в систему стрелочной связи включаться не должны. Общая телефонная связь, объединяющая руководство предприятием с его цехами и поселком, может быть связана соединительными линиями с сетью Министерства связи СССР. В данном случае применяют телефонные аппараты ЦБ.

Автоматическая блокировка основана на использовании рельсовых цепей как проводников тока. На одном конце блок-участка, имеющего на своих концах изолирующие

стыки к рельсовым нитям, подключена путевая батарея, на другом конце — путевое реле. Переключение контактов происходит при изменении режима рельсовой цепи: при появлении поезда на участке вследствие замыкания рельсовой цепи колесами резко уменьшается ток, проходящий через обмотку путевого реле, якорь его отпадает, прекращается питание светофорной лампы зеленого сигнала и светофор, ограждающий участок, перекрывается на красный цвет. На наших дорогах применяют трехцветную систему, поэтому проходные светофоры дают следующие сигналы: зеленый (З) — путь свободен, следуй с установленной скоростью; желтый огонь (Ж) — тише, впереди свободен только один блок-участок; красный огонь (К) — стой, не проезжай сигнала. Принцип действия трехцветной блокировки показан на рис. 13.3, где светофорами ограждены два участка B_1 и B_2 . У каждого светофора имеется по два реле: путевое $ПР$, включенное в рельсовую цепь и контролирующее занятость блок-участка поездом, и линейное $ЛР$, осуществляющее связь между сигналами и управляющее огнями светофора.

Поезд находится на блок-участке B_2 , поэтому на светофоре C_2 горит красный огонь, а на светофоре C_1 желтый. Если бы оба участка были свободны, то ток от плюса путевых батарей проходил бы по рельсовым нитям пути и через катушки путевых реле $ПР_1$ и $ПР_2$ возвращался к минусу батарей. Реле в этом случае будут под током и притянут якоря в верхнее положение, замыкая верхние контакты $ВК$. В этом случае ток от сигнальной батареи $СБ_2$ будет проходить через верхний контакт якоря реле $ПР_2$, линейные провода $Л_1$ и $Л_2$ и обмотку реле $ПР_1$, удерживая якорь этого реле в верхнем положении и замыкая его контакт $ВК$. Через замкнутые контакты $ВК$ реле $ПР_1$ и $ЛР_1$ от батареи $СБ_1$ замыкается цепь горения зеленого огня на светофоре C_1 .

Если блок-участок B_1 будет занят поездом, то ток от батареи $ПБ_1$ пройдет через скаты подвижного состава (ввиду меньшего сопротивления) и на реле $ПР_1$, оставшемся без тока, якорь опустится, замкнув нижний контакт $НК$, через который от батареи $СБ_1$ замыкается цепь горения красного огня на светофоре C_2 . На УЖД напряжение в рельсовой цепи принято 2 В. Напряжение, измеряемое между рельсовыми нитями, по опытным данным, составляет 0,2—0,23 В. Наибольшее сопротивление, включаемое между рельсовыми нитями и вызывающее отпадение якоря путевого реле, должно быть не менее 0,06 Ом.

Жезловые аппараты обеспечивают выполнение указанных выше требований, обеспечивающих безопасность движения следующим образом. Вынуть жезл без согласия соседней станции нельзя потому, что жезлы в аппарате заперты (замкнуты) электрическим затвором (рис. 13.4), взаимодействующим с затворным диском, стоящим на пути жезла. В центре этого

диска на изоляции укреплены латунные полудиски L_1 и L_2 , изолированные друг от друга прокладкой.

Действие жезлового аппарата поясняется тремя положениями, показанными на рис. 13.4, а. Положение *I* характеризуется наличием в аппаратах станций *A* и *B* четного числа жезлов. Полудиски L_1 и L_2 попарно замыкают контактные щетки 1 и 2, 3 и 4. При извлечении жезла из аппарата *B* ток от индуктора станции *A* пойдет по направлению, указанному стрелками, благодаря чему в электрозатворе аппарата *B* образуется полярность, при которой якорь повернется против часовой стрелки и отомкнет диск *D*. Положение *II* создано в связи с тем, что при выемке жезла происходит поворот на 90° диска и находящихся на одной оси полудисков L_1 и L_2 , которые при этом замыкают контактные щетки 1 и 4, 3 и 2. Благодаря этому направление тока изменилось, а следовательно, и полярность электрозатвора на станции *B*. Якорь повернулся по часовой стрелке, и диск *D* замкнулся рычагом *P*. Теперь следующий жезл ни из аппарата станции *A*, ни из аппарата станции *B* вынуть нельзя, пока ранее вынутый жезл не будет вложен обратно в аппарат одной из станций. Положение *III* характеризуется тем, что нормальное число жезлов в аппаратах восстановлено вложением в аппарат станции *A* жезла, привезенного поездом.

При взаимном соглашении станций жезл можно вынуть снова из любого аппарата. Таким образом, вынимать жезл из аппаратов можно при соблюдении двух условий: а) если коммутационные диски в обоих аппаратах занимают симметричное положение, что имеет место при наличии в обоих аппаратах четного числа жезлов; б) если с другой станции будет дан в аппарат ток путем вращения ручки индуктора.

Сигналы. На железнодорожном транспорте **показание сигнала является приказом для всех работников транспорта и подлежит безусловному выполнению.** Сигналы служат для обеспечения безопасности движения, а также для четкой организации маневров и движения поездов. Сигналом остановки кроме красного огня светофоров, семафоров и фонарей служит также красный цвет флагов и переносных щитов, горизонтальное положение крыла семафора, кругообразное движение сигнальным флажком, фонарем, предметом или рукой, три коротких звука сигнального звукового прибора, взрыв хотя бы одной петарды, горизонтальная черная полоса указателя путевого ограждения, всякий непонятный сигнал и погасшие огни на световом сигнале.

Рис. 13.4. Схемы работы жезловых аппаратов:

а — схемы, иллюстрирующие принцип работы; б — общий вид жезлового аппарата; 1 — маховичок; 2 — зигзагообразная прорезь; 3 — затворный диск; 4 — кольцеобразная прорезь; 5 — жезлы

Сигналами, разрешающими движение, но с готовностью остановиться служат желтый свет фонарей, желтый щит или желтый флаг на шесте, желтый развернутый флажок. Сигналом, разрешающим движение с установленной скоростью, являются зеленый цветовой сигнал светофоров и фонарей, крыло семафора, поднятое под углом 135° , ребро поворотного или предупредительного диска, свернутый желтый ручной флажок. У стрелок, поставленных на прямой путь, днем виден белый прямоугольник, а ночью молочно-белый огонь; если стрелка поставлена на боковой путь, то днем видна широкая сторона указателя, а ночью желтый огонь.

§ 4. ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ И РЕМОНТ ПУТИ ЛЕСОВОЗНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Железнодорожный путь подвергается воздействию динамических усилий от колес подвижного состава и находится под влиянием окружающей среды. Вертикальные воздействия колес вызывают изгиб и износ рельсов и накладок, просадки шпал и смятие балластного слоя и поверхности земляного полотна. Продольные горизонтальные усилия вызывают угон рельсов, разрыв и изгиб стыковых болтов, продольные подвижки шпал, поперечные подвижки и нарушения устойчивости (выбросы) рельсовой колеи из-за продольного изгиба рельсошпальной решетки. Поперечные горизонтальные усилия нарушают размеры колеи, прямолинейность рельсов, отжимают наружные костыли, а также перемещают шпалы в поперечном направлении. Климатические факторы вызывают гниение шпал, разжижение и размывание балластного слоя, ослабляют несущую способность земляного полотна и балласта, а также приводят к нарушению целостности земляного полотна, пучинообразованию и вызывают снежные заносы.

Организация содержания и ремонта пути. Дорожно-ремонтные работы подразделяются на содержание пути, текущий, средний и капитальный ремонты.

Работы по содержанию и текущему ремонту пути на УЖД объединены в одну группу — текущее содержание, которое заключается в обеспечении постоянной исправности пути, включая надзор за состоянием пути и выполнение неотложных мер по устранению обнаруженных неисправностей. Основная задача содержания пути — предотвращение причин его расстройства. Работы по текущему содержанию планируют на основе натурной проверки и осмотра пути и сооружений мастером и бригадиром 1 раз в 2 недели. В первые дни очередного полумесяца путевая бригада исправляет выявленные неисправности (в первую очередь неотложные работы), в последующую часть полумесяца главным образом ведет предупредительные работы.

Средний ремонт производится в тех случаях, когда сплошной замены рельсов не требуется, но необходимы оздоровление и усиление балластного слоя и шпального хозяйства. Для этого проводят выборочную смену дефектных рельсов и креплений, их ремонт и в ряде случаев сварку, частичную замену изношенных шпал и доведение их числа до установленного для данного типа пути, замену изношенных частей стрелочных переводов, закрепление пути от угона, обновление или добавление балласта, выправку пути в профиле и рихтовку в плане, прочистку водоотводных устройств.

Капитальный ремонт пути представляет собой комплекс ремонтных работ, при которых полностью восстанавливают прочность верхнего строения пути с доведением его характеристик до проектных норм. При этом предусматривается проведение следующих работ: полная смена рельсов и сварка их в длиномерные плети, смена шпал, накладок и болтов на новые, смена стрелочных переводов, подъёмка пути до проектных отметок, ремонт переездов и водопропускных устройств, очистка и ремонт водоотводных канав, работы по оздоровлению земляного полотна, ликвидация пучинообразования и др.

Объём необходимых работ и назначение его вида устанавливают на основании комиссионного осмотра пути. Финансирование среднего ремонта осуществляется на основании ведомости дефектов и калькуляции, капитального ремонта — на основании технорабочего проекта и сметы.

Ремонт пути и других сооружений следует проводить, как правило, без перерыва движения и без снижения скорости движения поездов при обеспечении полной безопасности. Только в исключительных случаях, при значительных по объёму и сложных по условиям проведения работах допускаются кратковременные перерывы в движении и ограничения скоростей, что учитывается графиком движения поездов.

Запрещается приступать к ремонтным работам до ограждения сигналами мест их выполнения в соответствии с указаниями [67]. На лесовозных УЖД работы по текущему содержанию и ремонту выполняют подразделения службы пути дороги или службы подготовки производства в зависимости от структуры управления лесозаготовительным предприятием. Обычно дорога делится на мастерские участки (околотки) и рабочие отделения. Протяженность возглавляемого мастером околотка составляет 18—24 км главной линии, рабочего отделения (и обычно совмещенного с ним обхода) 6 км главной линии или 10 км приведенной длины. При этом к 1 км главного пути приравнивается 3 км станционных или 2 км складских путей, а также 15 стрелок на главных путях или 20 на станционных и складских путях. Состав бригады отделения зависит от грузонапряженности дороги и уровня механизации работ (от 3—4 до 10—12 человек). Кроме бригады путевых рабочих за рабочим

отделением закрепляется и путевой обходчик, а также мостовые и переездные сторожа в зависимости от числа охраняемых объектов.

В последнее время на лесовозных УЖД планово-предупредительные работы проводят не силами одного рабочего отделения, а силами специально организуемых укрупненных механизированных путевых колонн (бригад). В этом случае протяжение околотов увеличивают до 50 км, а протяжение рабочего отделения до 12—18 км и их содержание выполняется только путевыми обходчиками и небольшим звеном из 3—4 рабочих. Такая организация работ позволяет более эффективно использовать современные путевые машины и повысить уровень механизации труда. Путевая колонна выполняет работы поточным способом. Первая бригада (5—7 человек) занимается разгонкой и регулировкой зазоров. Вторая, работающая за первой на расстоянии 200—300 м, выполняет балластные и подъемочные работы, используя ручные подъемники или балластировочные машины. Отдельная бригада занимается выправкой пути и еще одна бригада закреплением его от угона. Путевые колонны позволяют совершенствовать организацию труда и более эффективно использовать путевые машины.

Трудозатраты на текущее содержание и ремонт лесовозных УЖД определяют по нормативам, разработанным СевНИИП. Они рассчитаны для двух климатических зон: к первой отнесены все УЖД, расположенные севернее линии Ленинград—Вологда—Пермь, ко второй—дороги, расположенные южнее. Трудозатраты T_3 (в чел.-днях за год) в нормативах приведены в виде таблиц, но они могут быть определены и по следующей формуле:

$$T_3 = AL_{\text{пр}} + B, \quad (13.1)$$

где $L_{\text{пр}}$ — приведенная длина дороги, равная $1,3(L_{\text{м}} + L_{\text{в}})$; здесь $L_{\text{м}}$ — длина магистрального пути; $L_{\text{в}}$ — длина веток, км. Коэффициент A равен 132 для I климатической зоны и 112 для II зоны (чел.-дни/км). Величина коэффициента B зависит от грузонапряженности дороги Γ , выраженной в тыс. м³·км/км, и может быть определена по формуле

$$B = a\Gamma - b. \quad (13.2)$$

В приведенной формуле для I зоны $a=34,4$, для II зоны $a=58,9$. Величина коэффициента b равна для I зоны 1410 и для II зоны 3220 чел.-дней.

Грузонапряженность дорог определяют по формуле

$$\Gamma = Q_{\Gamma} l_{\text{ср}} / L_{\text{пр}}, \quad (13.3)$$

где Q_{Γ} — годовой объем вывозки, тыс. м³; $l_{\text{ср}}$ — среднее расстояние вывозки, км; $L_{\text{пр}}$ — приведенная длина УЖД, км.

При руководящем подъеме постоянных путей УЖД более 20 ‰ норматив трудозатрат увеличивается на 10 % на каждые 10 ‰ руководящего подъема.

Уровень механизации ремонтно-путевых работ учитывают коэффициентом, на который умножается полученный расчетом объем годовых или месячных трудозатрат:

Уровень механизации, %	5	10	15	20	25	30	35	40
Размер поправочного коэффициента	1,0	0,96	0,92	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72

Основные нормы содержания пути. Верхнее строение пути на перегонах и отдельных пунктах необходимо содержать в исправном состоянии без перекосов и просадок. Путь не должен иметь извилины в плане, просадок и горбов в профиле. В ПТЭ предусмотрены приемочные и эксплуатационные допуски в размерах элементов пути. Требованиям приемочных допусков путь должен удовлетворять при его сдаче после постройки, среднего и капитального ремонтов. Эксплуатационные нормативы содержания применяют при текущем содержании пути. Их превышение ни в коем случае недопустимо.

Приемочные допуски по ширине колеи на прямых и кривых участках пути составляют по уширению 4 мм и сужению 2 мм, эксплуатационные допуски по уширению 6 мм и сужению 4 мм. Отводы ширины колеи в пределах допусков должны быть плавными и не превышать 2 мм на 1 м пути. Приемочные допуски отклонений от горизонтального уровня поверхности рельсовых нитей на прямых и от установленных норм возвышения наружной нити на кривых должны составлять 3 мм, а на усах не более 15 мм. Эксплуатационные допуски в тех же условиях не должны допускаться более 6 мм на магистральных путях и 15 мм на усах. Максимальная величина стрелы изгиба при боковом искривлении, измеренная в мм, численно не должна быть больше длины извины в м.

Приемочные допуски на местные просадки рельсовой колеи допускают уклон неровности не более 1—2 мм на 1 м длины. Эксплуатационные допуски нормируют уклон неровности пути в профиле максимальной величиной 6 ‰ (т. е. 6 мм в середине 2-метровой рейки). На кривых участках отклонение в величине радиусов в пределах одной кривой допускается не больше 10 ‰.

Приборы для оценки состояния пути. Для измерения ширины колеи пользуются путевыми шаблонами. Универсальные шаблоны типа ЦУП (рис. 13.5, а) позволяют измерять ширину колеи, отклонения по уровню, подуклонку рельсов. При укладке нового пути и перешивке рельсов применяют рабочий шаблон, изготавливаемый из отрезка уголкового стали, на концах которого приваривают две упорные планки. Их наружные кромки

составляют прямой угол с гранями шаблона. Мерительные грани этих планок и концевые участки шаблона должны иметь отшлифованные поверхности. На концевые поверхности наносят деления для отсчета ширины колеи.

Путевые шаблоны позволяют проверять состояние пути в отдельных точках. Сплошная проверка состояния пути производится путеизмерительными тележками, которые прокатываются по пути. Тележки контролируют ширину колеи и положение рельсов по уровню, позволяют получать графическую запись результатов с меньшими затратами труда. Тележка (рис. 13.5, б)

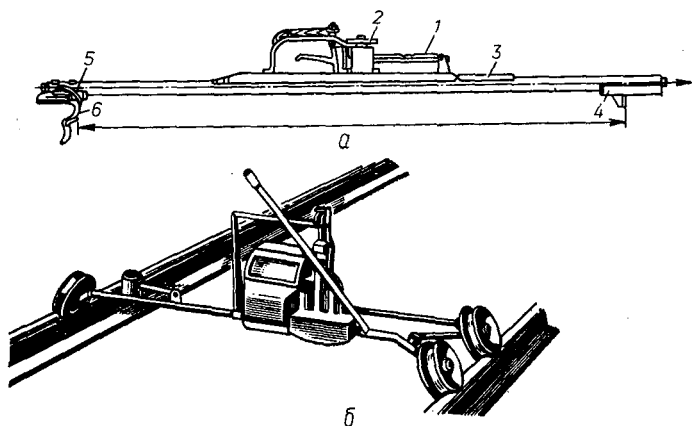


Рис. 13.5. Приборы для оценки состояния пути:

а — контрольный шаблон системы ЦУП: 1 — уровень; 2 — диск; 3 — шкала ширины колеи; 4 и 5 — подвижные и неподвижные заплечики; 6 — шаблон подуклонки рельсов;
б — путеизмерительная тележка

представляет собой сварной трубчатый каркас, расположенный на трех колесах, прижимающихся к рельсам распирающей пружиной. При движении на бумажной ленте прочерчивается график изменения ширины колеи. Перед снятием тележки с пути пружину запирают специальным винтом. Положение рельсов по уровню определяется при помощи маятника, укрепленного на стойке каркаса. С маятником связано перо, отмечающее отклонения по уровню в масштабе 1:2. Продольный масштаб записи на путеизмерительной ленте равен 1:2000, т. е. 1 мм на ленте равен 2 м пути. Масштаб отклонений по ширине колеи 1:1. Лентопротяжный механизм монтируют на каркасе сверху. Он приводится в движение от одного из колес через карданную передачу.

Если универсальные шаблоны и путеизмерительные тележки отсутствуют, отклонения головок рельса от горизонтального положения можно установить с помощью путевой рейки длиной 1025 мм с накладным уровнем. На одном ее конце имеются уступы с нормативными градациями содержания колеи по уровню, т. е. по 5 мм, первый уступ устраивают через 3 мм для опре-

деления отклонений на прямых участках. Для определения величины зазора в стыках и их соответствия температуре рельсов применяют зазорники в виде металлического градуированного клина, который вставляют между концами рельсов сбоку в средней части (по высоте) головок рельсов. Плавность рельсовых нитей в плане проверяют геодезическими инструментами, биноклем или визирками.

Текущее содержание пути. Работы по текущему содержанию пути различаются по сезонам года.

Зимой основными видами работ являются борьба со снежными заносами, обеспечение возможности движения поездов в местах образования пучин, исправление пути в местах отдельных просадок с постановкой рельсов на карточки, очистка и осмотр рельсов и их креплений (особенно в стыках длинных рельсов и рельсовых плетей), перешивки пути и стрелочных переводов, одиночная смена дефектных рельсов, креплений и частей стрелочных переводов, а также работы по перестановке щитов снегозащитных изгородей.

Весной основными являются работы, связанные с отводом воды от полотна дороги, что содействует более быстрому его просыханию. В начале весеннего периода вскрывают кюветы, канавы и русла водотоков у труб и мостов малых отверстий, скалывают лед вокруг свай, очищают от снега неустойчивые откосы земляного полотна, а затем и всей балластной призмы, очищают пути от грязи и мусора, снимают пучинные карточки, выправляют путь на местах бывших пучин, убирают снеговые щиты и колья. По мере оттаивания балластного слоя выполняют работы, направленные на предупреждение угона и расстройств пути. В этот период закрепляют противоугоны, смазывают и затягивают стыковые болты, добывают костыли, заменяют загрязненный балласт в местах появившихся выплесков и пр.

Летом проводят основные работы по ремонту и содержанию пути. Сначала ведут предупредительные работы: выправку пути по уровню и шаблону, рихтовку пути, регулировку зазоров, выправку просадок, подбивку и одиночную смену шпал, перешивку пути и стрелочных переводов; очистку и исправление всех водоотводных устройств — кюветов, лотков, нагорных канав, дренажных сооружений и пр.; ремонт искусственных сооружений, очистку их пролетных строений от грязи и мусора, расчистку отверстий малых мостов и труб от наносов и смену негодных элементов; очистку балласта от травы. Все работы по среднему и капитальному ремонтам пути также выполняют в летний период.

Осенью основными являются работы, связанные с подготовкой дороги к зиме. В осенний период устанавливают колья для снегозащитных изгородей (до промерзания грунта), а также и сами щиты; подготавливают к зимним условиям водопро-

пускные и водоотводные сооружения, перед замерзанием балластного слоя проводят сплошную выправку пути, его рихтовку и подбивку шпал; смазывают стыковые болты, затягивают их, готовят к работе снегоочистители (в частности, устанавливают знаки, указывающие места подъема и опускания его ножей и крыльев); вырубает кустарник и убирают валежник и сваленные хлысты с полосы отвода; устанавливают вешки по оси кюветов и нагорных канав; закрывают отверстия труб щитами. До замерзания пути ликвидируют все неисправности, вызванные осенними дождями. В этот период проводят работы по подготовке главных станционных и складских путей для безопасной работы снегоочистителей.

Своевременная подготовка работ, связанных с определенным сезоном года, позволяет выполнять их с минимальными затратами и наибольшей эффективностью.

Средний ремонт пути. Периодичность среднего ремонта пути в основном определяется сроком службы балластного слоя. Под сроком службы понимают продолжительность периода между очистками щебеночного или заменами песчаного и гравийного балласта, измеряемого в млн. т брутто,

$$T_6 = (D - d)/C, \quad (13.4)$$

где D — максимально допустимая степень загрязнения балласта перед очисткой или заменой в % по весу (для карьерного гравия и песка 15 %, для щебня 35—40 %); d — начальная загрязненность балласта при укладке в путь в % по весу (примерно для песка до 10 %, для гравия до 6 % и для щебня до 5 %); C — интенсивность засорения и загрязнения балласта в % по весу за период перевозок по пути 1 млн. т брутто груза.

Для лесовозных дорог СевНИИП рекомендует межремонтный период принимать равным половине периода между капитальными ремонтами. Технология среднего ремонта зависит от наличия путевых машин.

Рассмотрим технологический процесс среднего ремонта, разработанный ВНИИТП для пути с песчаным балластом [41]. Основные работы на участке длиной 500 м предусматриваются выполнять в «окно» продолжительностью 4 ч 30 мин, причем на работах используют балластировочную машину с навесным подбивочно-отделочным оборудованием, путевой струг, полувагоны-дозаторы и др. В состав путевой бригады входят 13 путевых рабочих, 2 механика путевых машин, мастер и бригадир пути. Весь фронт по среднему ремонту разделяется на три участка по 500 м длиной, на которых ведутся подготовительные, основные и отделочные работы.

Подготовительные работы выполняются на первом участке в течение 2 дней. В первый день 5 человек на стройдворе (базе) подготавливают шпалы, размечая их и сверля в них отверстия, грузят рельсы и шпалы на платформу, транспортируют их и разгружают на перегоне. Во второй день бригада из 8 человек закрепляет шпалы добивкой костылей, зачищает заусенцы, изготавливает пластинки-закрепители, а бригада из 5 человек разгоняет зазоры гидравлическими разгонщиками. Затем 5 человек из первой бригады приступают к перевозке рельсов и скреплений и развозят на путевом вагончике шпалы, а 3 человека очищают рельсы, размечая на

их шейке оси шпал и снимая старые противоугонные распорки и противоугоны. Два механика, работая на путевом струге, срезают и планируют обочины и очищают кюветы. По мере выполнения этих работ вторая бригада срезает и планирует вручную обочину в местах, где работа струга невозможна, и выгружают балласт из полувагонов-дозаторов.

Основные работы выполняются в два периода: при закрытом перегоне в «окно» (4 ч 20 мин) и в оставшееся время при открытом перегоне. В первый период 2 рабочих и 2 механика проводят дозировку балласта, используя для этого балластировочную машину УПК, а 6 человек ту же работу выполняют вручную в местах, где работа машины невозможна. Затем первая группа производит подъемку пути машиной, а 11 человек в течение 40 мин занимается сменой негодных шпал и перегонкой их по меткам. В конце периода 6 человек подбивают путь машиной УПК с навесным подбивочно-отделочным оборудованием и оправляют откосы балластной призмы крыльями дозатора, а 9 человек рихтуют путь и ставят новые противоугоны. После выполнения указанных работ и проверки состояния пути перегон отменяется для движения. По окончании времени, отведенного на «окно», рабочие заготавливают, развозят и ставят противоугонные распорки и занимаются выправкой пути с частичной подбивкой шпал электрошпалоподбойками с рихтовкой прямых и кривых участков пути.

Отделочные работы выполняют на двух участках пути длиной по 500 м. Они состоят в добивке костылей, рихтовке отдельных участков, выправке круговых и переходных кривых, регулировке стыковых зазоров, подтяжке стыковых болтов, перешивке пути в отдельных местах. Кроме того, в этот период старые шпалы собирают, отвозят и укладывают в штабеля. Работы заканчиваются операциями по установке и окраске путевых знаков. Через 2 дня после достаточной обкатки пути вновь приступают к работам на участке, где они выполнялись в «окно». Бригада из 8 человек проводит выправку пути перед его сдачей с подбивкой до 15 % шпал электрошпалоподбойками и окончательно отделяет балластную призму проходами балластера. Средний ремонт пути на участке в 1 км может быть выполнен бригадой указанного состава за 6 дней. Трудозатраты составят 84 чел.-дня.

По данным СевНИИП, на лесовозных дорогах фактическая трудоемкость такого ремонта составляет от 150 до 200 чел.-дней. Конечно, она зависит от степени механизации работ и набора применяемых механизмов.

Капитальный ремонт пути. Периодичность капитального ремонта пути определяется предельно допускаемым износом рельсов [см. формулу (12.15)].

Для определения периодичности ремонтов на лесовозных УЖД в СевНИИП были проведены обследования значительного количества крупных УЖД, на основании которых разработано и утверждено Минлеспромом «Положение о проведении планово-предупредительных ремонтов железных дорог колеи 750 мм». В этом Положении имеются рекомендации по периодичности капитальных ремонтов на УЖД.

Технология капитального ремонта узкоколейного рельсового пути на лесовозных дорогах разработана в СевНИИП. Работы по капитальному ремонту выполняют четыре бригады, состав которых зависит от наличия механизмов и инструментов. Фронт работы бригады 80—90 м. Все работы должны выполняться поточным методом. Типовой график такого ремонта приведен на рис. 13.6. Рельсовая бригада из 8 человек выполняет

сплошную смену рельсов на закрытом для движения поездов перегоне. Шпалобалластную бригаду, состоящую из 13 человек, разбивают на четыре звена. Звено № 1 вырезает балласт из шпальных ящиков, откапывает концы шпал и расширяет рельсовые нити; звено № 2 меняет шпалы, ставит подкладки и пришивает рельсовые нити; звено № 3 изготавливает распорки и устанавливает противоугоны и распорки; звено № 4 подштопывает шпалы. Третья бригада из 7 человек занимается подъемкой пути на песчаный балласт, а четвертая из 11 человек занимается выправкой пути после его обкатки, т. е. допол-

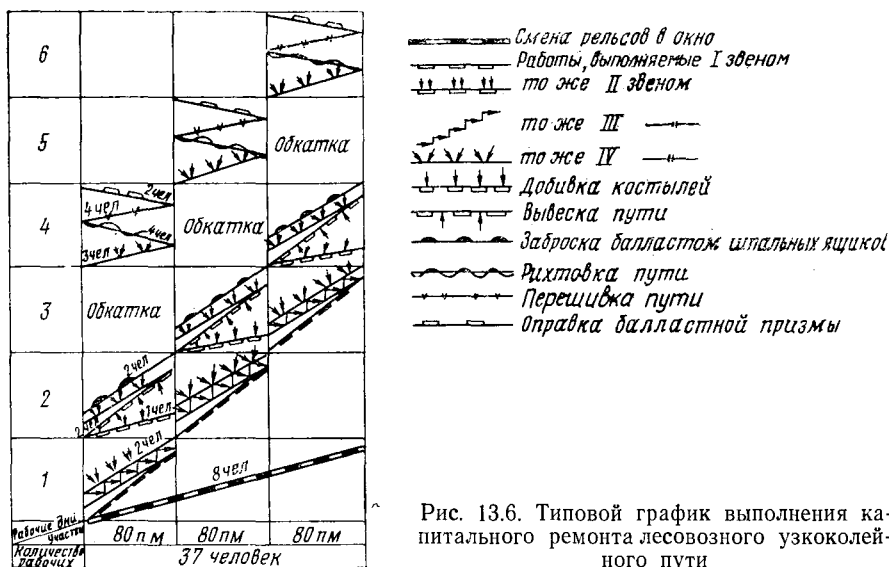


Рис. 13.6. Типовой график выполнения капитального ремонта лесовозного узкоколейного пути

нительной подштопкой шпал, рихтовкой, частичной перешивкой и оправкой балластной призмы.

Приведенная технология капитального ремонта рассчитана на выполнение работ при обычном звеньевом пути. Однако в настоящее время все большее число дорог имеет на главном пути рельсы, сваренные в длинные плети, съемка и замена которых представляют значительные трудности. Температурные напряжения в длинных рельсах и рельсовых плетях накладывают определенные ограничения на проведение большинства ремонтных работ.

Особенности ремонта пути при рельсах, сваренных в длинные плети, заключаются в следующем [63]. Перед ремонтными работами необходимо разрядить температурные напряжения, т. е. дать возможность рельсам восстановить длину. Если температурные напряжения разрядить невозможно из-за полностью слитых зазоров (в летний период), то при температуре рель-

сов, превышающей температуру укладки до 20 °С, нельзя удалять балласт от торцов шпал и из шпальных ящиков на четырех и более межшпальных пролетах, производить сплошную подъемку пути, замену или снятие стыковых накладок и болтов. В зависимости от степени износа снимаемых с пути рельсов, сваренных в длинные плети, могут применяться следующие технологические схемы:

а) отслужившие свой срок и полностью изношенные рельсы в виде сварных плетей разрезают на куски по 8—10 м, погружают головным путевым краном (ГПК) путеукладочно-разборочного состава на специализированные платформы и вывозят на базу для последующей расшивки звеньев, сортировки шпал и скреплений с последующей отгрузкой изношенных рельсов и скреплений в металллом;

б) подлежащие замене рельсовые плети расшивают и грузят на спецсостав, затем собирают использованные шпалы с пути и погружают на платформы, а в последующем на выровненное полотно укладывают новую рельсошпальную решетку в виде звеньев или сварных плетей. Снятые рельсовые плети используют на станционных или малодеятельных путях (ветках).

При капитальном ремонте пути целесообразно использовать инвентарные звенья. Инвентарными являются звенья обычной длины, собранные на звеносборочной базе из новых шпал и старогодних инвентарных рельсов и используемые для временной укладки во время капитального ремонта пути. После снятия подлежащей замене рельсошпальной решетки на ее место укладывают инвентарные звенья (длиной 8 м из изношенных рельсов, но на новых шпалах), подвозят балласт, который дозируют хоппердозаторами или другими балластировочными машинами, затем поднимают путь на балласт и обкатывают его в течение 4—6 дней. Только после уплотнения балластного слоя изношенные рельсы с инвентарных звеньев снимают и заменяют новыми. При работах без инвентарных звеньев необходимо заранее привезти шпалы и новые рельсовые плети, уложив их вдоль пути; после снятия старой путевой решетки на это место надвигается новая, уложенная заранее вдоль пути.

В МЛТИ разработаны «Рекомендации по капитальному ремонту пути с длинными рельсами и технологические карты с комплектом машин и механизмов», утвержденные Минлеспромом в 1977 г. Описание этих технологических процессов есть также в источнике [41].

Трудоемкость капитального ремонта 1 км лесовозных УЖД, по данным СевНИИП, составляет от 300 до 400 чел.-дней. В технологических процессах капитального ремонта верхнего строения пути, разработанных в МЛТИ, с высокой степенью механизации работ трудоемкость составляет от 150 до 250 чел.-дней на 1 км.

СТРОИТЕЛЬСТВО ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Глава 14

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

§ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ

Строительство новых лесозаготовительных предприятий и наращивание сети ранее построенных лесовозных дорог производится как строительными подразделениями объединений «Союзлесстрой», «Сиблесстрой» и «Дальлесстрой», так и самими лесозаготовительными предприятиями.

Дорожно-строительные работы имеют ряд особенностей, к которым относятся сложность и разнообразие как видов строительных работ, так и производимой продукции; большая расчлененность и линейная протяженность при неравномерном распределении объемов и видов работ; существенное влияние природных факторов; необходимость добычи, переработки и использования большого количества песчаных, каменных, гравийных и других материалов; необходимость транспортирования, иногда на значительные расстояния, больших объемов грузов, в частности каменных и инертных материалов, сборных конструкций мостов и труб, грунтов и т. д.

Дорожно-строительные работы делятся на заготовительные, транспортные и строительно-монтажные. К заготовительным относятся заготовка и хранение вяжущих и каменных материалов, изделий из металла, дерева и сборного железобетона и др.; к транспортным — доставка дорожно-строительных материалов; строительно-монтажные работы выполняются непосредственно на объекте, т. е. на дорожной полосе, мостах и пр.

В зависимости от распределения объемов работ по трассе все работы делятся на линейные и сосредоточенные.

Линейные работы более или менее распределены по длине строящейся дороги и повторяются на каждом километре с незначительными отклонениями от средних условий. К ним относятся возведение земляного полотна в виде небольших насыпей или выемок, устройство дорожных одежд на автодоро-

гах и верхнего строения на УЖД, строительство труб и малых мостов, установка дорожных и путевых знаков. Линейные работы распределяют по узкой полосе дороги, их выполняют механизированные подразделения, продвигающиеся по полотну строящейся дороги.

Сосредоточенные работы выполняются на одном месте или на коротких отрезках дороги. По сложности, трудоемкости и значительному объему они отличаются от других работ, а также редко повторяются на смежных участках. К таким работам относятся строительство больших и средних мостов, разработка глубоких выемок и возведение высоких насыпей, участки скальных работ и пр. Сосредоточенные работы должны заканчиваться до подхода к данному месту подразделений, ведущих линейные работы.

Как и другие строительные работы, строительство дорог ведут как подрядным, так и хозяйственным способом. При подрядном способе работы выполняет специализированная постоянно действующая строительная организация, называемая подрядчиком. В лесной промышленности в качестве подрядчика выступают строительные тресты и строительно-монтажные управления (СМУ) хозрасчетных строительных объединений, строительные организации Министерства строительства и эксплуатации автомобильных дорог РСФСР и других республик, Минтрансстроя СССР и других ведомств. Подрядная организация выполняет строительные работы по договорам с заказчиком, т. е. организацией, для которой ведется строительство и которая будет принимать и эксплуатировать дорогу. Наблюдение за выполнением подрядного договора, проверка качества скрытых работ и проверка правильности определения объемов выполненных работ (проценток) возлагается на Отделы капитального строительства лесозаготовительных предприятий. Подрядный способ выполнения работ более эффективен, так как специализированные дорожно-строительные организации лучше укомплектованы дорожно-строительными машинами, имеют специалистов и квалифицированных рабочих, как правило, применяют более прогрессивную технологию строительных работ, широко используют индустриальные методы строительства и имеют более высокий уровень механизации работ.

При хозяйственном способе работы выполняют предприятия, которым выделены средства для строительства дорог. Этот способ используют главным образом при строительных работах небольшого объема, когда привлекать подрядную организацию нецелесообразно или она находится на большом расстоянии от данного предприятия и места проведения работ, что характерно для многих строительных объектов лесозаготовительных предприятий. Для повышения качества работ, концентрации сил и средств Минлесбумпром СССР на своих предприятиях с 1980 г. стал создавать службу подготовки

производства, на которую, в частности, возложено: строительство, реконструкция, капитальный ремонт и содержание лесовозных дорог на действующих предприятиях, а также организация и обустройство притрассовых и базовых карьеров и изготовление щитов для деревянных покрытий.

На строительстве лесовозных дорог в настоящее время все шире используют метод бригадного подряда. Лесозаготовительное предприятие или строительная организация заключает с бригадой рабочих договор на выполнение работ по объекту или этапу [86]. По договорам стороны принимают на себя следующие обязательства: бригада — выполнение работ в установленные сроки в точном соответствии с технической документацией, строительными нормами и правилами и в пределах сметной стоимости поручаемых бригаде работ; соблюдение правил хранения, рационального расходования дорожно-строительных материалов на объекте, соблюдение правил охраны труда и техники безопасности; предприятие или дорожно-строительная организация — своевременное обеспечение выполняемых работ технической документацией, машинами и механизмами, а также строительными материалами, осуществление инженерно-технического руководства работами, внедрение научной организации труда и прогрессивной технологии работ, обеспечивающей рост производительности труда, обеспечение норм охраны труда и техники безопасности. В договорах указывают сроки выполнения работ и расчетную стоимость в соответствии с объектными сметами или калькуляциями, сумму заработной платы по аккордному наряду и премию по сдельно-премиальной системе с учетом качества работ, объем материальных и трудовых затрат, необходимых для выполнения поручаемой работы. По окончании работ специальная комиссия оформляет акт приемки объекта с указанием сроков и качества выполненных работ. Следует указать, что дорожно-строительные работы характеризуются узкой номенклатурой применяемых материалов и незначительным объемом внешних связей. В таких условиях многое решают инициатива и предприимчивость самих бригад, их умение использовать погодные условия, организованность и дисциплина. Внедрение бригадного хозяйственного расчета, аккордной оплаты и сдельно-премиальной системы оплаты труда приводит к значительному улучшению дисциплины, позволяет улучшить качество и сократить сроки строительства дорог.

Работы по строительству лесовозной дороги обычно выполняют в такой последовательности: 1) вспомогательные работы по организации стройдвора, возведению временных сооружений, подготовке карьеров, устройству связи, заготовке стройматериалов и пр.; 2) подготовительные работы по восстановлению и закреплению трассы, прорубке просеки, разбивке земляных работ, осушению трассы и пр.; 3) строительство больших и

средних, а затем малых мостов и труб; 4) выполнение сосредоточенных земляных работ; 5) выполнение линейных земляных работ; 6) устройство дорожной одежды, а на железных дорогах верхнего строения пути; 7) отделочные работы и сдача готовых участков. Следует указать, что линейные и сосредоточенные работы могут выполняться одновременно.

Различают два основных способа организации линейных дорожно-строительных работ: поточный и непоточный.

Поточный метод характеризуется тем, что все строительные подразделения продвигаются вперед в заданной технологической последовательности, выполняя весь объем работ по строительству дороги, и по мере окончания работ на первых по времени начатых участках их вводят в эксплуатацию, т. е. значительно раньше срока завершения всего строительства. В данном случае в равные промежутки времени (смену, сутки) заканчивается строительство равных по длине участков дороги.

Потоком называют все последовательно выполняемые работы, объединенные вместе. По составу и назначению различают частные, специализированные и объектные потоки.

Частный поток представляет собой организацию работы звена однотипных машин (бульдозеров, скреперов, катков), последовательно выполняющих ту или иную операцию технологического процесса на соответствующем участке, называемом захваткой. Захватка — это часть строящейся дороги, в пределах которой специализированное звено машин выполняет определенный рабочий процесс или рабочую операцию. Минимальная длина захватки представляет собой плановую сменную (или суточную) выработку в метрах длины дороги, заданную сроками строительства.

Звеном машин называют группу однотипных машин, выполняющих работы частного потока. Группа звеньев представляет собой бригаду или комплект машин, куда входят как основные, так и вспомогательные машины, необходимые для механизированного выполнения всех технологических операций.

Специализированный поток представляет собой совокупность частных потоков, объединенных единой схемой для создания какой-либо законченной части сооружения, например земляного полотна, дорожной одежды и т. д. Рациональный вариант технологического процесса для каждого специализированного потока следует выбирать на основе сравнения основных технико-экономических показателей: трудоемкости A (в чел.-днях), энергоемкости \mathcal{E} (в кВт) и технологической себестоимости выполняемых специализированным потоком работ $C_{\text{те}}$ (в р.); все показатели определяются на единицу готовой продукции. Трудоемкость равна

$$A = (\Sigma A_o + \Sigma A_{\text{всп}}) : \Pi_{\mathcal{E}} + \Sigma A_{\text{п}} : V; \quad (14.1)$$

энергоёмкость

$$\Theta = \Sigma \Theta_p / P_\Theta; \quad (14.2)$$

технологическая себестоимость

$$C_{\text{тс}} = (K_1 \Sigma C_{\text{м. см}} + K_2 \Sigma Z_{\text{всп. р}}) / P_\Theta; \quad (14.3)$$

в этих формулах: ΣA_o , $\Sigma A_{\text{всп}}$ — затраты труда в смену рабочих, выполняющих основные работы, и рабочих, занятых на вспомогательных работах, чел.-дни; $A_{\text{п}}$ — то же, но для подготовительного производства и обслуживающих хозяйств, чел.-дни; P_Θ — сменная эксплуатационная производительность данного комплекта машин в единицах готовой продукции; V — суммарный объем работ, выполняемый по запроектированной организации строительного процесса, в единицах готовой продукции; $\Sigma \Theta_p$ — суммарная мощность двигателей всех машин, участвующих в данном технологическом процессе, кВт; $\Sigma C_{\text{м. см}}$ — суммарная стоимость машино-смен, участвующих в данном технологическом процессе, р.; $\Sigma Z_{\text{всп. р}}$ — суммарная зарплата рабочих, выполняющих вспомогательные процессы в течение смены, р.; K_1 — коэффициент, учитывающий накладные расходы (1,10—1,13); K_2 — коэффициент накладных расходов на основную заработную плату (1,65).

Обобщающим критерием экономической эффективности рассматриваемых вариантов технологических процессов является себестоимость работ. При сравнении вариантов технологического процесса необходимо учитывать такие показатели, как уровень механизации, удельные трудозатраты, механооруженность рабочих и строительства. В то же время для лесозаготовительных предприятий, удаленных от дорог общего пользования, решающим фактором при выборе технологического процесса может оказаться фактическое наличие на предприятии дорожно-строительных машин, а также наличие и расположение карьеров дорожно-строительных материалов.

Объектный поток представляет собой совокупность специализированных потоков, предназначенных для сооружения всего объекта, т. е. полностью законченной дороги. Когда строительные подразделения имеют несколько различных объектов, может быть создан комплексный поток, являющийся группой организационно связанных объектных потоков. Основным показателем любого потока является его скорость (или темп), которая измеряется в метрах готовой дороги в сутки:

$$v_n = L : (T_k - t_n - t_{\text{рп}}), \quad (14.4)$$

где L — длина строящегося участка дороги, м; T_k — число календарных дней строительного периода; t_n — число выходных и нерабочих дней по метеорологическим условиям; $t_{\text{рп}}$ — продолжительность периода развертывания потока в сутках, т. е.

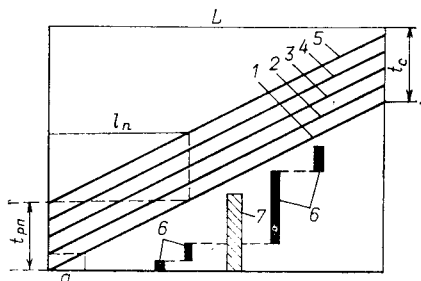
время, необходимое для вступления в работу всех специализированных звеньев или бригад (рис. 14.1).

Длиной объектного потока называют участок, на котором полностью размещаются отряды специализированных потоков. Число нерабочих дней t_n для основных лесозаготовительных районов приведены в табл. VI.1 источника [81]. В справочниках даны средние значения для больших территорий, и для конкретной дороги их следует уточнять по материалам местных метеорологических станций.

Непоточные методы строительства дорог применяют редко. В этом случае к непоточным методам линейного дорожного строительства относятся: а) метод раздельной организации и производства, на котором каждый строитель-

Рис. 14.1. График организации работ по строительству автомобильной дороги поточным методом с выделением специализированных потоков (1—5) и выполнением сосредоточенных работ (6, 7) до подхода основного потока:

1 — подготовительные работы; 2 — постройка труб; 3 — земляные работы; 4 — устройство основания; 5 — постройка покрытия; 6 — постройка мостов; 7 — сосредоточенные земляные работы



ный процесс выполняется самостоятельно (применим на объектах небольшого протяжения, например при удлинении существующих дорог); б) некомплексный поточный метод, когда земляное полотно, водопропускные сооружения и водоотвод возводят за год до постройки дорожной одежды, а последнюю возводят отдельно, поточным методом (широко применяется в настоящее время).

При постройке новых лесовозных дорог протяжением первой очереди строительства не менее 12—15 км основным и наиболее прогрессивным является поточный комплексный метод строительства. При выполнении сосредоточенных работ применяют либо указанный выше метод раздельной организации строительства либо цикловой поточный метод, при котором строительный объект, например крупный мост, высокая насыпь, делится на ряд участков-захваток, выполняемых самостоятельными поточными методами.

Для планирования дорожно-строительных работ важными являются данные о продолжительности периодов с отрицательными и низкими положительными температурами, глубине и сроках промерзания и оттаивания грунтов, интенсивности осадков и распределении их по календарным периодам, продолжительности светового дня и др. Эти данные отражают на дорожно-климатическом графике (рис. 14.2). Исходя из климатических условий определяют начало, конец и продолжительность

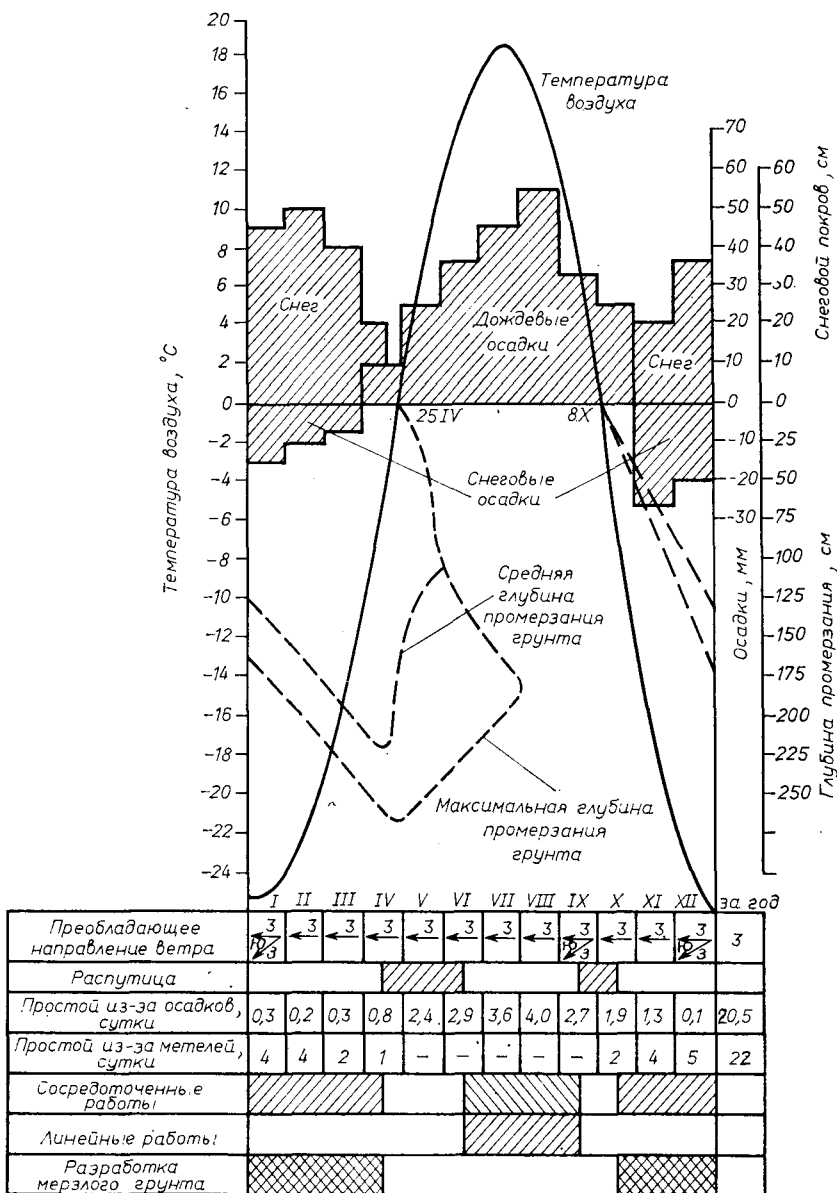


Рис. 14.2. Дорожно-климатический график

линейных и сосредоточенных работ, а также возможные сроки постройки дорожных одежд, если применяемые материалы (например, битум) можно использовать только при определенных интервалах температуры воздуха. Необходимо учитывать вынужденные простои в периоды весенней и осенней распутицы и в дни, когда сумма осадков больше 5 мм, а также при больших морозах и сильных метелях зимой. Даты начала весенней распутицы Z_H и ее окончания Z_K можно найти по формулам В. М. Сиденко:

$$Z_H = T_0 + 5/\alpha; \quad Z_K = Z_H + 0,7h_{\text{пр}}/\alpha, \quad (14.5)$$

где T_0 — дата перехода температуры воздуха через 0°C весной; α — климатический коэффициент, характеризующий скорость оттаивания грунта, см/сутки; $h_{\text{пр}}$ — среднемаксимальная глубина промерзания грунта в данном районе, см.

Осенняя распутица обычно начинается при t воздуха $3-5^\circ\text{C}$, а оканчивается при $t=0^\circ\text{C}$. Исходя из указанных данных, можно, например, определить продолжительность линейных земляных работ

$$T_p = T - T_{\text{вес}} - T_{\text{ос}} - t_H - t_{\text{вх}}, \quad (14.6)$$

где T — продолжительность строительного сезона (при круглогодичной работе $T=365$); $T_{\text{вес}}$ и $T_{\text{ос}}$ — продолжительность весенней и осенней распутицы; t_H и $t_{\text{вх}}$ — число нерабочих дней по метеорологическим условиям, а также выходных и праздничных. При круглогодичной работе учитывается также количество дней с метелями T_M .

В технических и технорабочих проектах на новые лесозаготовительные предприятия и дороги имеется специальный раздел, посвященный проекту организации строительства, в котором рассмотрены следующие вопросы: определение срока строительства и составление его календарного плана; организация индустриальной базы и подготовка строительной площадки; обоснование и выбор методов и технологии строительных работ с расчетом параметров потоков, потребности в машинах, оборудовании и материалах; расчет потребности в рабочих и намечаемые мероприятия по обеспечению кадрами; вопросы организации материального снабжения; расчет технико-экономических показателей строительства.

Для низового оперативного планирования, выполняемого в строительных организациях, разрабатывают технологические карты (типовые и рабочие).

Типовые карты разрабатывают проектные институты, трест «Оргтехлесстрой», проектно-технологические бюро. Их составляют с учетом средних условий, например на устройство насыпей в определенных границах ее высоты, при определенном виде грунта и при применении определенных механизмов. Рабочие карты представляют собой уточненную типовую карту,

привязанную к местным условиям проведения работ. Их разрабатывают на основании типовых.

В технологической карте указывают область применения, состав работы с указанием последовательности процессов, расчеты объемов работ и потребных ресурсов, технические требования и правила приемки работ, требуемые механизмы и инструменты, состав и расстановку рабочих, технология выполнения работ, схемы работы машин и технико-экономические показатели. В рабочих картах, кроме того, указывают схемы работы потока и размещение ресурсов по захваткам для принятой скорости потока, а также указывают затраты труда и расценки. Технологическую последовательность процессов показывают в виде схемы с распределением всех видов работ по процессам на укрупненный измеритель (на 1 км дороги, 1000 м² основания или покрытия). В карте указывают принятую производительность механизмов с ссылкой на Единые нормы и расценки (ЕНиР) или на прилагаемый к карте специально выполненный расчет. Ниже приведена форма, по которой составляют технологическую схему.

№ процесса	№ захватки	Источник обеспечения норм выработки (ЕНиР и расчеты)	Описание рабочих процессов (в порядке их технологической последовательности с расчетом объемов работ)	Единица измерения	Количество на 1 км	Производительность в смену	Потребность в машино-сменах

Определив потребность в машино-сменах, на укрупненный измеритель по скорости потока подбирают состав машин в отряде и составляют схему их работы с указанием числа машин по захваткам.

При комплектовании отряда нужно стремиться обеспечить полную загрузку ведущих и тех из вспомогательных машин, стоимость 1 маш.-смены которых наибольшая. Если требуемого числа машин для данной скорости потока нет, то решают обратную задачу и скорость потока устанавливают по наличию основных машин в строительном подразделении. При построении схемы потока необходимо учитывать, что чем больше захваток, тем больше длина специализированного и объектного потоков, т. е. фронт их работы. На основе проекта организации строительства, технологических правил и карт в строительных подразделениях на каждый год составляют проект работ с календарным графиком их выполнения. В нем с учетом фактически имеющихся машин и ресурсов уточняют скорость потоков и их состав, потребность в рабочих, машинах, материалах, горючем; разрабатывают проекты карьерного хозяйства и дают сводный расчет материальных ресурсов.

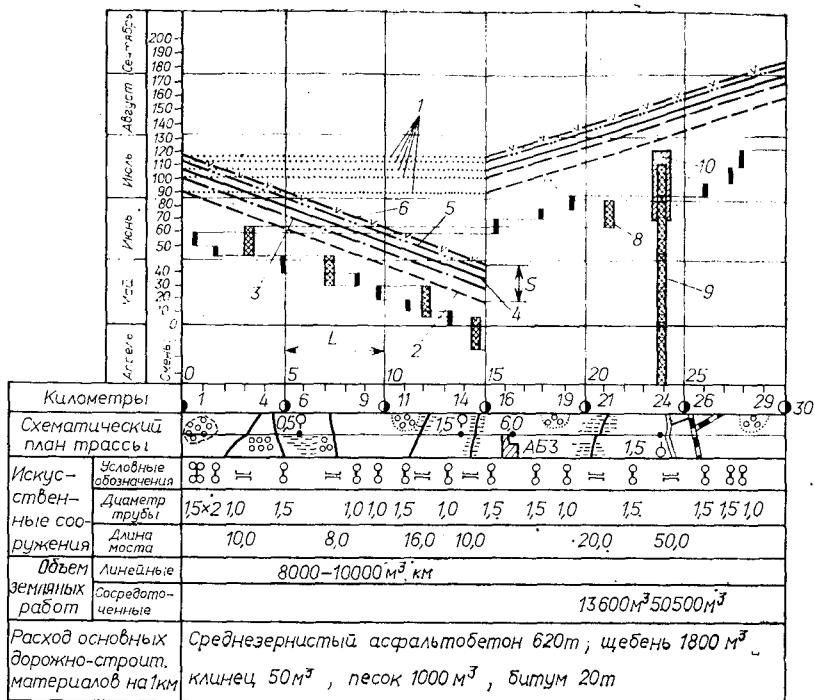


Рис. 14.3. График комплексного потока при поточном строительстве автомобильной дороги:

S и L — период и участок развертывания потока; 1 — переход на новое место работы; 2 — линейные земляные работы; 3 — устройство песчаного слоя; 4 — устройство основания; 5 — устройство покрытия; 6 — устройство поверхностной обработки; 7 — укладка труб; 8 — строительство малых и средних мостов; 9 — строительство крупного моста; 10 — сосредоточенные земляные работы

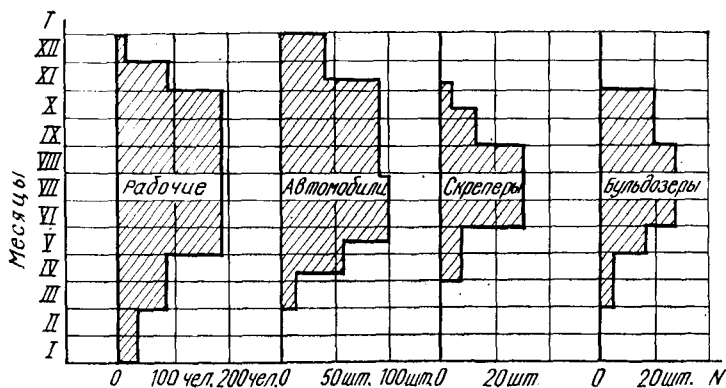


Рис. 14.4. Эпюры изменения потребности в рабочей силе, автомобилях, скреперах и бульдозерах за период строительства дороги

Очень важным документом является календарный план-график строительства, пример которого приведен на рис. 14.3. При составлении графика нужно учитывать объемы основных работ, места размещения вспомогательных производств и баз, расположение карьеров и установленные календарные сроки строительства. Важное значение имеет увязка по скорости движения специализированных потоков и сроков выполнения сосредоточенных работ, а также правильное планирование работы транспорта при непрерывно изменяющейся дальности перевозок материалов.

Нанесенные на график столбики, обозначающие время проведения сосредоточенных работ, не должны пересекаться наклонными линиями проведения земляных работ.

Подсчитывая по горизонтальным линиям для каждого интервала времени потребность в рабочих, автомобилях и основных строительных машинах, необходимо на графике построить эпюры движения потребности в рабочих и технических средствах (рис. 14.4).

Одной из трудных задач при составлении графика является смягчение переменного во времени возрастания потребности в автомобилях, которая при строительстве автомобильных дорог очень значительна. Для создания равномерной потребности в машинах можно использовать способы вывозки, например гравийных материалов одновременно на два участка.

§ 2. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Своевременное и полное выполнение подготовительных работ имеет большое значение. До начала строительства следует тщательно изучить и проверить материалы проекта, план и продольный профиль дороги, всю трассу в натуре, проверить правильность определения в проекте объемов работ и расстановки перевозок материалов. При осмотре в натуре может быть изыскана возможность улучшения и удешевления строительства за счет частичного смещения трассы и изменения проекта. Такие изменения должны быть согласованы с проектной организацией.

Восстановление трассы. Эту операцию начинают с поиска сохранившихся пикетных и угловых столбиков, закрепления вершин углов поворота и обозначения затесками границы просеки. До расчистки дорожной полосы выносят в сторону повторители пикетов и обозначают границы участков корчевки и срезки пней. После срезки растительного слоя и корчевки снова восстанавливают пикетаж и детально разбивают круговые и переходные кривые и выполняют земляные работы, а также закрепляют створными столбами и вехами оси мостов и труб. На крутых косогорах и у мостов выставляют дополнительные реперы.

Подготовка дорожной полосы заключается в очистке ее от леса и кустарника, корчевке пней и снятии растительного слоя там, где это предусмотрено проектом. Как указано в СНиП, вырубка кустарника и леса при строительстве дорог должны производиться только в необходимых размерах.

Прорубка просеки. Прорубку заблаговременно выполняют основные лесозаготовительные бригады в зимний период, чтобы заготовленную древесину можно было вывезти автопоездами по промерзшему грунту. Просеку разрубает участками по 250—300 м. Часть заготовленной древесины, необходимой для поперечных настилов и искусственных сооружений раскряжевывают, окоряют и укладывают в штабеля с прокладками, затем передают строителям. Для расчистки дорожной полосы используют кусторезы или корчеватели-собиратели. Срезанный кустарник сжигают. Растительный слой (дерн и мох) удаляют бульдозерами. Объем грунта в рыхлом состоянии, перемещаемого бульдозерами за один проход, составляет 3,1 м³ для трактора Т-100, 4,4 м³ для трактора Т-140 и 6,3 м³ для трактора ДЭТ-250. Дерн перемещают за пределы дорожной полосы и укладывают так, чтобы он не мешал дорожным работам. Его можно использовать для рекультивации нарушенных сельскохозяйственных земель и для укрепления откосов. Растительный слой снимают на площади, занимаемой основанием насыпей, на площади будущих выемок, резервов и карьеров. Под насыпями высотой более 0,5 м дерн не срезают. Если растительный слой не толще 5—7 см, бульдозеры перемещают его вдоль трассы, сгребая в промежуточные валы, которые затем сдвигаются в сторону поперечными проходами. Слой толщиной 15—20 см срезают в два приема. Поперечными проходами на I передаче срезают полосы с оставлением метровых промежутков. Затем проходами под углом на II—III передаче срезают оставшиеся полосы. На этой работе особенно удобны бульдозеры с поворотным отвалом.

Корчевка пней и уборка валунов. Эти операции следует проводить в весенний период, когда верхний слой грунта оттаял, а нижний еще мерзлый. Корчевка производится под насыпями высотой до 0,5 м, а также на полосе, где удаляют растительный слой, устраивают выемки, резервы и канавы. Для корчевки используют специальные корчеватели и бульдозеры. Мелкие пни корчуют сразу; при диаметре их 0,2—0,4 м корчеватель предварительно заглубляет зубья на 0,3—0,6 м, затем гидроцилиндрами поднимает их вместе с пнем. Корчеватели на тракторах с двигателем мощностью 200—250 кВт имеют толкающие усилия 250—300 кН, благодаря чему пни диаметром до 0,4 м они корчуют сразу, а максимальный диаметр корчующих пней достигает 0,9—1,0 м. Для вычесывания остатков корней грунт разрыхляют стойковыми рыхлителями путем двойного прохода по ширине. Наилучшее качество обеспечивается

при зигзагообразных проходах. Остающиеся мелкие острые пеньки кустарника и мелкого леса срезают заточенным ножом отвала бульдозера.

Уборку валунов, т. е. находящихся на поверхности земли крупных камней, следует проводить до начала земляных работ только в том случае, если они для применяемой землеройной машины являются негабаритными, а именно для автогрейдеров больше $\frac{1}{2}$ высоты отвала, для одноковшовых экскаваторов больше $\frac{1}{2}$ ширины ковша, для автомобилей-самосвалов больше $\frac{1}{2}$ ширины кузова (а по массе более $\frac{1}{2}$ грузоподъемности), для дробилок больше $\frac{3}{4}$ меньшей стороны приемного отверстия. Негабаритные валуны убирают за пределы рабочей зоны машин бульдозерами, корчевателями-собирающими, дробят взрывным способом либо грузят на автомобили и отвозят. Допускается закапывать камни в грунт на глубину не менее 0,3 м от проектной отметки дна выемки или основания насыпи.

Устройство линий связи. Хорошая связь необходима не только для работы лесозаготовительных предприятий, но и в период строительства. Основой связи являются линии передач. Вдоль лесовозных дорог обычно прокладывают воздушные линии связи, относящиеся к III классу. В зависимости от климатических условий они бывают: облегченного типа (О) в негололедных и малогололедных районах с толщиной стенки льда на проводе до 5 мм или изморози до 20 мм; нормального типа (Н) в гололедных районах с толщиной стенки льда до 10 мм или изморози до 20 мм и усиленного типа (У) при гололеде с толщиной стенки до 15 мм. Длина нормального пролета линий для III класса типа О принята 83,5 м, т. е. 12 опор на 1 км, на линиях типа Н 62,5 м (16 опор на 1 км) и на линиях типа У 50 м. Для линий связи в поселках и на промышленных площадках длина пролета для типов О и Н 50 м и для типа У 40 м. Опоры линий связи размещают у края полосы отвода дороги. Опоры применяют деревянные, но для увеличения срока службы на линиях внешней связи и в поселках опоры следует устраивать с железобетонными приставками. Деревянные опоры (кроме лиственницы) для предупреждения гниения нужно пропитывать антисептиками диффузионным бандажным способом. Двумя бандажами опора защищается в местах, где происходит гниение на всю длину закопки, а в болотистых местах устанавливают один бандаж над поверхностью земли. При строительстве линий связи выполняют следующие работы: разбивку и подготовку трассы, рытье ям бурильными машинами, установку опор, подвеску проводов, работы по защите линий от опасных напряжений и токов, нумерацию опор. Работу ведет специализированная бригада. Глубина ям в зависимости от числа опор и проводов 1,7 м и более. Трудоемкость работ составляет при 12 опорах на 1 км и без антисептирования опор 9 чел.-дней на строительство 1 км, при 16 опорах и

антисептировании 13 и при 20 опорах и антисептировании 15 чел.-дней на 1 км. При прокладке по болотистым грунтам трудоемкость увеличивается примерно в 3 раза.

§ 3. ОТДЕЛОЧНЫЕ РАБОТЫ И СДАЧА ДОРОГИ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Отделочные работы заключаются в уборке остатков строительных материалов с дорожной полосы, отделке откосов насыпей и выемок, планировании дна резервов, обочин и оформлении бровки земляного полотна, покраске надолб и перил мостов. Перед сдачей дороги в эксплуатацию устанавливают дорожные (и путевые) знаки (на железных дорогах сигналы), километровые столбы, пикетные столбики начала и конца кривой и границ околотка. На автомобильных дорогах устанавливают знаки, предусмотренные правилами дорожного движения, на железных — уклоноуказатели, знаки о подаче свистка, сигнал «берегись поезда», а также указатели границ околотка. Закапываемую часть столбов покрывают антисептиком или обжигают, надземную окрашивают.

Строительная организация передает построенную дорогу лесозаготовительному предприятию по мере готовности отдельными, полностью законченными участками, удовлетворяющими требованиям технических условий и проекту. Строительная организация должна предъявлять следующую документацию: рабочие чертежи конструктивных элементов с нанесением на них произведенных изменений, журналы производства работ, в частности забивки свай, акты на скрытые работы, планы системы водоотводов, ведомость выполненных работ по противопучинным мероприятиям, ведомость постоянных реперов и акты геодезической разбивки сооружений, акты лабораторных испытаний грунтов и других материалов, применявшихся при сооружении дороги (крепежных, каменных и пр.), исполнительный продольный профиль, поперечные профили земляного полотна и дорожной одежды, а для железных дорог — верхнего строения пути.

Все устройства передают в натуре и до окончания приемки составляют акт, в котором указывают недоделки и сроки их ликвидации, а также дают оценку работы.

§ 4. ФИНАНСИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ И СМЕТЫ

Финансирование. Строительство лесовозных дорог производится в соответствии с планом развития отрасли. Источниками финансирования являются централизованные капитальные вложения, фонд развития производства и кредиты банка при строительстве за счет себестоимости продукции. Капитальными вложениями считаются средства, выделяемые из государственного бюджета, и ресурсы предприятий и организаций на строительство вновь и расширение действующих основных фондов народного хозяйства страны.

Эти средства сосредоточиваются в Стройбанке, под контролем которого оформляется выдача средств застройщикам и ведутся расчеты по их капитальным вложениям. Открывая каждому застройщику отдельный счет, банк учитывает на нем поступление средств и их расходование. В настоящее время капитальные вложения выделяются только на строительство крупных лесовозных дорог и грузосборочных магистралей, а также на первую очередь магистральных путей, строящихся одновременно с вновь создаваемым лесозаготовительным предприятием. Нарращивание длины лесовозных дорог для транспортного освоения той или иной части закрепленного лесного массива производится за счет отчислений от себестоимости производимой продукции (лесоматериалов). Вне зависимости от источников финансирования строительство осуществляется только в том случае, если объекты обеспечены проектами и сметами.

Сметы. Стоимость любого строительства складывается из сметной стоимости отдельных объектов и сооружений, работ и затрат, которые определяются расчетами по объемам работ или по другим данным технического или технорабочего проекта в соответствии с действующими сметными нормами, ценами, расценками и тарифами. Вся эта сумма в целом называется сводной сметой. Смета является частью проекта дороги и определяет размер денежных средств, необходимых для ее постройки, реконструкции или капитального ремонта. Смета является основным и неизменным документом на весь период строительства, на основании которого осуществляются капитальные вложения и финансирование строительства. В состав технического или технорабочего проекта дороги входит следующая сметная документация: сводная смета; объектные сметы и сметы на отдельные сооружения и виды работ, предусмотренные проектом; расчеты прочих затрат, обычно исчисляемые в процентах от стоимости строительства в соответствии с установленными нормативами и лимитами; калькуляции стоимости материалов и транспортных расходов, а также дополнительные единичные расценки, отсутствующие в сборниках единичных расценок (ЕЕР) и сметных нормах; каталог единичных расценок, привязанных к местным условиям с учетом данных проекта организации работ. Сметы составляют на основании установленного в проекте физического объема строительно-монтажных работ, поэтому до составления смет должны быть определены объемы всех видов работ, потребности в строительных материалах, места и условия их получения и расстояния доставки.

Основой для составления смет при установленных объемах работ являются сметные нормы. Они представляют собой систему показателей затрат труда, эксплуатации машин, расхода материалов, конструкций и изделий на принятый измеритель (по конструктивным элементам и видам работ). Сметные нормы изложены в 22 главах IV части СНиП. Используя указанные сметные нормы, составляют единичные расценки на тот или иной вид работ, привязанные к конкретному территориальному району. При разработке смет на строительство автомобильных и железных дорог используются главы 10, 14, 17, 23, 43, 45, 49 и 63 четвертой части СНиП. Современные сметные нормы отражают средний технический уровень строительного производства. Они предусматривают единые условия и методы работы для различных строек, создающих одинаковую строительную продукцию. Этот важный принцип заложен в основу сметного планирования. Сметные нормы являются обязательными для всех организаций страны при составлении единичных расценок. В них запрещается вводить какие-либо поправки для приведения их в лучшее соответствие с проектом производства работ. Если порядок и технология работ, заложенная в проекте, отличаются от технологии, предусмотренной сметными нормами, следует разработать индивидуальные единичные расценки.

Каждая глава сметных норм содержит техническую часть, в которой приводятся пояснения, правила применения сметных норм и исчисления объемов работ. Каждая таблица сопровождается составом работ. Так, в наиболее часто используемой главе 45 IV части СНиП «Автомобильные дороги» в технической части указано, что в данных нормах предусмотрены

работы по сооружению новых и реконструкции существующих автомобильных дорог общего пользования и лесовозных дорог. Там же указано, что устройство грунтовых дорог и дорог, улучшенных минеральными добавками, нормируется по главе СНиП IV-63 «Временные здания и сооружения». В технической части главы указано, что доставка к месту работ бетона, асфальтобетона и каменных материалов нормами не учтена, а доставка битума и битумной эмульсии автогудронаторами к месту работы учтена на среднее расстояние до 10 км. Доставка воды учтена нормами на среднее расстояние до 5 км и т. д.

В заголовке каждой таблицы сметных норм подробно указан состав работы. Таблицы сметных норм содержат: нормы затрат труда в человеко-днях и заработную плату в рублях; нормы затрат основных строительных машин в машино-сменах; затраты по эксплуатации второстепенных машин в рублях; нормы расхода основных материалов, изделий и конструкций в соответствующих единицах измерения (т, м³, шт. и т. п.), второстепенных материалов — в рублях.

Сметные нормы разработаны при условии проведения работ в летнее время, дополнительные затраты на работы в зимнее время учитывают, применяя специальные нормы (ВНДЗ—69), предусматривающие удорожание строительства в процентах от стоимости строительно-монтажных работ. При определении сметной стоимости строительно-монтажных работ необходимо установить стоимость единицы конструктивного элемента или вида соответствующих строительных работ (1 м³ разработки грунта, 1 м³ основания или покрытия и др.), а также общий объем этих работ.

Наиболее сложно бывает установить единичную стоимость, которая определяется суммированием элементов затрат на единицу строительной продукции, состоящих из стоимости материальных ресурсов, затрат на эксплуатацию строительных машин и затрат на основную заработную плату. Сметный документ, в котором устанавливается в денежном выражении сумма затрат по всем этим элементам на конечную единицу строительной продукции называется единичной расценкой. Составление единичных расценок для каждой стройки в отдельности даже при наличии сметных норм является трудоемкой работой. Одним из мероприятий по совершенствованию ценообразования и сокращению проектно-сметной документации явилось создание в стране единых районных единичных расценок на строительные работы (ЕРЕР) и выпуск их сборников. Они обязательны для всех строительных организаций, расположенных в районе действия ЕРЕР, вне зависимости от ведомственной подчиненности. Накладные расходы и плановые накопления в них не включаются и определяются отдельно, в сметах. Второй особенностью сборников является то, что стоимость всех материалов, кроме местных, определена по ценнику № 1 средних районных сметных цен на материалы по цене франко-объект.

Стоимость местных материалов (песка, гравия, камня, щебня, кирпича, цементобетонной смеси и др.) в единичных расценках ЕРЕР 1969 г. не учтена. Поэтому стоимость этих материалов приходится учитывать дополнительно при привязке единичных расценок к местным условиям.

В каждой единичной расценке сборника ЕРЕР приведены номер расценки, наименование конструкций и видов работ, ссылка на таблицу СНиП, на основании которой составлялась расценка, масса материалов в тоннах (для определения объема перевозок и планирования транспортной работы) и затраты труда в человеко-часах на единицу измерения данной расценки. Особо (над таблицей) выделяется потребность в местных материалах, стоимость которых надо дополнительно оценить. При линейном строительстве для привязки ЕРЕР к конкретным условиям должны дополнительно составляться калькуляции транспортных расходов и стоимости материалов, полуфабрикатов и изделий.

Прейскуранты. Для определения сметной стоимости типовых объектов и сооружений пользуются преЙскурантами, в которых учитываются все работы и затраты, предусмотренные типовыми проектами, работы, связанные с привязкой сооружений к условиям строительства в данном районе,

накладные расходы и плановые накопления, а также затраты, связанные с производством работ в зимнее время, расходы на постройку временных сооружений (если это необходимо) и на непредвиденные работы.

Подробные материалы о составлении сметно-финансовых расчетов и смет по формам № 2, 3 и 4 приведены в учебных пособиях [72] и [75].

Прямые и накладные расходы. Сметная стоимость строительства дороги или другого сооружения состоит из суммы прямых затрат, накладных расходов и плановых накоплений. Основными являются прямые расходы на строительно-монтажные работы. В них входят основная заработная плата рабочих, затраты на материалы и строительные конструкции (включая их транспортировку), а также затраты на эксплуатацию строительных машин. Накладные расходы представляют собой затраты на обслуживание производственного процесса, содержание аппарата управления и другие организационные мероприятия. В сметах они учитываются в процентах от стоимости прямых расходов обычно в размере от 15 до 20 %. Для отдельных предприятий и районов устанавливают нормы накладных расходов, значительно отличающиеся от средних по министерству. Плановые накопления представляют собой планируемую прибыль строительных организаций, которая с 1969 г. установлена 6 % суммы прямых затрат и накладных расходов.

Глава 15

ВОЗВЕДЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И СТРОИТЕЛЬСТВО ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 1. ВЫБОР МАШИН ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Способ ведения работ и выбор средств механизации зависят от типа земляного полотна (насыпь, выемка, полувыемка и пр.), степени сосредоточенности объемов работ, трудности разработки грунтов, а также объема и характера транспортных работ по перемещению грунтов. При создании дорожных отрядов в первую очередь устанавливают тип и мощность ведущих машин для выполнения основного объема земляных работ, а затем подбирают вспомогательные машины для остальных работ в специализированном потоке или технологическом процессе (при сосредоточенных работах). При выборе средств механизации проводят сравнительные расчеты для конкурентоспособных вариантов по формулам, приведенным в § 1 главы 14. При выборе машин важное значение имеют вид и состояние разрабатываемого грунта. По трудности разработки грунты классифицируют по группам. К I группе относят легко разрабатываемые грунты, к II — средней трудности разработки, к III — тяжелые и к IV — особо тяжелые для разработки. При разработке экскаваторами предварительно разрыхленных грунтов их относят на одну группу ниже. Грунты III и IV групп необходимо послойно рыхлить для более эффективного использования машин. В полевых условиях группа грунтов может быть

определена ударником Союздорнии по числу ударов, требующихся для погружения в грунт его наконечника:

Группа грунтов	I	II	III	IV
Число ударов	1—4	5—8	9—15	16—35

Объем и глубина рыхления должны быть увязаны с работой основных машин во избежание пересыхания грунтов в солнечную погоду и их переувлажнения в дождливую. При выборе типа землеройных машин кроме технических факторов важную роль играют экономические показатели.

Для устройства насыпей из боковых резервов целесообразно применять бульдозеры, но при дальности транспортирования грунта до 70 м, а для насыпей, возводимых из грунта смежных выемок, — универсальные бульдозеры при дальности перемещения до 100 м. Для тех же условий, но при перемещении грунта на расстояние от 100 до 1000 м наиболее выгодны цепные скреперы, при расстоянии от 300 до 5000 м — скреперы самоходные, свыше 5000 м — экскаваторы с транспортными средствами. Более детальные рекомендации с учетом годовых объемов работ по возведению земляного полотна приведены в СНиП III.40—78 [90].

В состав комплекта машин для возведения земляного полотна, кроме ведущих машин, следует включать рыхлители, уплотняющие машины, планировщики и автогрейдеры для профилирования насыпей откосов и дна резервов. Комплектование дорожно-строительного отряда зависит не только от принятой технологии строительства, вида грунтов и других факторов, но и от скорости потока, которая чаще всего должна быть такой, чтобы коэффициент использования ведущей машины или самой дорогой машины по стоимости машино-смены был бы возможно ближе к единице. Если ведущая машина выполняет незначительный объем строительных операций или последние чередуются с операциями, выполняемыми другими механизмами, коэффициенты использования вспомогательных машин существенно сказываются на эффективности всего комплекта механизмов. В таком случае целесообразно скорость потока назначать такой, при которой коэффициент использования ведущей машины будет меньше единицы, однако у других машин, входящих в отряд, он должен быть высоким [71].

§ 2. ПОДГОТОВКА ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ТРЕБОВАНИЯ К ГРУНТАМ

После снятия растительного слоя, расчистки и корчевки приступают к разбивке земляного полотна от постоянных знаков, установленных при выносе проекта дороги на местность. При этом должны быть обозначены контуры насыпей и выемок, закреплены высотные отметки, линии уклонов поверхности отко-

сов. Высотные отметки должны быть продублированы за пределами полосы проведения работ. Расстояние от оси дороги до края откоса насыпи равно $A = B/2 + mH$, где m — заложение откоса; B — ширина земляного полотна поверху; H — высота насыпи. Расстояние от оси трассы до линии пересечения откоса с поверхностью земли на косогорах зависит от уклона поверх-

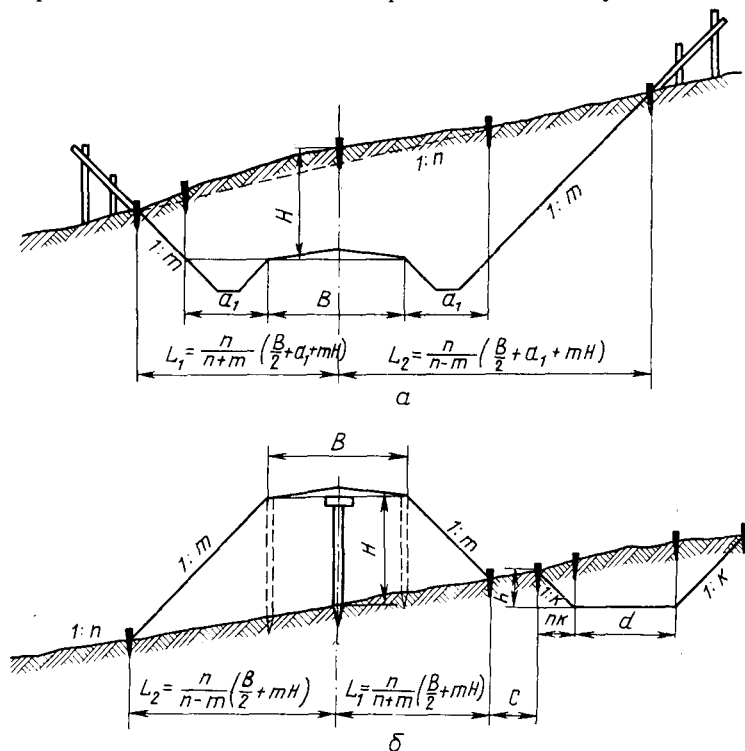


Рис. 15.1. Схемы разбивки земляных работ на косогорах:
а — выемки; б — насыпи

ности земли, характеризуемого показателем n . Схема разбивки земляных работ на косогоре приводится на рис. 15.1, где приведены формулы для определения разбивочных расстояний. Откосные лекала следует устанавливать после возведения насыпи на 0,5—1,0 м. Кроме того, для устойчивости откосов нормы СНиП III-40—78 требуют, чтобы ширина отсыпки на 0,3—0,5 м превышала ширину проектного очертания насыпи для ее лучшего уплотнения в краевых частях. Излишний грунт убирают при планировке откосов. Коляями ограждают не только основное земляное полотно, но и края откосов резервов и оси водоотводных и нагорных канав. В последнем случае на кольях должны быть указаны глубина канав в данной точке. При уст-

ройстве выемок экскаватором размечают длину и ширину каждой проходки. Поверхность основания насыпи должна быть спланирована. При недренирующих грунтах поверхности основания земляного полотна нужно придавать двухскатный профиль. Не допускается наличие в недренирующем основании незасыпанных ям, траншей, котлованов и местных понижений, в которых может застаиваться вода.

Для возведения земляного полотна пригодны не все грунты. Песок мало изменяет свои свойства с изменением влажности и пригоден как в насыпях, так и в дополнительных слоях дорожной одежды. Супесь, суглинок и тяжелые суглинки являются устойчивыми грунтами, пригодными для устройства всех форм земляного полотна. Супесь мелкая и пылеватая и суглинок пылеватый малоприспособны для сооружения земляного полотна. Глина ограниченно годна — ее можно применять для возведения высоких насыпей в сухих местах. Без ограничений применяются камень, щебенистые и гравелистые грунты, непывеватые пески. Существенное влияние как на возможность использования грунтов, так и на эффективность работы машин оказывает влажность. При относительной влажности $W_0 < 0,4$ грунты сильно пылят и плохо уплотняются, их разрабатывать трудно, требуется рыхление; при $W_0 = 0,5$ грунты разрабатываются легче, без рыхления, пылят слабее, но уплотняются недостаточно хорошо; при $W_0 = 0,58 \div 0,62$, т. е. близкой или равной оптимальной, грунты разрабатываются хорошо, не пылят, очень хорошо уплотняются; при $W_0 = 0,7$ грунты разрабатываются хорошо, но налипают на рабочие органы и плохо уплотняются; при $W_0 > 0,7 - 0,75$ грунты нельзя применять для возведения насыпей.

Разнородные грунты при возведении насыпи отсыпают горизонтальными слоями, так как при наклонных слоях пласты могут сползти. Если на слой недренирующего грунта отсыпается дренирующий, то на поверхности первого должен быть создан выпуклый профиль с уклонами 40 ‰. Недопустима поочередная отсыпка разнородных по водопроницаемости грунтов и создание в насыпи линз, в которых может застаиваться вода, образуя грязевой мешок.

§ 3. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Земляные работы состоят из четырех основных рабочих процессов: 1) разработки и выемки грунта; 2) транспортирования его к месту укладки; 3) укладки грунта в насыпь; 4) отделки сооружения. Первые три процесса связаны между собой как технологически, так и во времени, а четвертый не имеет такой связи и его можно выполнять позднее. Для каждого процесса могут быть использованы специализированные машины, но в то

же время все процессы могут выполняться одной машиной. Примером разделения процессов является работа экскаватора с самосвалами, примером совмещения — работа скреперов. Основные процессы (включая уплотнение) в ряде случаев сопровождаются вспомогательными: рыхлением грунта, водопонижением и др. Как при возведении насыпей, так и при разработке выемок применяют продольный способ (грунт транспортируется в направлении, параллельном оси дороги) и поперечный (грунт направляется под прямым углом к оси дороги). При продольном способе необходимо специальное транспортное оборудование.

Насыпи возводят горизонтальными или слабонаклоненными (до 40 %) слоями, отсыпаемыми поперечным или продольным способом. При поперечном способе насыпь отсыпают из резервов на всю ширину и длину, применяя бульдозеры, грейдеры, скреперы, а на открытых местах грейдер-элеваторы. Продольный способ применяют при устройстве насыпи из соседней выемки и грунтовых карьеров, а также при отсыпке конусов и при засыпке оврагов и труб. Применяемые для этого способы механизмы: скреперы, экскаваторы с автомобильными или тракторными тележками, реже бульдозеры. Следует указать, что рядом расположенные выемки и насыпи можно устраивать как поперечным, так и продольным способом. Обозначим: b — стоимость разработки и погрузки в транспортное средство 1 м^3 грунта; a_1 — стоимость поперечного перемещения 1 м^3 грунта на 1 м расстояния из резерва в насыпь или из выемки в кавальер; a_2 — стоимость перевозки 1 м^3 грунта на 1 м при продольном перемещении из выемки в насыпь; l_1 — расстояние перемещения грунта из выемки в кавальер; l_2 — то же из резерва в насыпь; $l_{пр}$ — расстояние продольного перемещения грунта из выемки в насыпь. Равенство стоимости работ как при поперечном, так и при продольном перемещении грунтов будет при условии $(b + a_1 l_1) + (b + a_1 l_2) = b + a_2 l_{пр}$. Если сумма в левой части будет меньше, чем в правой, то выгоднее применять как для выемки, так и для насыпи поперечный способ перемещения грунтов, в противном случае — продольный. Предельное расстояние продольного перемещения грунтов будет равно $l_{пр} = [a_1 (l_1 + l_2) + b] : a_2$.

§ 4. ВОЗВЕДЕНИЕ НАСЫПЕЙ И РАЗРАБОТКА ВЫЕМОК БУЛЬДОЗЕРАМИ

Возведение насыпей бульдозерами большей частью выполняют из боковых резервов при поперечном перемещении грунта. Насыпи высотой до 1,5 м экономически целесообразно устраивать бульдозерами мощностью 75—110 кВт. При надвижке грунта со смежного косогора высоту насыпи можно доводить до 2 м. При устройстве насыпи большей высоты ее верхнюю часть отсыпают скреперами или экскаваторами.

При разработке грунта нож отвала заглубляется в грунт с одновременным перемещением бульдозера вперед. После того как грунт достигнет верхней кромки отвала, заглубление последнего прекращается и призма волочения объемом 3—6 м³ передвигается к месту укладки грунта. Здесь отвал поднимают вверх, если грунт укладывают кучей, или приподнимают на толщину слоя, если необходимо грунт разровнять. В зависимости от условий работы используют три основные схемы срезки и набора грунта (рис. 15.2): прямоугольную для получения стружки равномерной величины, клиновидную с постепенным уменьшением толщины стружки и гребенчатую. Прямоугольную схему применяют для всех грунтов при движении бульдозера под уклон свыше 50—100 %, срезке грунта с косогоров и при разработке выемки. В этом случае путь и время зарезания сокращаются, а производительность повышается. Клинovidную схему применяют на легких и несколько влажных грунтах, гребенчатую — преимущественно при разработке тяжелых грунтов, когда отвал заглубляют в грунт до заметной перегрузки двигателя и, повторяя заглубление и подъем 2—3 раза, обеспечивают полный набор грунта перед отвалом почти при 100 %-ном использовании мощности. Эта схема наиболее эффективна, но большое количество переключений рычагов управления утомляет бульдозериста, поэтому следует чередовать виды работ и применение различных схем.

При поперечной схеме работы тяговая мощность бульдозеров используется полностью только при наборе грунта. Поэтому более рационально перемещать грунт не после каждого зарезания, а через одно, т. е. после первого зарезания оставить грунт на бровке, затем вернуть бульдозер в резерв, сделать второе зарезание и переместить грунт вместе с оставленным ранее на бровке. Разработку грунта в резервах следует вести траншейным способом, т. е. перемещать грунт в отдельной полосе — траншее, являющейся результатом нескольких зарезаний. Стенки траншеи препятствуют потере грунта в результате ссыпания в стороны. Новую параллельную траншею закладывают, оставляя между траншеями перемычки 0,8—1 м. После разработки грунта во всех траншеях стенки-перемычки, в которых грунт значительно подсох, срезают и перемещают в верхнюю часть насыпи. Насыпь из резервов можно возводить по различным технологическим схемам. Например, при невысоких насыпях работу выполняют на двух захватках: на первой грунт из резерва отсыпают в насыпь и разравнивают, на второй уплотняют катками на пневматиках. При значительных объемах работ целесообразно использовать несколько бульдозеров: одни только для перемещения грунта, другие для его разравнивания.

На рис. 15.3 приведена схема возведения земляного полотна бульдозерами в комплексе с разравнивающими, уплотняющими и планирующими машинами. На участке А снимают растительный

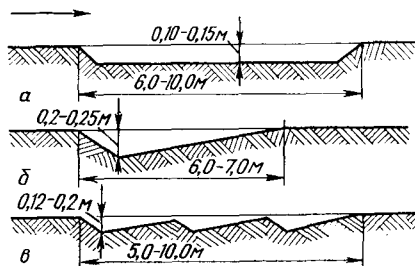
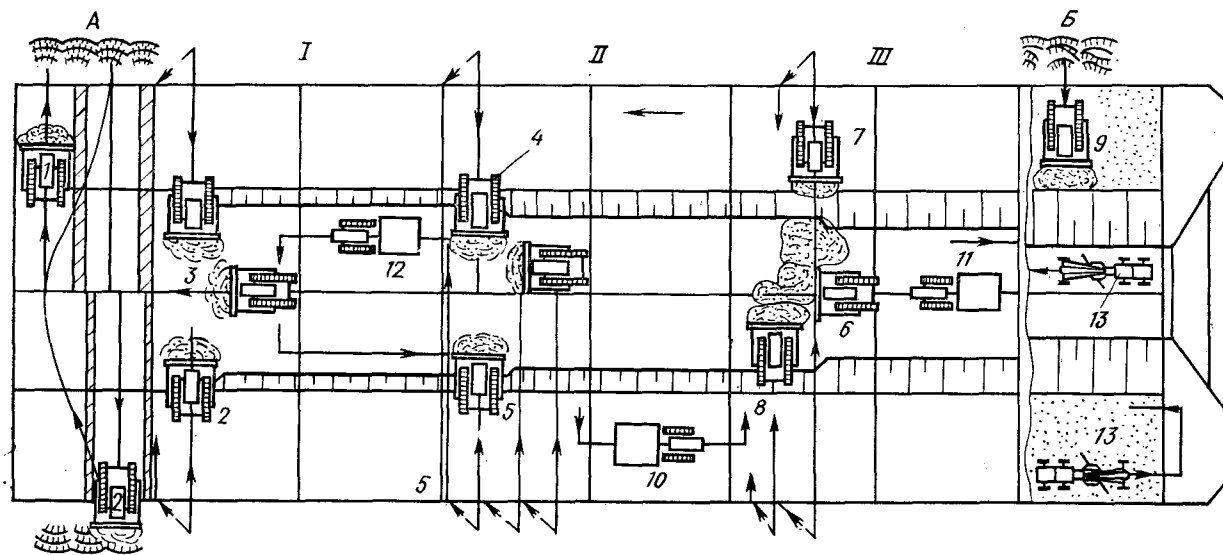


Рис. 15.2. Схемы срезания грунта бульдозером:
а — прямоугольная; *б* — клиновидная; *в* — гребенчатая

Рис. 15.3. Технологическая схема возведения насыпи бульдозерами в комплексе с разравнивающими, уплотняющими и планирующими машинами



слой, на захватках I, II и III разрабатывают грунт в резерве и перемещают в насыпь с разравниванием и уплотнением, на участке Б рекультивируют откосы и резервы слоем растительного грунта и планируют обочины. Цифрами 1—9 обозначены бульдозеры, 10, 11 и 12 — катки на пневматических шинах, 13 — автогрейдер. На каждой из захваток работают по одному звену. Первое звено отсыпает и уплотняет первый слой насыпи, второе — второй слой и третье — последний, верхний слой. Планировочные работы выполняет автогрейдер 13 с бульдозером 9, который также выполняет рекультивацию резерва.

Выпускаемый в настоящее время универсальный бульдозерный отвал ЛД-10 (рис. 15.4), являющийся навесным оборудованием агрегата ЛД-4 на базе трактора Т-130, может выполнять целый комплекс различных работ: расчистку дорожной полосы от мелких пней, кустарника и растительного слоя, возведение насыпей из боковых резервов, разработку косогоров, устройство и очистку дорожных канав, а также различные планировочные работы. Продольно-круговая схема работы при возведении насыпей повышает производительность агрегата за счет уменьшения холостых ходов, уменьшает ширину резерва и тем самым объем работ по корчевке. При работе по этой схеме грунт разрабатывают при косом расположении отвала так же, как при работе автогрейдера или прицепного грейдера (при первых проходах одна гусеница движется по неразработанному грунту).

Технологическая схема возведения насыпи круговыми проходами универсальными бульдозерами приведена на рис. 15.4, II. После установки колышков, фиксирующих край будущей подошвы насыпи, вдоль них делают первый проход с тем, чтобы четко обозначить границу подошвы. Последующими проходами (двумя-тремя при ширине резерва 6—7 м) срезают растительный слой, отодвигая его в сторону от дороги за пределы будущего резерва. После этого продольными проходами осуществляют зарезание. Ширина срезаемого слоя должна быть наибольшей, а толщина регулируется по нагрузке двигателя. Срезаемые валики перемещают на земляное полотно и укладывают вприжим, начиная от середины полотна. По достижении проектной высоты насыпи за счет регулирования толщины стружки создается продольный уклон дна резерва.

Для надежного продольного водоотвода на дне резерва концом отвала устраивают канаву треугольного сечения. Вынутый из нее грунт перемещают в насыпь или же за внешнюю бровку резерва. В сухое время года грунт перемещают в насыпь после двух-четырех проходов на зарезание, при повышенной влажности — после каждого прохода. При пересеченной местности происходит чередование выемок и насыпей. В этом случае насыпи могут возводиться бульдозером в сочетании с разработкой выемки, но расстояние продольного перемещения грунта при этом не должно превышать 100 м. Дело в том, что производитель-

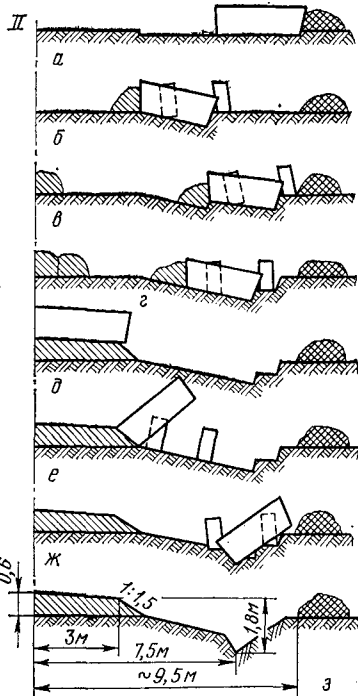
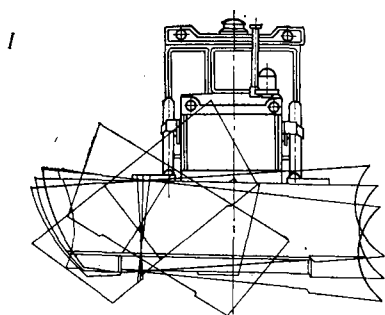


Рис. 15.4. Бульдозерный отвал ЛД-10:

I — возможные положения отвала; *II* — возведение насыпи бульдозерами с отвалами типа ЛД-10 по продольно-круговой технологической схеме: *а* — срезка растительного слоя; *б* и *в* — разработка первой и второй полосы; *г* — углубление второй полосы; *д* и *е* — планировка насыпи и откосов; *ж* — устройство водоотвода; *з* — готовое полотно

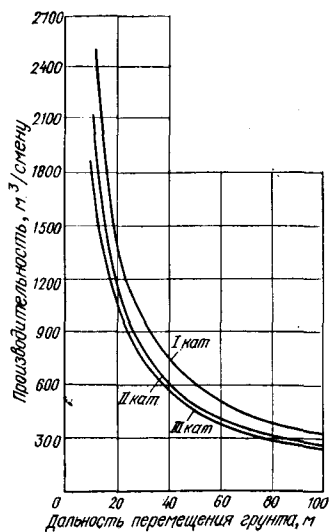


Рис. 15.5. Изменение производительности бульдозеров (мощность 70—80 кВт) с увеличением дальности перемещения грунта: *I*, *II* и *III* — группы грунта по трудности разработки

ность бульдозеров быстро снижается с увеличением расстояния перемещения (рис. 15.5). Выемку начинают разрабатывать с участков наиболее близких к возводимой насыпи. Как правило, разработка выполняется ярусами. Ярусный способ заключается в разработке грунтов слоями (высотой около 0,8 м) на полную площадь выемки или карьера. Каждый ярус на всю ширину и длину выемки разрабатывают продольными траншеями с оставлением между ними стенки шириной до 1 м (рис. 15.6). Эти стенки препятствуют потере грунта при его перемещении в траншеях (ярусно-траншейный способ). Тем не менее при дли-

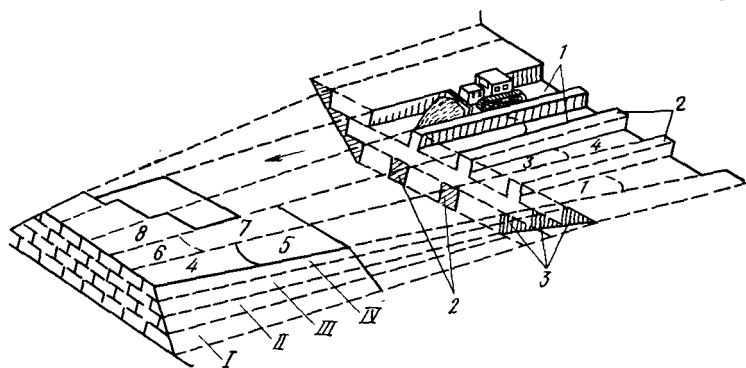


Рис. 15.6. Разработка выемки бульдозером при продольном перемещении грунта в насыпь:

I, II, III, IV — слои грунта; 1 — траншеи; 2 — стенки траншей; 3 — полки откосов; 4—8 — последовательность укладки слоев грунта в насыпь

тельном перемещении часть грунта теряется, поэтому целесообразно путь делить на отрезки длиной 25—40 м и сначала накапливать грунт в конце первого участка, затем в конце второго и потом перемещать на третий. В этом случае полнее используется мощность трактора, так как на втором и третьем участках будут перемещаться большие объемы грунта. По мере удаления участков зарезания от насыпи траншею надо придавать уклон в сторону насыпи до 80—120 ‰, что обеспечивает увеличение производительности бульдозера:

Уклон, ‰	0	20	30	50	100	150	200
Производительность, %	100	107	111	118	136	154	172

При уклонах свыше 200 ‰ работы выполнять опасно.

Перемещаемый из выемки грунт укладывают в насыпь послойно с толщиной слоев, соответствующей возможностям имеющихся уплотняющих машин. Слои наращивают по длине и ширине насыпи постепенным и медленным подъемом отвала бульдозера. Но иногда послойная укладка грунта в насыпь невозможна (при переходе через болота и в глубоких оврагах),

в этом случае для устройства насыпи применяют лобовой способ отсыпки ее с головы. При этом качество насыпи ниже, так как уплотнить можно только верхнюю часть насыпи и трудно полностью уложить разнородные грунты.

Устройство выемок может производиться как при продольном перемещении грунта в насыпь, так и при поперечном перемещении его в кавальеры или другие места. Такой способ применяют при неглубоких выемках или тогда, когда грунт, получаемый при разработке выемок, не пригоден для отсыпки насыпей.

При прокладке дорог на косогорах следует использовать бульдозеры с поворотным отвалом (имеющим цилиндр перекоса) и осуществлять зарезание, поставив отвал под углом к направлению движения.

§ 5. ВОЗВЕДЕНИЕ НАСЫПЕЙ ГРЕЙДЕРАМИ

Автогрейдеры и прицепные грейдеры широко используют при содержании и ремонте автомобильных дорог, но их можно успешно применять и на строительстве дорог как для профилирования дорожного полотна, так и для возведения насыпей высотой до 0,70—0,75 м с перемещением грунта из боковых резервов. При большей высоте насыпи число проходов увеличивается и применение грейдеров становится невыгодным.

Профилированием называется вырезка грунта из боковых канав, перемещение его к середине проезжей части и разравнивание перемещенного грунта с образованием выпуклого поперечного профиля. При профилировании грейдер последовательно проходит с обеих сторон земляного полотна, выполняя один-два прохода с зарезанием, затем проходы по перемещению и разравниванию грунта. На рис. 15.7 показана 18-проходная схема профилирования дороги. Зарезание выполняется во время 1, 3, 6, 10 и 12-го проходов. Отделку продольных водоотводных канав при последних проходах выполняют откосниками.

Для уменьшения числа проходов грейдера при перемещении грунта используют удлинитель отвала. Если проходы зарезания и перемещения выполняет один и тот же грейдер, удлинитель устанавливают на один конец отвала; если работают одновременно два грейдера, то на отвале грейдера, работающего только на перемещении грунта, удлинитель ставят с обеих сторон ножа.

Возведение насыпей грейдерами выполняется по той же схеме, что и работы по профилировке, но число проходов резко увеличивают. При насыпях высотой 0,75—0,8 м общее число проходов автогрейдеров с отвалом длиной 3,5—3,6 м и мощностью двигателя 50—75 кВт составляет 360—400. Число проходов, необходимых для резания грунта, равно $n_p = F_p K_n / f$, где F_p — площадь резерва, м²; K_n — коэффициент перекрытия про-

1, 3, 6, 10, 12 — зарезание грунта; 2, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14 — перемещение грунта; 15, 16, 18 — разравнивание грунта; 17 — отделка канав

Резание грунтов при профилировании выполняется на II передаче со скоростью 2,5—3,5 км/ч, при возведении насыпи тяжелыми грейдерами 2,2 км/ч, средними 1,5 км/ч.

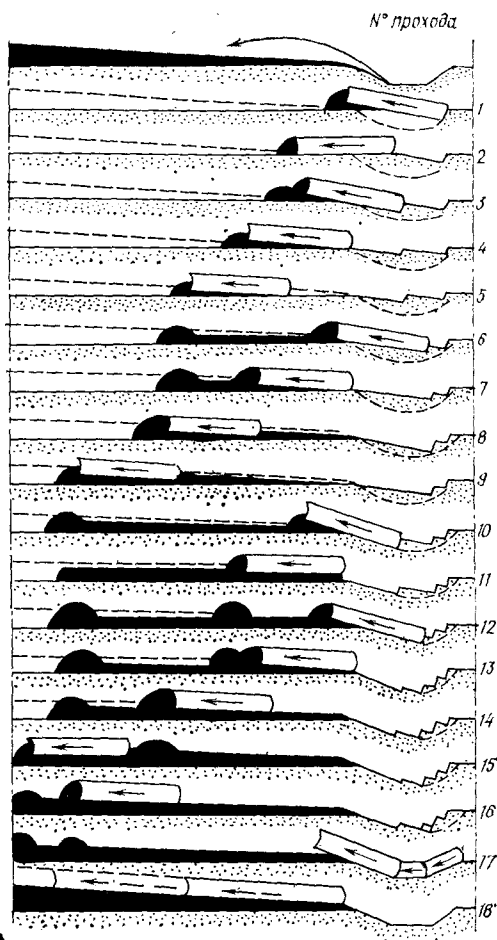
Необходимое число проходов для перемещения валов грунта после зарезания равно

$$n_{\Pi} = n_{\text{D}} K'_{\Pi} L_{\Pi} / l_{\Pi},$$

где K'_n — коэффициент перекрытия проходов при перемещении грунтов, равный 1,15; $L_{\text{ц}}$ — расстояние от центра тяжести половины сечения насыпи до центра тяжести поперечного сечения резерва, м; l_n — расстояние поперечного перемещения за один проход автогрейдера, м.

Перемещение валов грунта грейдеры выполняют на III передаче со скоростью 1—2 м/с. При использовании автогрейдеров наиболее целесообразная длина захватки 400—500 м, на переувлажненных грунтах 600—700 м.

Профилирование и возведение земляного полотна выполняют отрядом из нескольких автогрейдеров или прицепных грейдеров, в состав которого входят также бульдозер, рыхлитель и уплотняющие средства. Разрабатываемый грейдерами грунт укладывают в насыпь следующими способами:



послойно с разравниванием, т. е. грунт из резерва укладывают в насыпь слоями толщиной 0,15—0,2 м; этот способ применяют при разработке грунтов повышенной влажности;

в полуприжим, т. е. неплотно прилегающими друг к другу валиками, высота которых после планировки гребней достигает 0,3 м;

в прижим, т. е. увеличенными по высоте валиками, высота которых после планировки гребней достигает 0,4—0,5 м.

Два последних способа используют при влажности разрабатываемых грунтов, близкой к оптимальной.

Для повышения производительности автогрейдеров плотные грунты II группы и все грунты III группы следует перед разработкой рыхлить, зарезание грунта выполнять тяжелыми автогрейдерами, а перемещение грунта средними, отвал автогрейдера оборудовать удлинителями (1,5—2 м), а высоту наращивать уширителями (0,1—0,15 м).

§ 6. РАЗРАБОТКА ВЫЕМОК И ВОЗВЕДЕНИЕ НАСЫПЕЙ СКРЕПЕРАМИ

Использование скреперов на земляных работах обеспечивает комплексное выполнение технологического процесса, так как они разрабатывают грунт в карьере или выемке, а затем транспортируют и разгружают его слоем заданной толщины. Кроме того, при регулировании движения можно с помощью скреперов значительно уплотнить грунт. В лесных условиях они не всегда применимы, особенно при заболоченной территории. Однако есть немало участков, особенно между пунктом примыкания и лесным массивом, где скреперы можно эффективно использовать, особенно группами по 5—6 шт. с выделением на группу одного трактора-толкача.

Скреперами можно разрабатывать грунты до III группы включительно и перемещать их на значительные расстояния. У прицепных скреперов вместимостью до 3 м³ предельная дальность перемещения 300 м, вместимостью 6 м³ 500—600 м, 10 м³ 750—800 м и 15 м³ 1000—1500 м. У полуприцепных скреперов с односкатными тягачами предельная дальность транспортирования грунта в 2,5 раза больше.

Лучше всего скреперы работают в плотных грунтах влажностью 8—12 %. При большей влажности грунт налипает на стенки и заслонки ковша, что приводит к дополнительным простоям и сокращению полезной вместимости ковша. При влажности грунта свыше 20—25 % скреперы работать не могут. Резко ухудшается работа скреперов и на плотных сухих и тяжелых грунтах: толщина стружки сокращается до 3—5 см, что увеличивает путь неполнения и тем самым снижает выработку. В этих случаях необходимо прибегать к использованию толкачей и предварительному рыхлению грунта. Эти мероприятия ре-

комендуется применять, если путь заполнения у скреперов вместимостью 3 м³ превышает 15 м, вместимостью 8 м³ 22 м и 10—12 м³ 30 м. В переувлажненных и заболоченных грунтах колеса скрепера вязнут, уменьшается сцепление гусениц или колес тягача и тяговые усилия становятся недостаточными для проталкивания стружки грунта в ковш. Во время дождя работа скреперов должна прекращаться. На промерзших грунтах они неприменимы. Наиболее производительны скрепер работает на зарезании грунта при движении под уклон 3—8° (например, при разработке выемок). При более крутом уклоне частицы грунта осыпаются перед ножами и плохо поступают в ковш. Глубина заглубления ковша регулируется визуально. При разработке растительных грунтов, легких и лёссовидных суглинков срезается стружка переменной толщины, более толстая в начале и более тонкая к концу участка набора грунта.

Возведение земляного полотна с использованием скреперов выполняется комплектом машин из двух-пяти скреперов, автогрейдера, одного-двух бульдозеров, рыхлителя и катка. В зависимости от высоты насыпи, вида и влажности грунтов, рельефа местности используют различные технологические схемы движения скреперов (рис. 15.8): по эллипсу, по восьмерке, зигзагом, по спирали. Эллиптическую схему применяют при невысоких насыпях, если резерв расположен с одной стороны насыпи или находится у одного ее конца, а также при разработке длинной выемки в две насыпи. Схема восьмеркой применяется при разработке коротких выемок в две насыпи и наличии резервов с двух концов насыпи, а также при значительной высоте насыпи. Зигзагообразная схема применяется на длинных участках (более 200—300 м). При разработке двусторонних резервов используют спиральную схему. Наибольшее распространение получила сквозная эллиптическая схема движения, так как на каждый цикл приходится только один поворот. Скреперы могут разворачиваться на насыпях шириной 8,0—8,5 м. Расстояния между въездами и съездами определяются протяженностью пути скрепера за цикл, который состоит из заполнения ковша грунтом, рабочего хода, разгрузки и холостого хода:

$$T_{\text{ц}} = l_{\text{д}}/v_{\text{I}} + l_{\text{р. х}}/v_{\text{II-III}} + l_{\text{р}}/v_{\text{I-III}} + l_{\text{х. х}}/v_{\text{II-IV}} + 2t_{\text{пов}} + t_{\text{п. п}}, \quad (15.1)$$

где $l_{\text{д}}$, $l_{\text{р. х}}$, $l_{\text{р}}$, $l_{\text{х. х}}$ — длина участков заполнения ковша грунтом, рабочего хода, разгрузки и холостого хода, м; $v_{\text{I-IV}}$ — скорости движения скрепера с соответствующими передачами коробки; $t_{\text{пов}}$ и $t_{\text{п. п}}$ — время на повороты скрепера и на переключение передач.

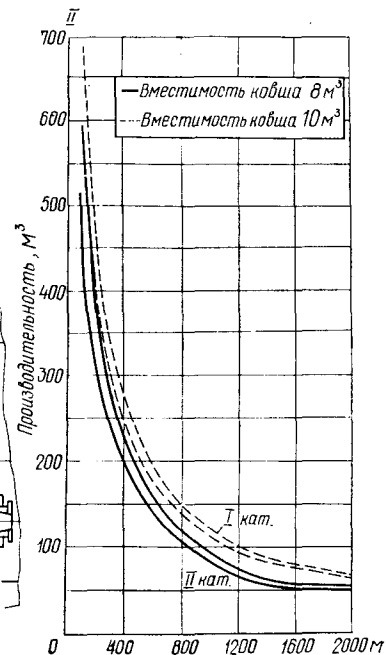
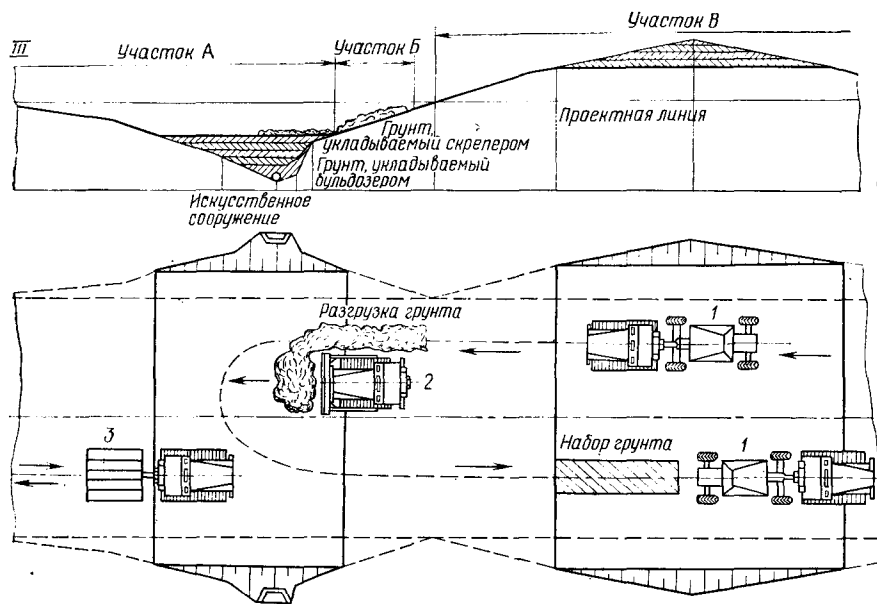
На рис. 15.8, II приведены графики производительности сцепных скреперов.

Путь заполнения обычно составляет 10—35 м, его определяют по формуле

$$l_3 = qK_{\text{н}}K_{\text{п}}K_{\text{нп}}/bhK_{\text{р}},$$

Рис. 15.8. Работа скреперов:

I — технологические схемы движения скреперов: *a* — по эллипсу; *б* — по восьмерке; *в* — зигзагом; *г* — по спирали; *H* — набор грунта; *P* — разгрузка грунта; *II* — схема работы скреперов по перемещению грунта из выемки или карьера в насыпь; *III* — производительность прицепных скреперов при грунтах *I* и *II* групп



где q — вместимость ковша скрепера, м^3 ; K_n — коэффициент наполнения ковша, равный 0,80—1,25 в зависимости от механических свойств и состояния грунта; K_n — коэффициент, учитывающий потери грунта (1,3); $K_{\text{нп}}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность толщины срезаемой стружки (0,7); b — ширина резания; h — глубина резания; K_p — коэффициент разрыхления грунта.

Рабочий цикл работы скрепера начинается с набора грунта. В этом случае тягач переключается на I передачу, ковш скрепера опускается и заслонка поднимается. Под действием силы тяги и собственной массы ковш врежется в грунт. После заполнения ковша его постепенно поднимают, закрывают заслонку и на II передаче транспортируют грунт к месту выгрузки. Толщина разгружаемого слоя составляет 20—60 см и регулируется подъемом ковша. Отсыпанный скрепером грунт разравнивают бульдозером, послойно уплотняют, если нужно, с предварительным увлажнением. Путь разгрузки составляет от 15 до 40 м. Во время разгрузки движение производится на I или II передаче. После выгрузки ковш поднимают, заслонку опускают и скрепер перемещают к месту загрузки. Технологическая схема и расстановка машин при устройстве насыпи из выемки или грунтового карьера скреперами 1 с последующим перемещением грунта бульдозерами 2 в насыпь и укаткой пневмокатками 3 показана на рис. 15.8, III.

§ 7. ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСКАВАТОРОВ И САМОСВАЛОВ НА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТАХ

При строительстве лесовозных дорог экскаваторы используют для возведения насыпей из придорожных резервов при I и II типах местности, разработки грунтовых и гравийных карьеров, а также для устройства глубоких выемок и высоких насыпей.

Большой частью используют одноковшовые экскаваторы (ЭО) с рабочим оборудованием в виде прямой лопаты. Грунт разрабатывают проходками экскаватора. Число и размеры забоев, определяемые технологическими требованиями, должны обеспечивать возможность работы ковша с наименьшими затратами времени на выполнение рабочего цикла экскаватора. Это условие выполняется, если ширина проходок (забоев) обеспечивает работу экскаватора при средней величине угла поворота не более 70° , а глубина (высота) забоев создает такую длину стружки грунта, при которой происходит заполнение ковша с «шапкой» за один прием черпания. Длина проходок должна создавать наименьшее число вводов и выводов экскаватора в забой и из забоя в связи с тем, что дополнительные операции снижают производительность экскаватора. Уклон дна проходок должен обеспечивать отвод воды из забоя.

Экскаваторы, оборудованные прямой лопатой, разрабатывают грунт выше уровня забоя, находясь на его подошве (рис. 15.9, а, б, в), если грунт разрабатывают лобовыми или боковыми (рис. 15.9, г) проходками. Грунт можно укладывать в отвал вдоль бровки резерва (рис. 15.9, а) или грузить в транспортное средство, которое может подъезжать к экскаватору как

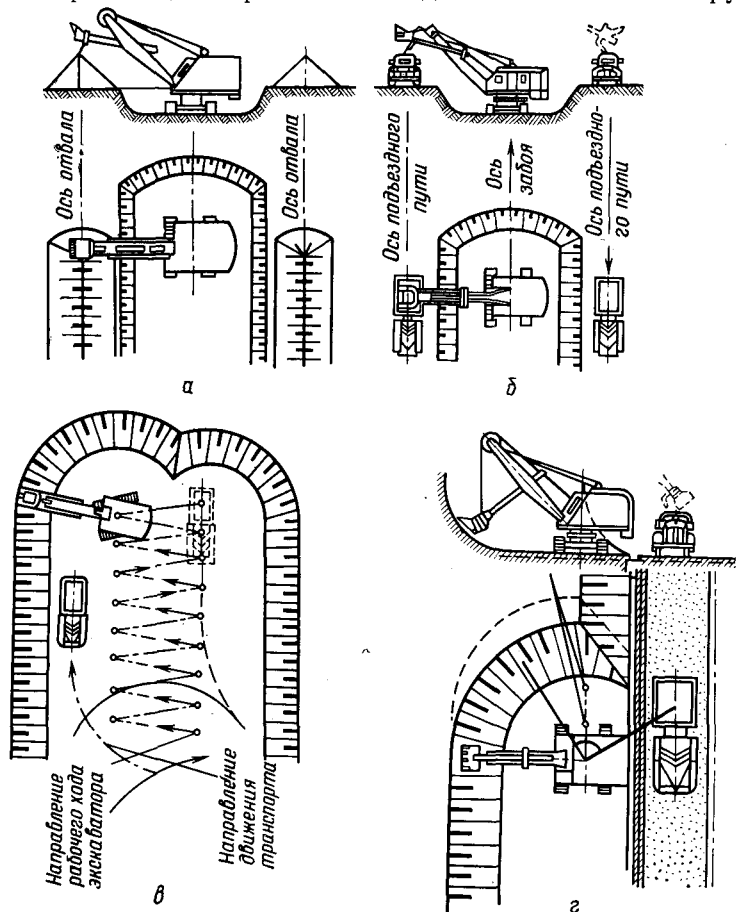


Рис. 15.9. Схемы работы экскаватора, оборудованного прямой лопатой: а, б — лобовая проходка с погрузкой грунта в отвал или в автотранспорт, перемещающийся по верху разработки; в — то же с погрузкой грунта с самосвала, передвигающегося по подошве забоя; г — боковая проходка

по верху разработки (рис. 15.9, б), так и по подошве забоя (рис. 15.9, в). При небольшой ширине лобовой проходки экскаватор перемещается по ее центру (рис. 15.9, а), а при большой ширине — зигзагообразно (рис. 15.9, в).

Минимальная высота забоя зависит от высоты напорного вала экскаватора H_0 : для грунтов I и II групп она равна $0,3H_0$, для грунтов III группы $0,5H_0$ и IV группы $0,7H_0$.

Лобовые проходки применяют при первых проходах в выемках и карьерах, при коротких выемках на крутых склонах, при разработке скальных выемок и котлованов под фундаменты зданий; боковые проходки — при разработке выемок и карьеров грунта для погрузки в транспортные средства или в отвал, располагаемый параллельно ходу экскаватора. В лобовых забоях самосвалы приходится подавать задним ходом, и из-за большого угла поворота стрелы производительность экскаватора несколько снижается. В то же время в лобовом забое с одной стоянки разрабатывается больший объем грунта и уменьшается число передвижек экскаватора. В боковом забое угол поворота стрелы меньше, подача и загрузка самосвалов удобнее и возможно их сквозное движение. В то же время число подвижек экскаватора возрастает и уменьшается объем грунта, разрабатываемого с одной стоянки.

Чтобы обеспечить наполнение ковша с «шапкой», высота забоя должна быть не менее величин, указанных в табл. 15.1.

Таблица 15.1

Группа грунта	Высота забоя, м, при вместимости ковша, м³				
	0,25	0,4—0,5	0,65—0,8	1—1,25	1,6—2,5
I, II	1,5	1,5	2,5	3,0	3,0
III	2,5	2,5	4,5	4,5	4,5
IV	3,0	3,5	5,5	6,0	6,0

Наибольшая высота забоя (без применения взрывных работ) соответствует максимальной высоте резания грунта экскаватором, которая при угле наклона стрелы к горизонту 45—60° равна:

Вместимость ковша, м³	0,25	0,4—0,5	0,65—0,8	1—1,25	1,6—2,5
Наибольшая высота резания, м	4,8—5,5	6,6—7,8	6,8—7,9	8—9	9,3—10,8

При крепких и трещиноватых породах в карьерах и выемках, разрабатываемых с помощью взрывных работ, максимальная высота забоя в 1,5 раза превышает указанные значения. Во избежание нависания козырьков над забоем ширина зоны предварительного разрыхления грунтов должна быть больше ширины проходов на 1,0—1,5 м. Кроме того, вдоль кромки откосов забоя нужно предварительно удалить пни и крупные камни для предупреждения их падения в забой. По мере выработки забоя экскаватор должен передвигаться на величину не более 0,4 хода рукоятки и работать при высоте ее, не превышающей $\frac{2}{3}$ полной величины. В этом случае увеличивается толщина стружки и уменьшается путь резания грунта.

Уступом называют пласт горной породы, разрабатываемый самостоятельным комплектом машин. Его высота не должна превышать высоту резания грунта экскаватором (указанную выше), которая зависит от вместимости ковша. Число уступов равно: $n = H_k : h_y$, где H_k — мощность слоя карьерного материала, м; h_y — высота уступа, м. Уступ разрабатывают последовательными параллельными полосами (заходками). Ширина уступа зависит от способа рыхления и выемки породы. При разработке мягких и рыхлых пород без применения взрывных работ она равна 1,5 радиуса резания экскаватора.

Экскаватор, оборудованный обратной лопатой, применяют для разработки грунта, расположенного ниже места нахождения экскаватора. В лесных условиях для движения экскаватора необходима предварительная подготовка дороги. При разработке грунта с погрузкой ширину проходов принимают равной 1,2—1,3 наибольшего радиуса рукоятки экскаватора, а при отсыпке в отвал 0,5—0,8 наибольшего радиуса. Наибольший радиус резания рукоятки экскаватора, оборудованного обратной лопатой, равен:

Вместимость ковша, м³	0,25	0,4—0,5	0,65—0,8	1—1,25
Наибольший радиус резания, м	7,3	7,8	9,2	9,2

Для удобства погрузки грунта ось перемещения экскаватора должна быть несколько смещена от оси забоя в сторону подъезда самосвалов. Самосвалы нужно устанавливать так, чтобы при разгрузке ковша угол между осью стрелы экскаватора и продольной осью автомобиля был не более 40°, а угол поворота стрелы не более 70°. При разработке грунта в траншеях лобовыми забоями порожняк нужно подавать поочередно с левой и правой стороны.

Экскаваторы, имеющие рабочее оборудование в виде драглайна, при устройстве лесовозных дорог применяют редко, но они бывают необходимы при разработке глубоких выемок и траншей, а также для устройства верхней части больших насыпей, для погрузки песка из речных карьеров (отмелей) в автосамосвалы и баржи. Экскаваторы подбирают по их производительности, размерам земляных сооружений, группе грунтов и другим местным условиям.

Для повышения производительности экскаватора необходимо сокращать средний угол поворота и совмещать отдельные операции, а также повышать коэффициент наполнения ковша. Последнее достигается увеличением толщины стружки в связных грунтах, использованием сменных ковшей при различных грунтах, так как в рыхлых и сыпучих грунтах можно применять ковши увеличенной емкости. При выборе транспортных средств необходимо следующее соотношение емкостей ковша экскаватора и кузова автомобиля:

$$q_a = (4 \div 6) q_y, \quad (15.2)$$

где q_a — грузоподъемность автомобиля самосвала, т; q — объем грунта в ковше экскаватора, м³; γ — объемная масса грунта, т/м³.

§ 8. УПЛОТНЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Уплотнение грунтов необходимо для создания устойчивого земляного полотна, которое не будет давать неравномерных остаточных деформаций дорожной одежды или верхнего строения железных дорог, и обеспечения возможно большего модуля упругости верхних слоев земляного полотна, позволяющего уменьшить необходимую толщину дорожной одежды или балластного слоя. Большинство деформаций покрытий автодорог и пучин на железных дорогах бывает в выемках, грунт в которых не уплотняли. Происходящее с течением времени некоторое самоуплотнение отсыпанного грунта недостаточно. Грунт нужно уплотнять равномерно, в противном случае возникнут просадки насыпи, приводящие к ремонту только что построенных дорожных одежд. Для лучшего уплотнения грунт из резерва или выемки, обычно имеющий достаточную влажность, нужно разравнивать и уплотнять равномернее и быстрее, чтобы пересыхание его не потребовало дополнительной поливки. При избыточной влажности грунты предварительно разрыхляют или вспахивают и просушивают, при недостаточной влажности — поливают. Установлено, что уплотнение — самый дешевый способ повышения прочности и водостойкости земляного полотна. Требуемую плотность грунта можно определить по формуле $\delta_{гр} = K_{\gamma} \delta_0$, где K_{γ} — коэффициент оптимального уплотнения грунтов (для лесовозных дорог равен 0,95—0,98); δ_0 — оптимальная плотность грунта.

Толщину уплотняемого слоя грунта следует определять расчетом и устанавливать в зависимости от вида и характеристик уплотняющих машин. Толщина уплотняемых слоев H_0 (в см): для катков с гладкими вальцами

$$H_0 = K \frac{w_1}{w_0} \sqrt{10qR}; \quad (15.3)$$

для кулачковых катков

$$H_0 = 65 (L + 0,2b - 5); \quad (15.4)$$

для катков на пневматических шинах

$$H_0 = 0,53 \frac{w_1}{w_0} \sqrt{Q}; \quad (15.5)$$

для трамбующих машин

$$H_0 = 0,7 \frac{w_1}{w_0} H_{пр}. \quad (15.6)$$

В приведенных формулах K — коэффициент, для связных грунтов равный 0,25, для несвязных 0,35; R — радиус вальца катка, см; q — линейное давление, Н/см; Q — масса, приходящаяся на одно колесо катка; ω_1 и ω_0 — фактическая и оптимальная влажность грунта, %; L — длина кулачка, см; b — минимальный размер опорной поверхности кулачка, см; $H_{пр}$ — предельная толщина уплотнения грунта, равная 40—120 см.

Нормативы СНиП III-40—78 рекомендуют следующие средства уплотнения земляного полотна: для уплотнения грунтов в насыпях слоем 20—40 см из связного грунта катки на пневматиках массой 25 т и каток кулачковый прицепной или комбинированный 9—18 т; для несвязных грунтов каток на пневматиках 25 т или вибрационный каток 6—18 т. В зимнее время для уплотнения того же слоя любого грунта рекомендуется решетчатый прицепной каток 25 т. При уплотнении связных грунтов слоем 40—50 см рекомендуется каток на пневматиках 40—50 т или трамбуемая машина на тракторе класса 10 т; для несвязных грунтов слоем 40—50 см тоже каток на пневматиках 40—50 т или вибрационный 8—18 т. При необходимости уплотнения грунтов в стесненных условиях рекомендуется виброударная машина с ударной частью вибромолота массой 1 т или трамбуемая плита на кране-экскаваторе массой 2—3 т. Уплотнение грунтов в пазах у малых искусственных сооружений и опор мостов следует производить ручными мото- или электротрамбовками массой 60—150 кг. При уплотнении насыпи катки должны делать проходы от края к середине, причем при каждом проходе предыдущий след должен перекрываться на 0,3—0,4 м. Работа прицепных катков организуется по кольцевой схеме, самоходных катков как по кольцевой, так и по челночной схеме движения. Чтобы предупредить сползание катка и разрушение откоса во время укатки, край вальца у катка должен проходить не ближе 0,3 м от бровки насыпи.

Необходимое число проходов по одному следу в зависимости от требуемой степени уплотнения и типа машин можно определить по формулам:

для катков всех типов

$$n = AH_0/10qf; \quad (15.7)$$

для трамбующих машин (всех типов)

$$n = AH_0/10q_0H, \quad (15.8)$$

где A — удельная работа машин для уплотнения связных грунтов; $A=20$ Н·см/см³ при $K_y=0,95$; $A=40$ Н·см/см³ при $K_y=0,98$ и $A=60$ Н·см/см³ при $K_y=1$; q_0 — статическое давление трамбующего органа машины, Н/см²; f — коэффициент сопротивления движению катка; H — высота падения трамбующего органа, см.

Примерное число проходов (или ударов) уплотняющих машин следующее: для уплотнения связных грунтов катками на

пневматических шинах и кулачковыми 8—12 проходов, моторных с гладкими вальцами 15 проходов, трамбующих плит 6—8 ударов, для несвязных грунтов при уплотнении катками на пневматиках 6—8 проходов, виброкатками 2—8 проходов, виброплитами и виброуплотнителями 6—9 проходов и вибротрамбующими плитами 4—6 ударов. Для уточнения толщины уплотняемых слоев, числа проходов катков или ударов уплотняющих машин, а также оптимальной влажности данного грунта следует провести опытное уплотнение в производственных условиях имеющимися машинами. Минимальный фронт работ при уплотнении грунтов катками 100 м. Рекомендуемые величины захваток для катков на пневматических шинах 200 м, для кулачковых 250—300, для виброкатков 200—250, для уплотнения несвязных или скальных грунтов виброуплотняющими и трамбующими машинами 50, а при ограниченном фронте работы 15—25 м.

§ 9. ОСОБЕННОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА БОЛОТАХ

Возведение насыпей на болотах наиболее удобно выполнять зимой (рис. 15.10). Полосу будущего движения экскаватора очищают от снега и растительности. После промерзания полосы на 0,3—0,4 м торф удаляют экскаватором, оборудованным обратной лопатой или драглайном. Полосу для прокладки траншеи нужно оставить под снегом до начала работ на участке, достаточном для работы экскаватора в течение смены. Если с одной стороны полностью разработать траншею нельзя, во избежание замерзания неразработываемой стороны экскаваторы следует устанавливать с обеих сторон устраиваемой траншеи. Вынутый

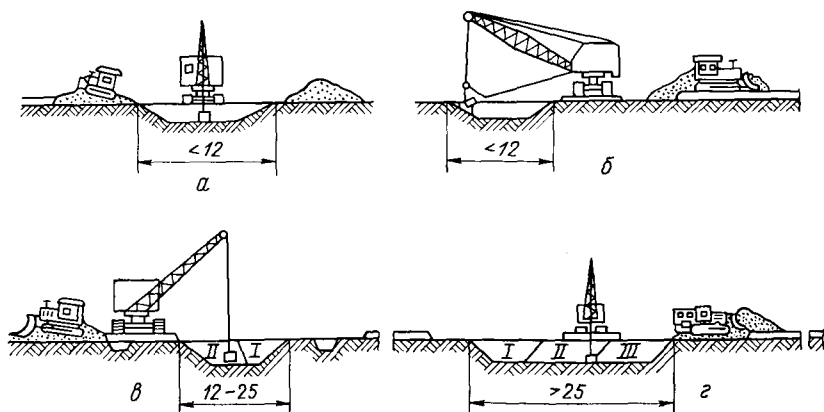


Рис. 15.10. Схемы работы экскаватора при выторфовывании:

а — при движении экскаватора по оси траншеи; б — при одностороннем движении экскаватора; в — при двустороннем движении; г — разработка тремя проходками экскаватора

торф укладывают с обеих сторон будущей дороги. При разработке траншей ее откосы быстро промораживаются. После зачистки дна траншеи начинают подвозку грунта самосвалами и отсыпку подземной части насыпи. При выполнении работ в летнее время необходимо применять экскаватор с уширенными гусеницами или иметь перекадывающиеся щиты для его передвижения. На сухих неглубоких болотах I типа выторфовывание можно производить бульдозерами.

§ 10. ПРОИЗВОДСТВО ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

Выполнение части земляных работ в зимнее время дает возможность продлить строительный сезон, более полно и равномерно использовать дорожно-строительные машины в течение года, рационально использовать квалифицированных рабочих в строительных организациях, ускорить строительство и снизить накладные расходы. В зимний период можно разрабатывать выемки и карьеры в сухих песчаных, гравийно-галечных и скальных грунтах, возводить насыпи из этих грунтов, устраивать насыпи на болотах при замерзании последних на глубину, обеспечивающую безопасную работу дорожных машин. В связных и смерзающихся несвязных грунтах можно выполнять только сосредоточенные земляные работы, которые должны быть полностью механизированы и вестись непрерывно высокими темпами, учитывающими реальные скорости промерзания грунтов в конкретных условиях. На участках, где намечена разработка грунтов в зимних условиях, для замедления промерзания верхней части грунта необходимо предварительное рыхление поверхности на глубину до 40 см. В осеннее время разрыхленный грунт будущего забоя необходимо утеплять хворостом, порубочными остатками, торфом, щитами или даже окучиванием грунтом, полученным при проходе параллельных траншей. С выпадением снега участок разработки необходимо укрыть снегом. В последнее время применяют и такие методы предохранения грунтов от замерзания, как укрытие слоем быстротвердеющей пены толщиной 10 см (с использованием пожарных машин) или засоление участка с помощью пескоразбрасывателя хлористым натрием или хлористым кальцием (5—10 кг на 1 м² в зависимости от климатических условий).

При разработке выемок, резервов и карьеров должен быть обеспечен отвод воды при таянии снега, для чего дно должно иметь продольный уклон не менее 0,005 и поперечный 0,040 от середины к краям. Нецелесообразно зимой разрабатывать мелкие резервы большой протяженности. Не разрешается разрабатывать грунт для отсыпки в насыпь, если уровень грунтовых вод находится на глубине менее 1 м в несвязных грунтах и 2 м в связных от дна выемки или карьера.

При устройстве насыпей грунт нужно отсыпать горизонталь-

ными слоями на всю ширину. Длина участка и применяемые механизмы выбирают с учетом того, что промежуток времени от разработки грунта до уплотнения в насыпи должен быть не более: при температуре -10°C 2—3 ч, при $-10-20^{\circ}$ 1—2 ч и при -20°C не больше 1 ч. При сильном ветре указанные интервалы времени уменьшаются вдвое. Для возведения насыпей крупные и средние пески и крупнообломочные грунты допускаются без ограничений. Глинистый грунт допускается с влажностью не более 1,1 от оптимальной. В этом случае ограничивается и возможная высота насыпи: в суровом климате 2,5 м, в холодном 3,5 и в умеренном 4,5 м. Если глинистый грунт из-за высокой влажности нельзя укладывать в насыпь, то его следует заменить песчаным, используя автосамосвалы. Мелкий и пылеватый песок допускается применять при условии, что его влажность не более 1,2—1,3 оптимальной. Ограничения по высоте насыпи те же, что и при глинистом грунте. Жирные глины, а также грунты с высокой влажностью использовать запрещается. Допускается возводить насыпи из талого грунта или из смеси талого и мерзлого, если объем мерзлых комьев не превышает 30 % общего объема грунта. Верхняя часть насыпи должна отсыпаться только из талого грунта.

При разработке выемок, карьеров и резервов зимой следует применять экскаваторы с ковшом объемом не менее $0,65\text{ м}^3$. При ковше объемом 1 м^3 и мерзлом слое толщиной до 30 см предварительного рыхления не требуется. При необходимости рыхления верхней смерзшейся корки грунта применяют навесное оборудование в виде клиновых рыхлителей с дизель-молотом, фрикционных ударных приспособлений или вибраторов, а также клин-молот или шар-молот массой 2—2,5 т. Эффективно применение прямой лопаты с вибрирующими зубьями.

Для того чтобы талый грунт не примерзал, ковши экскаваторов и кузова самосвалов смазывают раствором хлористого кальция, кузова автомобилей обогревают выхлопными газами. Для разработки сухих гравийно-песчаных грунтов могут применяться и скреперы. При расчете дальности возки следует учитывать, что время смерзания грунта составляет при -5°C 90 мин, при -10°C — 60 мин, при -20°C 40 мин и при -30°C 20 мин. Грунты в насыпи следует разравнивать бульдозерами или тяжелыми грейдерами сразу же после отсыпки грунта для каждого слоя. Основными уплотняющими средствами являются прицепные решетчатые катки и трамбующие машины. Можно также использовать тяжелые катки на пневматиках массой более 25—30 т, но в этом случае содержание мерзлого грунта в общем объеме должно быть не более 20 %, а максимальный размер мерзлых комьев не более 15—20 см. При отсыпке насыпей следует предусматривать запас на осадку при оттаивании грунтов: 3—5 % высоты насыпи в районах с суровым и холодным климатом и 2—3 % с умеренным климатом.

Общие вопросы. Малые мосты и трубы строят по типовым проектам, привязанным к местным условиям, как правило, индустриальным методом, т. е. путем монтажа заранее изготовленных конструкций. Трубы и малые мосты строят те же организации, которые строят дорогу, а большие и значительную часть средних мостов — специализированные мостостроительные организации. Для постройки труб и малых мостов в лесозаготовительных организациях создают специализированный машинно-дорожный отряд. Постройку ведут поточным методом, увязывая ее в календарном плане со сроками устройства земляного полотна и дорожной одежды. Строительство труб и малых мостов на суходолах следует заканчивать до начала линейных земляных работ. Опоры малых мостов, возводимых через водотоки, также следует устраивать до выполнения земляных работ, так как пролетные строения удобнее монтировать после отсыпки подходов к мостам. Некоторые работы по строительству искусственных сооружений следует выполнять зимой, что снижает концентрацию дорожно-строительных работ в летний период. В частности, зимой можно строить мосты на рамно-лежневых опорах, малые мосты на свайных опорах, особенно на болотах, средние мосты и мосты на ряжевых опорах.

Строительство сборных железобетонных и металлических труб. Постройка железобетонных труб состоит из следующих операций: возведения основания, монтажа звеньев труб, устройства гидроизоляции и засыпки трубы.

Основания под трубы и конструкцию фундаментов устраивают в соответствии с проектом и рабочими чертежами. Если укладка труб предусматривается непосредственно на грунт (песчано-гравийный) или грунтовую подушку, то устраивают профилированную площадку, соответствующую профилю наружной дуги звеньев с центральным углом обхвата 110° для обеспечения плотного опирания трубы. Если предусмотрена укладка фундаментных блоков, то предварительно отрывают котлован (бульдозером или экскаватором с ковшом объемом $0,15—0,65 \text{ м}^3$). Постоянно действующий водоток отводится в сторону. После приемки котлована возводят основание из фундаментных блоков. Отметки лотка труб должны назначаться с учетом строительного подъема (по дуге круга) в долях от высоты насыпи H . При плотных глинах, суглинках и супесях подъем в основании составляет $\frac{1}{40}H$ и при гравелисто-галечных и песчаных грунтах $\frac{1}{80}H$ (здесь H — высота насыпи), при этом отметка лотка у входа во всех случаях должна быть выше самой высокой точки строительного подъема.

Монтаж железобетонной трубы выполняют в соответствии с раскладочными схемами (рис. 15.11) или технологической картой, используя тракторные или автомобильные краны грузо-

подъемностью 5—7 т. Фундаменты состоят из секций длиной 3—4 м. В пределах секции блоки укладывают горизонтально, строительный подъем и необходимый продольный уклон обеспечиваются ступенчатым расположением секций. Сборка должна начинаться со стороны выходного оголовка. После укладки блоков фундамента одного ряда вертикальные швы густо заливают пластичным цементным раствором через специальную воронку и уплотняют плоской трамбовкой. Если блоки сборного оголовка имеют перевязку с блоками фундамента, то оголовки монтируют одновременно с фундаментом. После оголовка приступают к монтажу тела трубы по раскладочной схеме. При ук-

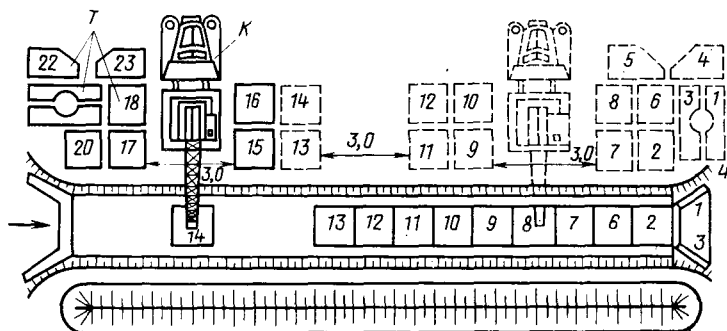


Рис. 15.11. Раскладочная схема монтажа круглой железобетонной трубы автомобильным краном. Цифрами показана последовательность укладки блоков и звеньев

ладке круглых звеньев на фундамент, не имеющий сборных ленточных блоков под звенья, необходимо укладывать слой пластичной бетонной смеси, обеспечивая этим плотное опирание звеньев. Швы между звеньями после укладки и сборки трубы должны быть заполнены жгутами из пакли, пропитанной битумом, или литыми резиновыми жгутами. Последние при постановке с внутренней стороны утапливаются внутрь на 2—3 см. Изнутри швы следует заделывать раствором. Наружные поверхности трубы после сборки покрывают гидроизоляцией.

Железобетонные трубы заводского изготовления уже изолированы битуминизированной мастикой. После гидроизоляции трубу засыпают тем же грунтом, из которого будет возводиться насыпь. Пазухи котлованов фундаментов лучше засыпать сразу после приемки фундаментов. Трубу засыпают на высоту звеньев плюс 0,5 м. До проектного профиля трубу засыпают в порядке выполнения линейных земляных работ. Монтаж круглых железобетонных труб диаметром 1,0—1,5 м выполняет бригада, состоящая из 4 человек: машиниста крана (он же бульдозерист), 2 такелажников и 1 подсобного рабочего. Такая бригада

должна иметь бульдозер и кран на гусеничном или колесном ходу. Для труб большого сечения состав бригады увеличивается до 6—7 человек.

Металлические гофрированные трубы укладывают непосредственно на песчаное или гравелистое основание, или подушку из песчаного (песчано-гравийного) материала, которую устраивают после удаления почвенно-растительного слоя. Ее ширина равна двум диаметрам труб, толщина 0,6—0,8 м. В подушке специальным шаблоном устраивают ложе, причем труба может быть смонтирована и вне ложа, а потом накатываться на него. Для монтажа трубы нужен только ручной инструмент: ломы, гайковерты, гаечные ключи, молотки. Наружную поверхность трубы при наличии агрессивных вод (например, болотных) после грунтовки покрывают битумной резиновой мастикой (88 % битума БН IV, 5 % резиновой крошки от старых покрышек и 7 % зеленого мыла). Трубы засыпают песчаными или супесчаными грунтами с послойной укладкой и равномерной трамбовкой с обеих сторон.

Строительство малых деревянных мостов. На дорогах IV и V категорий, ветках, усах и лесохозяйственных дорогах и в ближайшей перспективе в основном будут строить деревянные мосты. Их устраивают с свайными, рамно-лежневыми и ряжевыми опорами. До постройки моста проводят разбивку сооружения с точной фиксацией мест расположения опор. Разбивка начинается с привязки оси моста к ближайшему пикету. Восстанавливается и закрепляется ось моста и указывается положение отдельных опор. Для фиксации оси забивают гвозди на крепительных столбах, устанавливаемых по теодолиту в створе. Затем находят и разбивают места свай в береговой опоре. Для рамных опор устраивают котлован. Затем разбивают и закрепляют оси других опор.

Погружение деревянных свай обычно производится под действием ударов молота или вибропогружателя. Масса ударной части молота одиночного действия, в том числе дизель-молота, должна быть не менее массы сваи при ее длине более 12 м и не менее 1,25—1,5 массы сваи при ее длине до 12 м. Сваи забивают до расчетного отказа при условии, что она погрузилась на глубину, не менее указанной в проекте.

Расчетный отказ e (см) деревянных свай от одного удара при погружении их молотами простого действия равен

$$e = \frac{0,01 F Q H}{2P(2P + 0,01F)} \cdot \frac{Q + 0,2g}{Q + g}, \quad (15.9)$$

где P — расчетная масса, приходящаяся на сваю (по проекту), т; Q — масса молота, т (для молотов одиночного и двойного действия и дизель-молота принимается масса ударной части); g —

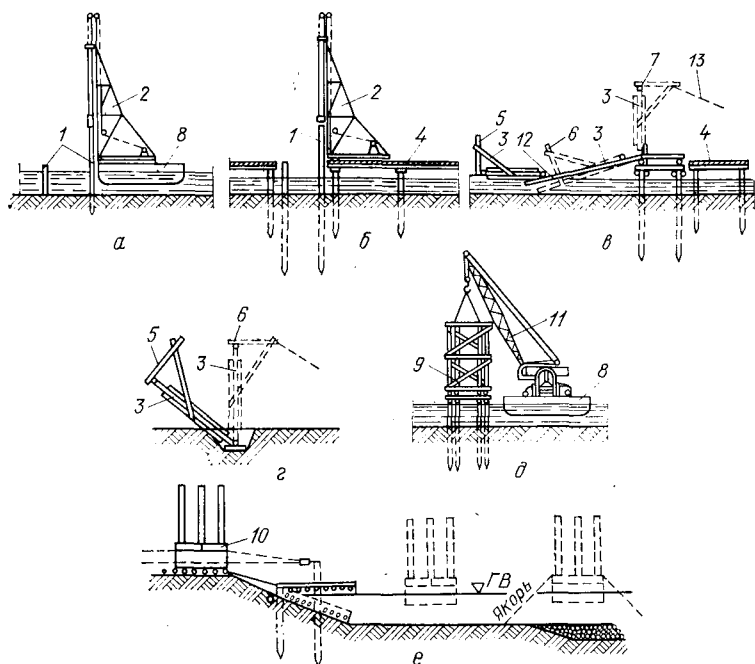


Рис. 15.12. Схемы устройства опор:

а и *б* — забивка свай копром с понтона и подмостей; *в* и *г* — установка рам на пространственную опору в русле реки и в котловане на сухих местах; *д* — установка рамного блока с понтона; *е* — установка ряжевой опоры; 1 — свая; 2 — копер; 3 — блок; 4 — подмости; 5 — первое положение; 6 — второе положение; 7 — третье положение; 8 — понтон; 9 — рамный блок; 10 — ряжевая опора; 11 — самоходный кран; 12 — наклонный настил; 13 — тяга

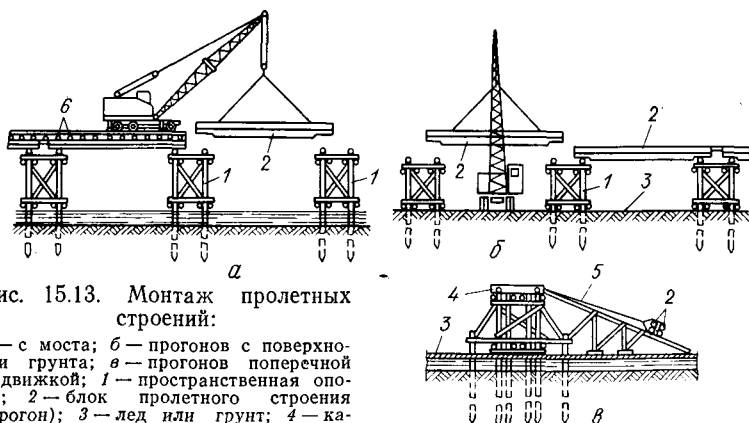


Рис. 15.13. Монтаж пролетных строений:

а — с моста; *б* — прогонов с поверхности грунта; *в* — прогонов поперечной надвигкой; 1 — пространственная опора; 2 — блок пролетного строения (прогон); 3 — лед или грунт; 4 — канат к лебедке; 5 — тяга; 6 — проезжая часть

масса свай и наголовника, т; F — средняя площадь поперечного сечения погружаемой части свай, см²; H — расчетная высота падения ударной части молота, см (для дизель-молота или молота двойного действия $H=0,1W/Q$, где W — энергия удара молота, принимаемая по паспортным данным).

Сваи забивают непосредственно с земли (или льда) и с подмостей, установленных на козлах или свайных опорах. Схемы забивки свай копром с понтона и подмостей приведены на рис. 15.12, а, б. Отклонившиеся от проектного положения сваи выправляют лебедками, распорками и стяжками. Сваи срезают на проектной отметке. Насадки закрепляют металлическими штырями, забиваемыми в головы свай. Возведение свайных опор заканчивают постановкой укосин, а также горизонтальных и диагональных поперечных схваток.

Установка рамно-лежневых опор. Изготовление рам производится на стройдворах. Котлованы отрывают экскаваторами или бульдозерами. Одноярусные рамные опоры устанавливают с помощью лебедок и полиспастов (рис. 15.12, в, г), копров или кранов. При водотоке работы целесообразно выполнять зимой со льда или понтона (рис. 15.12, д). Небольшие водотоки отводят в стороны по устроенному временному руслу.

Ряжевые опоры удобнее устраивать зимой, либо собирая ряж на льду рядом с местом установки, либо над ним. Первый способ применяют, если надо предварительно спланировать основание под ряж. Ряжи собирают из брусьев (с обзолом) или из обработанных на два канта бревен. Сопряжение продольных и поперечных стен устраивают без врубок, кроме нижних венцов, которые сопрягаются врубками в полдерева. Изготовление ряжей со сквозными стенками проще, но требует для заполнения крупного камня.

Стены ряжа в местах их пересечений крепят штырями, которые проходят не менее чем через 2,5 венца. Для опускания ряжа в прорубь его венцы наращивают на плаву, а в глубоких местах при помощи частичной загрузки камнем. После посадки на дно и проверки правильности положения ряж загружают камнем. Летом ряжи собирают на берегу, имеющем пологий спуск к реке, и опускают на воду с помощью лебедки по каткам или лежням.

На лесовозных дорогах пролетные строения, как правило, устраивают балочной конструкции из отдельных прогонов или пакетов, а на средних мостах из металлических или клееных балок. Прогон и пакеты подают в пролет стреловым краном или по наклонным следам с помощью лебедки. При монтаже невысоких мостов элементы можно подавать краном с земли, а высоких — непосредственно с моста (рис. 15.13). При отсутствии машин нужной грузоподъемности балки, пакеты или фермы подают продольным или поперечным натаски-

ванием при помощи стрел, качающихся рам, плавучих опор или накаточной эстакады с использованием лебедок и трелевочных тракторов. Поперечный настил устраивают вслед за укладкой прогонов. Подача материала осуществляется также лебедкой или краном. По настилу проезжей части выполняют поверхностную обработку битумом, используя крупный песок.

Строительство железобетонных мостов. Технология постройки малых мостов следующая. После разбивки на местности продольной оси моста, осей опор, свайных рядов и отдельных свай приступают к разработке котлованов под фундаменты опор любым механизированным способом (обычно экскаватором с ковшом объемом $0,65 \text{ м}^3$). Стенки котлована укрепляют щитами и распорками, в необходимых случаях устраивают шпунтовые ограждения. Для малых мостов применяют свайные и стоечные опоры на свайном основании. Железобетонные сваи имеют сечения 30×35 и 35×35 см и длину 6—12 м. Сваи забивают с подмостей или с земли копровыми установками или молотами.

В плотных грунтах применяют подмыв свай напорной водой. Для предохранения головы свай от разрушения используют специальные оголовники. После погружения свай до проектной величины их подрезают на проектной высоте и устанавливают насадки. Лишнюю арматуру у свай срезают автогенем. После сварки арматурных выпусков стык и места сопряжения гнезд насадок со сваями бетонируют. Положение верха насадок контролируют нивелиром.

При использовании сборных опор их блоки собирают на расстворе по очищенной и смоченной поверхности краном. Правильность укладки блоков контролируют нивелиром.

Пролетные строения применяют различного типа: балочно-разрезные, ребристые, плитные. Их монтируют самоходными стреловыми кранами с рабочих мостков или при передвижении крана по последовательно устанавливаемым элементам конструкции. Кроме того, для монтажа используют средства малой механизации (лебедки, тележки и домкраты для продольной надвигки балок в пролеты). Последней фазой работы является укладка гидроизоляции на сухую поверхность бетона в виде двух слоев битумного лака. Кроме того, устраивают выравнивающие и защитные слои, деформационные швы и устанавливают бортовые камни.

Минимальный состав бригады для монтажа малых мостов: 1—2 машиниста крана, машинист экскаватора, 1—2 машиниста копра, 2 закоперщика, 2 подсобных рабочих. Для монтажа мостов необходимо иметь экскаватор, копры с дизель-молотом или вибропогружателями, оборудование для подмыва свай и краны грузоподъемностью 10—15 т на колесном или гусеничном ходу.

ПОСТРОЙКА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

§ 1. СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ГРУНТОВ, ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ СМЕСЕЙ И ЩЕБЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дорожные одежды из оптимальных грунтовых смесей. Постройку дорожной одежды из оптимальной смеси серповидного профиля начинают с рыхления поверхности земляного полотна, которую разрыхляют на глубину H , определяемую по формуле $H = h - hp / (100 + p)$, где h — расчетная толщина покрытия, см; p — процент добавок. Рыхлят кирковщиками автогрейдера или навесными орудиями на тракторе. На разрыхленную поверхность вывозят улучшающие добавки на самосвалах. Число рейсов на 1 км дороги равно $n = V : q$, где q — грузоподъемность самосвала, V — масса подвозимого на 1 км дороги материала.

Количество подвозимых на 1 км дороги материалов (m^3) равно

$$V = 1000 B h K_{\pi} K_y \frac{\delta_1}{\delta_2} \cdot \frac{p}{100 + p}, \quad (16.1)$$

где B — ширина покрытия; δ_1/δ_2 — отношение объемного веса грунта земляного полотна к объемному весу подвозимого материала; K_y — коэффициент уплотнения, равный 1,1—1,2; K_{π} — коэффициент, учитывающий форму поперечного профиля дорожной одежды (для серповидной он равен 1,15—1,20, для полукорытной 1,05—1,15).

Расстояние между местами последующих разгрузок самосвалов равно $l_c = 1000 : n$. Вывезенные добавки распределяют по полотну дороги грейдером. Для перемешивания добавок с грунтом используют дорожные и болотные фрезы, дисковые бороны, автогрейдеры и др. При перемешивании грунт обязательно должен иметь оптимальную влажность, для чего его предварительно или увлажняют или просушивают. После достаточного перемешивания (два-три прохода фрезы или шесть-восемь проходов грейдера), определяемого по однообразному цвету, грунт профилируют и укатывают катками на пневматиках или движущимся транспортом при регулировании его движения по полотну дороги. Схема устройства дорожной одежды по приведенной технологии приведена на рис. 16.1. В данном случае поперечный профиль дорожной одежды устраивают серповидным. К недостаткам этого процесса можно отнести недостаточное уплотнение основания дорожной одежды, поэтому при большой дальности подвоза добавок более экономично применение корытного профиля.

В последнее время стали применять второй вариант технологического процесса, когда устройство дорожной одежды начинают с отрывки грейдером или бульдозером в земляном полотне корыта на всю толщину запроектированной дорожной одежды. Вынутый грунт передвигают на обочину, и дно корыта уплотняют катками или другими уплотняющими машинами до $K_y = 0,98 \div 1,0$. После уплотнения дна корыта на него вывозят добавки и после их разравнивания сверху в корыто надвигают ранее перемещенный на обочину грунт земляного полотна. В связи с тем, что часть корыта уже была заполнена привозным грунтом, на обочинах остается некоторая часть местного грунта, которая сбрасывается на откос проходами грейдера. Слои привозного и местного грунта в корыте тщательно перемешивают, профилируют и уплотняют. Такую технологию применяют, в частности, когда в приготовленный грунт оптимального состава вводят минеральные или органические добавки, еще более повышающие дорожные свойства местного грунта.

Укрепление местных грунтов скелетными добавками. Добавка скелетных материалов (гравия, щебня, шлака) к грунту должна составлять 55—60 % общей массы.

Только в этом случае даже при потере грунтовыми частицами несущей способности скелетная часть будет успешно сопротивляться внешнему воздействию. При толщине дорожной одежды до 15 см ее устраивают в один слой, при большей толщине — в два слоя, причем материал верхнего слоя должен иметь больший процент мелкозернистых частиц, а в нижнем слое могут преобладать крупноскелетные добавки, так как здесь не требуется большой связности. В верхнем слое размер любых скелетных добавок не должен превышать 25 мм, в нижнем 60 мм.

Дорожные одежды из грунтов, усиленных скелетными добавками, строят различными способами. Самый простой заключается в постепенной россыпи добавок. В этом случае вывозимые на дорогу добавки распределяют слоем 3—8 см по поверхности земляного полотна, предоставляя возможность движущемуся транспорту вдавливать их в грунт. При этом движение транспорта по поверхности дороги необходимо регулировать. Через 2—3 недели россыпь повторяют. Такое покрытие создается с минимальными затратами, но его качество ниже, чем при других способах; особенно трудно регулировать толщину образующегося слоя грунтогравия и равномерность уплотнения. В последнее время этот способ применяется все реже. Технология двух других способов постройки дорожной одежды с применением скелетных добавок не отличается от технологии устройства дорожной одежды из грунтов оптимального состава, приведенной выше. Следует иметь в виду, что кислые шлаки нужно использовать так же, как и щебень. Основные шлаки следует отсыпать слоями без грунта для того, чтобы использо-

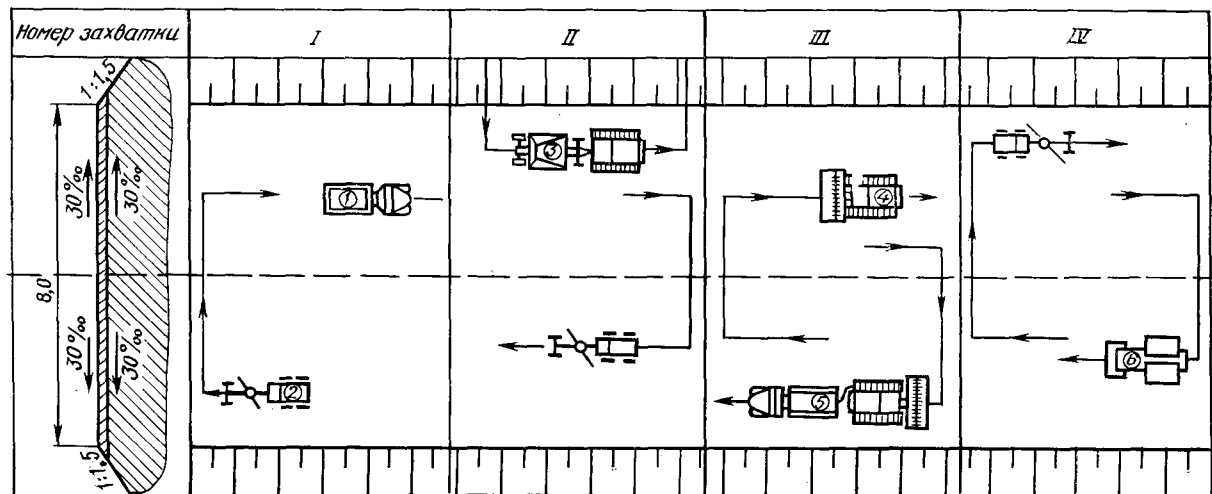


Рис. 16.1. Схема укрепления грунтов добавками для создания оптимального состава:
 1 — автомобиль-самосвал; 2 — автогрейдер; 3 — скрепер; 4 — фреза; 5 — автоцистерна; 6 — каток

вать их вяжущие свойства. При этом следует придерживаться общего принципа: использовать в нижнем слое недостаточно прочные, имеющие плохое сопротивление износу материалы, а в верхнем — материалы, имеющие повышенное сопротивление износу.

Гравийные и щебеночные дорожные одежды. Оптимальные составы гравийных и гравийно-песчаных смесей встречаются и природные, но в основном их создают искусственно путем добавления недостающих фракций к имеющемуся материалу или отгрохотке излишних (например, очень крупных) частиц. Для лесовозных дорог целесообразно использовать передвижные дробильно-сортировочные агрегаты для работы в притрассовых карьерах. Гравийную оптимальную смесь вывозят самосвалами и разгружают либо на земляное полотно, либо в кузов самоходного распределителя. Вывезенный материал распределяют ровным слоем, при отсутствии распределителя — автогрейдером на ширину проезжей части. Если гравийный материал имеет не оптимальный состав, то недостающие фракции (например, мелкоземные) можно вывезти и разровнять поверху ровным слоем. В этом случае гравий с добавками перемешивают дисковой бороной за три-четыре прохода по следу, затем автогрейдером за 6—12 круговых проходов. При перемешивании материал следует несколько увлажнить, так как сухие мелкоземные частицы очень пылят. При увлажнении и в последующем при укатке следует при поливке вводить в гравийное покрытие 30 %-ный раствор хлористого кальция или натрия с расходом 2—3 л/м², что позволит создать прочную, устойчивую и, главное, не пылящую дорожную одежду. Созданную или привезенную готовую смесь разравнивают по всей ширине земляного полотна и окончательно планируют за пять-шесть круговых проходов автогрейдера. Планировка производится по высотным колышкам, устанавливаемым по оси дороги, на кромках проезжей части и на бровке земляного полотна. Высота слоя зависит от коэффициента уплотнения, в данном случае равного 1,25—1,30. Правильность создаваемого поперечного профиля проверяют шаблоном. Спрофилированный материал уплотняют самоходными катками с гладкими вальцами, вибрационными или самоходными катками на пневматических шинах. Уплотнение производится проходами от краев к середине. Первые два прохода делают при скорости 1,5—2 км/ч, последующие при 3—4 км/ч. Оптимальная влажность должна составлять 7—12 %. Если фактическая влажность недостаточна, то слой поливают, причем воду разливают в несколько приемов. При появлении волн и неровностей скорость катков снижают до 1,5 км/ч. Если гравий укатывается плохо, к нему добавляют 10—15 % дробленого известняка, имеющего вяжущие свойства. Признаком окончания укатки является отсутствие заметного на глаз следа от прохода катка и движения волны перед катком. В первые 2—3 не-

дели после постройки надо регулировать движение по поверхности дороги для более равномерного уплотнения движущимся транспортом. Примерный состав отряда для постройки однослойного гравийного покрытия толщиной до 16 см при темпе потока 0,25 км/смену следующий: автогрейдер ДЗ-31 1 шт.; самоходные катки ДТ-8 с гладкими вальцами 3 шт.; самоходный каток ДУ-31 на пневматических шинах 1 шт.; самосвалы и поливочно-мочные машины — в зависимости от дальности подвоза гравия и воды. На рис. 16.2 показана технологическая

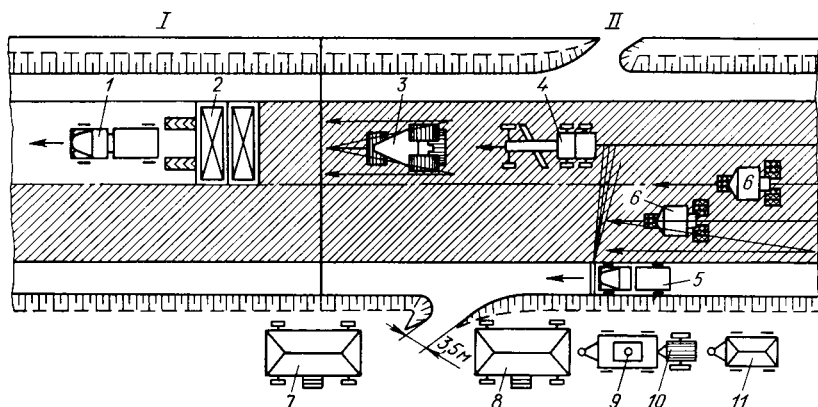


Рис. 16.2. Технологическая схема устройства гравийного или щебеночного слоя:

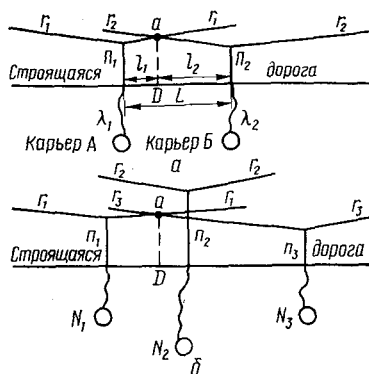
1 — автомобиль-самосвал; 2 — самоходный распределитель щебня; 3 — легкий моторный каток; 4 — автогрейдер (позиция 4 включается вместо 2 и 3 при отсутствии самоходного укладчика и разравнивании гравия автогрейдером); 5 — поливочная машина; 6 — катки тяжелые моторные или на пневматических шинах; 7 и 8 — вагончики для жилья; 9 — душевая; 10 — емкость для воды; 11 — передвижной туалет

схема устройства слоя из гравийной или щебеночной смеси с использованием самоходного укладчика. Для размещения потока на участке устраивают две сменные захватки: на I происходит вывозка и распределение материала и на II его уплотнение.

§ 2. ЗОНЫ СНАБЖЕНИЯ КАРЬЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Для постройки дорожных одежд приходится подвозить значительные количества различных карьерных материалов: песка, гравия, щебня, отходов промышленности и др. Расстояния до карьеров или отвалов отходов различны, разной бывает и эффективность используемого карьерного материала. Поэтому вопрос об оптимальном использовании карьеров является важным, и его правильное решение позволяет экономить значительные средства при строительстве дорог. Пусть вдоль дороги расположены карьеры с каким-либо материалом (рис. 16.3).

Рис. 16.3. Определение границ оптимальных зон снабжения дорожно-строительными материалами из карьеров:
 а — расчетная схема; б — случай исключенного карьера



Обозначим $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ — расстояния от дороги до карьера; p_1, p_2, p_3 — удельные расходы карьерного материала, необходимые для постройки 1 м^2 дорожной одежды; d_1, d_2, d_3, \dots — стоимости перевозки материала по карьерным дорогам (в $\text{р/м}^3 \cdot \text{км}$); b_1, b_2, b_3, \dots — стоимости вскрышных работ и погрузки 1 м^3 материала (в р/м^3); l_1, l_2, l_3, \dots — расстояния перевозки карьерного материала по строящейся дороге; r_1, r_2, r_3, \dots — стоимость перевозки материала по строящейся дороге ($\text{р/м}^3 \cdot \text{км}$). Стоимость постройки 1 м^2 слоя дорожной одежды при использовании карьера № 1 равна

$$C_1 = p_1 (b_1 + d_1 \lambda_1 + d l_1) = \Pi_1 + r_1 l_1;$$

карьера № 2

$$C_2 = p_2 (b_2 + d_2 \lambda_2 + d l_2) = \Pi_2 + r_2 l_2.$$

Введем обозначения:

$$\Pi_1 = p_1 (b_1 + d_1 \lambda_1); \quad r_1 = p_1 d;$$

$$\Pi_2 = p_2 (b_2 + d_2 \lambda_2); \quad r_2 = p_2 d.$$

Полученные уравнения стоимости изображены графически на рис. 16.3. Если обозначить расстояние между точками примыкания дорог от карьера № 1 и 2 L , то можно написать условие равенства расходов: $\Pi_1 + r_1 l_1 = \Pi_2 + r_2 (L - l_1)$. Следовательно, предельное расстояние перевозки материала от карьера № 1 в сторону карьера № 2 равно

$$l_1 = (\Pi_2 - \Pi_1 + r_2 L) : (r_1 + r_2). \quad (16.2)$$

Принцип решения приведенной технико-экономической задачи может быть использован и в других случаях, например когда на трассе строящейся дороги есть несколько входных точек, по которым могут подвозиться материалы с баз снабжения. Определения зон снабжения материалами от разных входных точек находятся таким же путем.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ ИЗ ГРУНТОВ, ОБРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ ВЯЖУЩИМИ

Общая технология укрепления грунтов вяжущими материалами. При укреплении грунтов вяжущими материалами применяют два метода: 1) смешение вяжущего с грунтом на дороге

и 2) смешение укрепляемого материала с вяжущим в специальных установках (рис. 16.4, б). Перед началом работ необходимо уточнить экспериментальным путем дозировку влажных и активных добавок. Для этого на стройке должна быть организована лаборатория, в функции которой должна входить и систематическая проверка качества приготовляемых смесей грунтов с вяжущим и прочности слоев одежды. Специализирован-

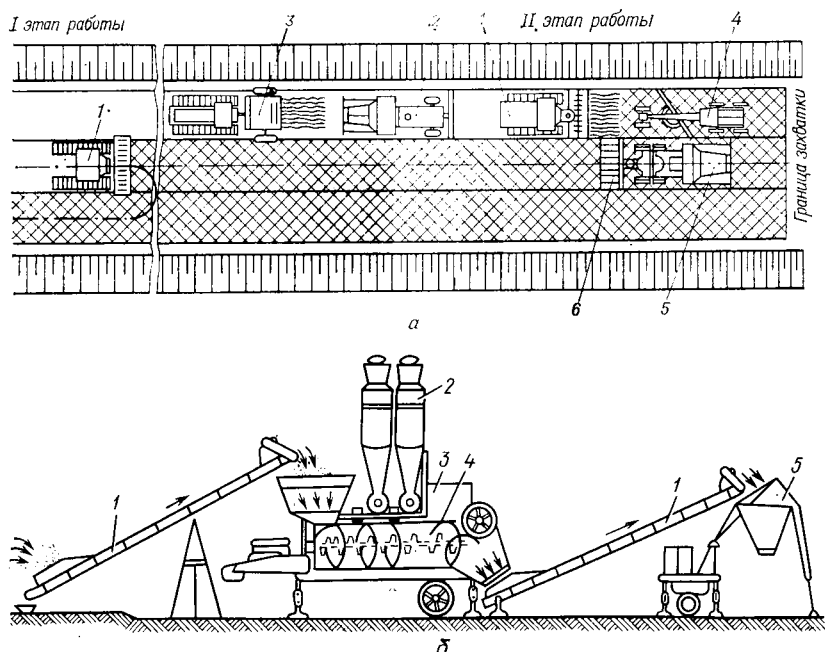


Рис. 16.4. Технологические схемы работ по укреплению грунта или гравийной смеси:

а — минеральным вяжущим с использованием дорожной фрезы ДС-18: 1 — дорожная фреза; 2 — распределитель цемента; 3 — автоцистерна с водой; 4 — автогрейдер; 5 и б — прицепной каток на пневмошинах с тягачом; б — с применением смесительной установки ДС-50: 1 — транспортеры; 2 — емкости и дозаторы активных добавок; 3 — пульт управления; 4 — смеситель; 5 — накопительный бункер

ный поток по устройству оснований или покрытий из местных грунтов, укрепляемых вяжущими материалами непосредственно на дороге, комплектуют на базе дорожных фрез (ДС-18, ДС-74), являющихся ведущими машинами. В зависимости от вида используемого вяжущего материала в поток входят комплектующие машины: цементовозы или битумовозы, распределители цемента или автогудронаторы, поливочно-мочные машины, машины для розлива пленкообразующих материалов, автогрейдеры, уплотняющие машины и др. В зависимости от вида грунтов и необходимой степени их размельчения применяют различные скорости вращения фрез. В технологическом отношении

особенно трудно добиться необходимого измельчения глинистых грунтов, так как агрегаты крупнее 5 мм не должны занимать больше 25 % общей массы грунта и агрегаты крупнее 10 мм должны составлять не больше 10 %. Значительное количество таких комочков глины в массе укрепленного грунта приводит к неоднородности смеси, насыщению водой грунтовых частиц и разрушению материала. Надо сказать, что этот недостаток отсутствует при использовании таких грунтосмесительных установок, как ДС-50А. Степень необходимого измельчения грунтов зависит также от вида применяемого вяжущего. Так, при применении цемента содержание комочков размером свыше 5 мм не должно превышать 10 % обрабатываемого грунта, а при использовании жидких реагентов фурфурола и анилина достаточно, чтобы комочков крупнее 10 мм было не свыше 15 %. Тонкость измельчения грунта зависит от поступательной скорости фрезы. Она должна быть в пределах 0,1—0,2 км/ч для тяжелых суглинков, 0,2—0,3 для легких и 0,3—0,6 км/ч для супесей. Избыток и недостаток влажности сверх оптимальной нежелательны. При избыточной влажности в грунт можно добавлять 2—3 % молотой негашеной извести, что ускоряет просыхание и облегчает измельчение грунта. Слой грунта, подлежащий обработке, разравнивают грейдером и слегка прикапывают.

В настоящее время считают [80], что для эффективного использования фрез лучше применять бескорытный профиль. Для полной загрузки комплектующих машин в отряде следует иметь две-три фрезы. Жидкое вяжущее вводится через дозировочно-распределительное устройство фрезы. Жидкий битум и деготь применяют в разогретом до рабочей температуры состоянии (80—90 °С). Другие жидкие реагенты должны иметь температуру не ниже +5 °С. Разлив начинают с крайней полосы. При применении порошкообразных вяжущих в комплект машин нужно включать прицепной распределитель цемента или автоцементовоз-распределитель. В этих машинах вяжущее вводится в грунт через полые сошники. Вся норма вяжущего распределяется за один проход.

При применении цемента и извести, а также фурфурол-анилина уплотнение укрепляемого грунта необходимо закончить за 4—5 ч после ввода вяжущего и увлажнения цементогрунтовой смеси и введения обоих вяжущих при применении фурфурол-анилина. Несоблюдение этого требования приведет к отрицательному результату. В то же время при обработке грунтов битумом и фосфорной кислотой процесс формирования смеси длительный и укатку смеси можно даже разрывать, устраивая перерыв до следующего дня. Укрепленные грунты укатывают после планировки поверхности катками на пневматических шинах и другими уплотняющими машинами. Режим уплотнения обычный с переходом от легких катков на тяжелые. Для по-

крытий из грунтоцемента и грунтоизвести, при применении сульфитно-спиртовой барды и фосфатного вяжущего следует принимать меры для предупреждения быстрого высыхания поверхности. Для этого по поверхности разливают пленкообразующие материалы, рассыпают песок или опилки с периодическим увлажнением. Любой из видов укрепленного вяжущим грунта при достаточной прочности назначенного проектом слоя все же имеет недостаточную износостойкость. В связи с этим по укрепленному грунту, предназначенному для покрытия, должен быть устроен слой износа в виде поверхностной обработки.

Процесс устройства слоев оснований и покрытий из грунта, укрепленного вяжущими, может быть значительно ускорен при использовании однопроходной грунтосмесительной машины (например, типа ДС-16Б). Эта машина осуществляет все технологические операции за один проход: измельчает грунт на глубину до 20 см, дозирует и распределяет вяжущее, перемешивая его с грунтом, предварительно уплотняет готовую смесь. Более широкое использование таких машин в лесной промышленности позволит расширить область применения различных вяжущих и отходов производства. В последнее время все чаще начали переходить к смешению грунтов с вяжущими не на дороге, а в карьерах, где обеспечиваются лучшее качество подготовленных для укрепления грунтов и полная равномерность смеси. Карьеры выбирают с супесчаными или легкосуглинистыми грунтами. В данном случае используют смесительную установку ДС-50А (рис. 16.4, б). Кроме того, на площадке нужно иметь передвижной склад вяжущего, емкости для воды и жидких добавок.

§ 4. СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ, УКРЕПЛЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИМИ ВЯЖУЩИМИ

Существуют следующие способы использования органических вяжущих при укреплении каменных материалов: поверхностная обработка, пропитка и смешение с каменным материалом на дороге или в установках. Для поверхностной обработки применяют вязкие битумы БНД 130/200 и 200/300 и жидкие СГ 130/200, для щебеночных, гравийных и грунтощебеночных слоев при смешении на дороге — СГ 40/70 и 70/130, для щебеночных, устраиваемых по методу пропитки, БНД 90/130 и 130/200 и для чернощебеночных, укладываемых в горячем состоянии (и асфальтобетонных), — БНД 60/90 и 90/130. Для понижения вязкости битумы перед разливом подогревают до рабочей температуры: БНД 200/300 до 80—130 °С, БНД 90/130 и 130/200 до 140—170 °С, СГ 25/40 и 40/70 до 60—80 °С и СГ 70/130 и 130/200 до 80—100 °С.

При устройстве дорожных покрытий с применением битумов нужно соблюдать определенные требования. Вязущее следует применять строго определенных марок в соответствии с типом покрытия и видом каменного материала. Минеральные материалы должны быть сухими и чистыми. Дело в том, что наиболее прочная связь битумной пленки с поверхностью минеральных частиц происходит в результате их химической адсорбции и поэтому одним из основных условий, обеспечивающих прочность смесей является удаление промежуточной фазы — полимолекулярного слоя влаги.

Согласно СНиП III.40—68 основания и покрытия из битумно- или дегтеминеральных смесей, приготовленных способом смешения на дороге, разрешается устраивать при влажности минеральных материалов не более 4 %. Ясно, что такое требование осложняет строительство в л е с о з а г о т о в и т е л ь н ы х районах. Трудности, связанные с влажностью, преодолеваются при применении битумных эмульсий.

Битумные эмульсии представляют собой однородную маловязкую жидкость, состоящую из

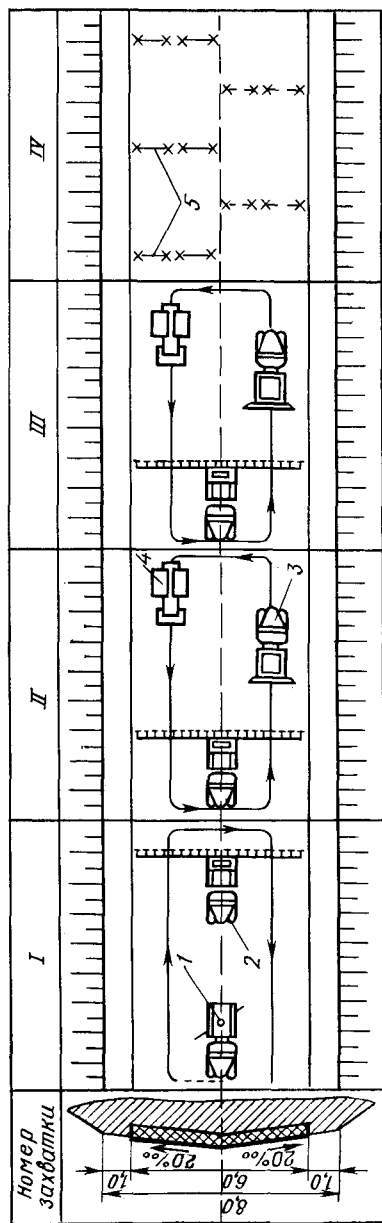


Рис. 16.5. Технологическая схема потока по устройству двойной поверхностью обработки:

1 — поливочно-моечная машина; 2 — автогудронатор; 3 — самосвалы с навесными распределителями; 4 — самоходный каток; 5 — переносные ограждения и знаки

битума и водного раствора эмульгатора. По структуре эмульсии делятся на два типа: прямые и обратные. В первых битум равномерно распределен в воде в виде мельчайших капель, окруженных слоем эмульгатора, во вторых вода распределена в битуме. По характеру эмульгатора эмульсии делятся на анионные и катионные. В анионных в качестве эмульгатора применяют мыла высокомолекулярных органических кислот, в катионных — органические азотсодержащие соединения (например, карбоксиламин). Анионные эмульсии активно взаимодействуют с основными минеральными материалами (содержащими CaO). С кислыми минеральными породами, содержащими NO_2 , они взаимодействуют слабо. Катионные эмульсии особенно активно взаимодействуют с кислыми минеральными материалами, образуя на поверхности любых горных пород прочную и водоустойчивую пленку. Сейчас значительно расширено применение прогрессивных катионных эмульсий. Способы обработки каменных материалов эмульсиями, температурные условия их применения и требования к эмульсиям и обрабатываемому материалу приводятся в ТУ по приготовлению эмульсий ВСН-115—75 [92]. Кроме осложнений, связанных с влажностью обрабатываемых каменных материалов и наличием в них кислых пород, существенное влияние на качество покрытий оказывает тщательность перемешивания смесей.

Поверхностная обработка. Схема создания слоя износа способом поверхностной обработки показана на рис. 16.5. Технология устройства одиночной поверхностной обработки состоит из следующих операций: 1) подготовки поверхности покрытия и его очистки от пыли и грязи с промыванием водой и обработкой щетками; 2) предварительного разлива жидкого вяжущего СГ 40/70 ($0,5—0,8 \text{ л/м}^2$) для слоя контакта; 3) основного разлива вяжущего с расходом битума при одиночной обработке от 1 до $2,4 \text{ л/м}^2$; 4) россыпи в разлитый слой горячего вяжущего износостойчивых минеральных материалов (мелкого щебня, гравия или крупного песка); 5) укатки слоя.

Слои покрытий из укрепленных грунтов очищают от комков и пластов засохшей грязи осторожными проходами легких грейдеров. Металлические щетки следует применять в этом случае очень осторожно, чтобы не повредить верхний слой укрепленного грунта. Особенно тщательной очистки требуют поверхность и швы мостовых. Предварительный разлив следует делать за 1—2 дня до основных работ. При этом жидкие битумы при теплой погоде можно не подогревать. Примерный расход битума и рассыпаемого минерального материала, а также и рекомендуемые размеры фракций приведены в табл. 16.1.

До начала разлива вяжущее подогревают до рабочей температуры, указанной выше. Через 20—30 мин после разлива слой жидкого битума или дегтя должен быть засыпан минеральным материалом (щебнем, полученным при дроблении твердых

Таблица 16.1

Вид поверхностной обработки	Рекомендуемые фракции для россыпи, мм	Примерный расход щебня, м ³ /100 м ²	Расход битума или дегтя, л м ²
Предварительный разлив	—	—	0,5—0,8
Поверхностная обработка:			
одиночная толщиной, см:			
1,5	15—20	2,55	1,6—1,8
2,0	15—25	2,70	2,1—2,4
двойная толщиной, см:			
1,5	10—25	2,3—2,7	1,7—1,9
2,0	15—25	2,5—3,0	2,3—2,6
2,5	15—30	3,5—4,0	3,0—3,5
3,0	15—30	4,0—5,0	3,5—4,0

пород камня, или гравием и крупным песком). Наибольший размер частиц не должен превышать толщину слоя вяжущего более чем на 5 мм. Если сразу после укатки слоя износа пойдет дождь или наступит похолодание, участок следует закрыть для движения до полного просыхания и последующей укатки. Для лучшего прилипания битума к минеральному заполнителю следует добавлять 1—3 % гашеной извести. Минеральный материал удобно рассыпать при помощи навесных распределителей к самосвалам. Для поверхностной обработки используют также ка-тионные эмульсии БК и СК и анионные БА-1 и СА.

Автомобиль с минеральным материалом должен двигаться задним ходом таким образом, чтобы колеса находились на рас-сыпанном слое каменной мелочи. После распределения мине-рального материала приступают к укатке, причем первые про-ходы катка должны быть сделаны до застывания вяжущего. Обычно используют достаточно тяжелые катки (5—8 т), од-нако они не должны раздавливать куски минерального мате-риала; для укатки слабых материалов следует применять более легкие катки. Хорошие результаты получаются при работе кат-ков на пневматиках (любой массы). Окончательная укатка и формирование слоя поверхностной обработки происходят под воздействием движущихся машин примерно в течение месяца. При двойной поверхностной обработке после укатки первого слоя все остальные операции при устройстве второго слоя (кроме предварительного разлива) повторяются.

Устройство покрытий с пропиткой органическими вяжущими щебеночного или гравийного слоя. Верхние слои из каменных материалов пропитывают жидким вяжущим на 4—6 см при об-легченной пропитке и на 8—9 см при полной пропитке. Под слоем, подвергающимся пропитке, должно быть достаточно прочное и плотное основание, чтобы вяжущее не проникало в него. Покрытия с пропиткой делают корытного профиля. На толщину устраиваемого слоя по сторонам отсыпают грунтовые валики (с последующей присыпкой обочин) или укладывают на

ребро доски, затем рассыпают щебень или гравий, причем размер наибольших фракций не должен превышать 0,7—0,8 толщины слоя пропитки. Рассыпанный и выровненный слой укатывают сначала легкими, затем тяжелыми катками (шесть-восемь проходов по одному месту). При этом слой не должен быть переуплотнен. Для разлива применяют вязкие битумы с рабочими температурами их разогрева. Расход вяжущего составляет 1,0—1,4 л/м² на 1 см толщины слоя, т. е. при облегченной пропитке 4,0—7,5 л/м². Вяжущее должно быть разогрето на битумной базе, во время перевозки в имеющих термоизоляцию гудронаторах их температура поддерживается на необходимом уровне форсунками подогрева. При разливе скорость автогудронаторов должна быть 5—7 км/ч. Битумные эмульсии СА, СК, МА-1 разливают без подогрева. При использовании эмульсии марки СА температура воздуха должна быть не менее 15 °С, а марки МА-1 — сухая погода и температура не менее 20 °С. При катионных эмульсиях температура должна быть не меньше 5—7 °С.

После разлива вяжущего, которое заполняет промежутки между каменными частицами, по поверхности покрытий рассыпают мелкий каменный материал размером 10—20 мм, который предназначен для заполнения крупных пор и усиления расклинки каменных частиц. Расход этого материала примерно 1 м³ на 100 м² поверхности. Затем покрытие укатывают тяжелым катком (пять-семь проходов по одному следу). В особо пористых местах при укатке дополнительно рассыпают мелкий щебень. По поверхности укрепленного пропиткой слоя рекомендуется устраивать слой износа в виде поверхностной обработки. Покрытия, устроенные по методу пропитки, выдерживают интенсивное автомобильное движение (до 500 машин в сутки) без расстройств.

Устройство покрытия из гравийного материала и щебня смешением с органическим вяжущим на дороге. Лучшим материалом при устройстве покрытий являются гравийные или щебеночные смеси оптимального состава. Необходимо отметить, что частицы размером больше 25 мм для гравия и 40 мм для щебня применять нельзя, так как крупные фракции легко выбиваются колесами автомобилей из покрытия, что вызывает появление выбоин.

Толщина слоя покрытия, устраиваемого способом смешения, 5—6 см, реже 8 см. Ниже такого слоя достаточно иметь основание из гравия, не обработанного вяжущим, или слон из укрепленного грунта. Профиль покрытия можно устраивать серповидным (при небольшой ширине дорог) и корытным. Валик из подвешенного каменного материала перед разливом битума (дегтя, эмульсии) разравнивают на ширину, меньшую ширины будущего покрытия на 0,5 м, или на ширину машин, которыми будет производиться перемешивание. Вяжущее на гравийный (щебеночный) материал разливают из гудронаторов в несколько

приемов. Перед разливом следует делать один проход дисковыми боронами или зубьями рыхлителя для образования на поверхности слоя ряда параллельных борозд, предохраняющих битум от стекания в сторону, к обочинам. При использовании передвижного смесителя (рис. 16.6) валик из гравийного материала не разравнивают и гравийный материал подают погрузчиком в смеситель.

Для увеличения прилипания битума к каменному материалу к нему добавляют древесный или торфяной деготь (10—15 % массы битума), в этом случае количество битума соответственно

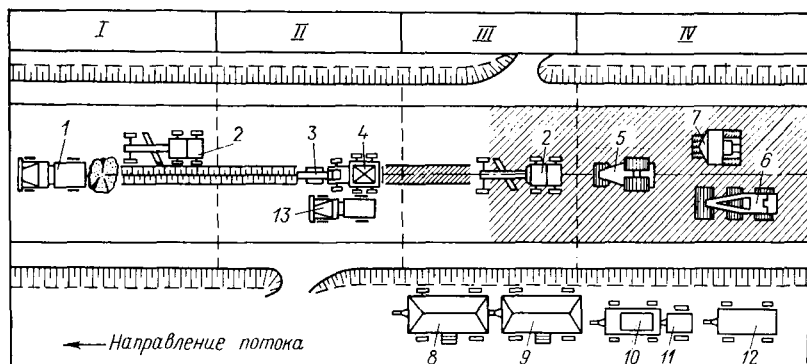


Рис. 16.6. Устройство покрытий или оснований из гравия (щебня), обработанных битумом с применением передвижного смесителя:

1 — самосвал; 2 — автогрейдер; 3 — погрузчик-тягач; 4 — передвижной смеситель; 5 и 6 — катки с гладкими вальцами массой 6—8 т и 12—15 т; 7 — самостоятельный каток на пневмошинах; 8 и 9 — вагончики для ИТР и рабочих; 10 — душевая; 11 — емкость для воды; 12 — туалет; 13 — автобитумовоз; I—IV — захватки

уменьшают. Деготь выливают на гравийный материал до разлива битумов. Средняя норма расхода битума составляет 4—6 % массы минерального материала, т. е. 4—6 л/м² покрытия толщиной 4—6 см. При смешении гравия с вяжущим на дороге грейдером битум разливают за 3—4 раза с нормой разлива от 1 до 2,5 л/м² за 1 раз, причем при последнем разливе не более 1,5 л/м². Ширина разлива должна быть на 10—15 см меньше ширины подготовленного слоя.

При использовании для смешения с каменными минеральным материалом битумных эмульсий МА-1, МА-2, СА или пасты желательнее перед обработкой вводить в минеральный материал 1—2 % извести (пушонки). Количество эмульсии (в пересчете на битум) 4,5—6 %. После разлива всего битума (дегтя) смесь окончательно перемешивают автогрейдером. Для этого смесь многократно переваливают с одной стороны дороги на другую, затем собирают в валик с последующим разравниванием. Если в период смешения начнется дождь, смесь собирают в валик и дальнейшее перемешивание прекращают. После перерыва смесь

нужно просушить, последовательно разравнивая и собирая в валик. Для окончательного смешивания при обычной ширине дорог достаточно сделать 8—10 проходов грейдером вместе с профилированием смеси. При использовании эмульсий число проходов сокращается в 1,5 раза. Отвал грейдера при смешивании устанавливают под углом 35—45° к оси дороги, он должен захватывать обрабатываемый слой на всю глубину. Всю работу по смешению следует закончить в течение 1—2 дней. Длина участка, на котором производится смешение, 500—800 м (чем устойчивее погода, тем длиннее участок). Хорошая смесь имеет однородную окраску, а при использовании битумов темно-коричневый цвет (с дегтем почти черный). Смесь не должна иметь сгустков вяжущего. При сжатии в комок рукой она должна сохранять форму только до первого прикосновения. Если при сжатии рукой комок не получается, значит в смеси не хватает вяжущего.

Для укатки лучше использовать пневмошинные катки; поверхность гладких металлических катков во избежание прилипания надо смазывать соляровым маслом с водой. Укатку начинают с обочин, делая четыре-пять проходов катка по одному следу, затем открывают движение, под воздействием которого слой окончательно уплотняется.

§ 5. ДОРОЖНЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОНА И БИТУМОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

В последнее время появились рекомендации на грузосборочных и высших категориях лесовозных автомобильных дорог использовать для покрытий асфальтобетон, имеющий широкое распространение на автомобильных дорогах общего пользования [95]. Асфальтобетоном называется материал, образующийся после уплотнения асфальтобетонной смеси, приготовляемой в смесителях путем смешения в нагретом состоянии щебня или гравия различной крупности, песка (природного или дробленого), минерального порошка и нефтяного дорожного битума, взятых в строго определенных соотношениях. Свойства асфальтобетона нормированы ГОСТ 9128—76. После укладки асфальтобетон приобретает свойства механического камня.

Асфальтобетоны бывают щебеночные, состоящие из щебня, песка, минерального порошка и битума, гравийные, состоящие из гравия, песка (или песчано-гравийного материала), минерального порошка и битума, и песчаные, в которые кроме песка входят минеральный порошок и битум. В зависимости от вязкости применяемого битума и температуры укладки в конструктивный слой асфальтобетоны подразделяются на горячие, холодные и теплые. Так, при приготовлении горячих смесей применяют битумы БНД 90/130, 60/90 и 40/60, для теплых смесей — БНД 200/300 и 130/200, а также жидкие битумы

СГ 130/200. Холодные смеси готовят с использованием жидких битумов СГ 70/130 и МГ 70/130.

Температура укладки горячих смесей не ниже 100—120 °С и теплых 70—80 °С. До укладки в покрытие холодные смеси можно хранить 4—8 месяцев. Их укладывают при температуре окружающего воздуха не ниже +5 °С весной и +10 °С осенью. Покрытия из таких смесей формируются медленно: от 10—15 до 20—40 суток в зависимости от вида битума и степени активизации минерального порошка. Горячие и теплые асфальтобетоны с учетом их назначения подразделяются на крупнозернистые, с зернами до 40 мм, среднезернистые, с зернами до 20 мм, и мелкозернистые, с зернами до 10—15 мм. В песчаных зерна до 5 мм.

С учетом назначения горячие и теплые асфальтобетоны подразделяются на плотные с остаточной пористостью 2,5—5 % и пористые с пористостью 5—10 %. Первые применяют в верхних слоях покрытий, вторые в нижних слоях или в основаниях. В зависимости от содержания щебня (гравия) и песка горячие и теплые асфальтобетоны разделяются на типы, обозначаемые буквами русского алфавита: А содержат 50—65 % щебня, Б — 35—50 % щебня или гравия, В — 20—35 % щебня или гравия, Г — не менее 33 % фракции 1,25—5 мм в дробленном песке, Д — не менее 14 % фракции 1,25—5 мм в природном песке. Холодные смеси бывают трех типов — Б_х, В_х и Д_х с примерно аналогичным составом минеральных материалов. В зависимости от вида горных пород, вида материалов, показателей их прочности и типа минерального порошка горячие и теплые асфальтобетоны делятся на четыре марки [95]. Предел прочности при сжатии при 20 °С составляет (в Па) для I марки $24 \cdot 10^5$, для II $22 \cdot 10^5$, для III $20 \cdot 10^5$, для IV $16 \cdot 10^5$. Холодные асфальтобетоны имеют только I и II марки, предел прочности при сжатии при температуре 20 °С водонасыщенного асфальтобетона для I марки $(11 \div 12) \cdot 10^5$ и для II $(7 \div 8) \cdot 10^5$, для сухого I марки $(15 \div 17) \cdot 10^5$ и II марки $(10 \div 12) \cdot 10^5$. Для усовершенствованных капитальных покрытий применяют асфальтобетоны горячие I и II марок и теплые I марки; для усовершенствованных облегченных покрытий горячие III и IV марок, теплые II—IV марок и холодные обеих марок.

Асфальтобетоны готовят на стационарных или передвижных асфальтобетонных заводах (АБЗ), технологический процесс на которых складывается из следующих операций: предварительного грубого дозирования влажных песка и щебня, их просушивания и нагрева до заданной температуры, сортировки песка и щебня по гранулометрическим фракциям, дозирования песка и щебня и параллельно подачи и дозирования минерального порошка, нагрева, подачи и дозирования битума и, наконец, перемешивания всех составляющих и выдачи готовой смеси. Большинство действующего и выпускаемого вновь оборуду-

дования рассчитано на такую технологию, по которой сушку и нагрев минеральных материалов проводят отдельно от их перемешивания с органическими вяжущими и осуществляют с помощью двух отдельных агрегатов: сушильного барабана и смесителя. Более современный способ, находящий все более широкое применение, заключается в том, что просушивание минеральных материалов, их нагрев и смешение с битумом выполняют в одном агрегате — сушильно-смесительном барабане. Этот способ называется турбулентным.

Доставляемую на дорогу асфальтобетонную смесь выгружают в бункер асфальтоукладчика ДС-1 (без его остановки), откуда она двумя пластинчатыми питателями, расположенными на дне, подается к шнекам, которые распределяют смесь по ширине укладываемой полосы. Толщину слоя регулируют при помощи подъемных винтов, поднимая или опуская ими рабочие органы. Количество смеси регулируют шиберными заслонками. Трамбующий брус укладчика предварительно уплотняет смесь, что заменяет два-три прохода легкого катка. Расположенная за укладчиком выравнивающая плита отделяет поверхность. Она перед началом работ обогревается форсункой и в холодную погоду периодически прогревается в течение смены. Шарнирное соединение рабочих органов укладчика позволяет устраивать покрытия с различными поперечными уклонами. Ширина укладываемой полосы 3,03—3,53 м, толщина слоя от 3 до 15 см, производительность ДС-1 примерно 80—100 т/ч. Асфальтоукладчик ДС-48 — на пневмоходу, с бункером вместимостью 8—10 т, ширина укладки 3,03; 3,53 и 3,78 м, производительность до 200 т/ч. Укладчик имеет электронную следящую систему, что обеспечивает хорошую ровность покрытия. Горячие и теплые смеси уплотняют самоходными катками с гладкими металлическими вальцами, самоходными катками на пневмошинах и виброкатками. В последнем случае окончательное уплотнение выполняют тяжелыми катками с металлическими вальцами, холодных смесей — самоходными катками на пневмошинах или виброкатками. Допускается первоначальное уплотнение смесей катками с металлическими вальцами и последующее доуплотнение движением автомобилей с регулированием его по всей ширине в течение 10 суток с ограничением скорости до 40 км/ч.

Применение асфальтобетонных смесей при строительстве лесовозных дорог требует значительных капиталовложений для создания дорожно-строительных баз (битумохранилищ с предварительным разогревом, битумопроводов с паровыми или масляными теплоносителями, АБЗ, складов необходимых компонентов). В то же время разобщенность лесовозных дорог даже в пределах одного предприятия не дает возможности доставлять асфальтобетонные смеси с одного завода на дороги других предприятий. Таким образом, организация строительства асфальтобетонных дорог, сложившаяся в строительных организациях, строящих автодороги общего пользования, не может быть без серьезных корректив перенесена на лесовозные дороги.

Представляет интерес технология постройки покрытий из битумо-минеральных смесей, применяемая в Пермской области. Предназначенный для

обработки битумом гравийно-щебеночный материал укладывают валиком на дорогу по оси проезжей части. Самоходный погрузчик (например, Д-415) захватывает каменный материал из валика и загружает его в сушильный барабан (например, Д-381), высушенный материал разгружают на дорогу в виде валика, и второй самоходный погрузчик загружает его в смеситель (например, Д-370), смонтированный на пневмоходу. Можно также использовать и смеситель Д-407, который еще удобнее, так как имеет многокошковый элеватор для подъема нагретых минеральных материалов с дороги и загрузки в питатель машины. Готовую смесь разгружают на дорогу в валик, затем разравнивают автогрейдером и катками уплотняют. Такая технология и предлагаемый комплект машин позволяет значительно снизить потребность в технологическом транспорте, необходимом для перевозки смесей и каменных материалов на АБЗ и от него, и сократить продолжительность технологического процесса. Но и этот способ имеет ряд недостатков, так как требуется значительное количество различного технологического оборудования и создается необходимость два раза поднимать и загружать щебеночно-гравийную смесь. Поэтому представляет большой интерес специальное устройство, позволяющее объединить технологические операции по приготовлению и укладке битумокаменеральных смесей и еще более сократить продолжительность технологического процесса по их приготовлению непосредственно на дороге, предложенное И. А. Афанасьевым и Л. Н. Плакса. Устройство состоит из рамы, на которой смонтированы две последовательно соединенные между собой камеры — камера сушки с форсунками и камера обволакивания битумом нагретых каменных материалов. Каждая камера имеет захватывающие устройства в виде лопастных роторов. Имеются также емкости топлива, емкость для битума, насос-дозатор, разравниватель смеси и вибробрус. Это устройство, перемещаясь по уложенному на ранее построенном основании — слое каменного материала, поднимает лопастным ротором частицы материала, переводя их во взвешенное состояние, при котором материал подвергается воздействию горячего газового потока и высушивается. Затем материал поступательно перемещается в камеру обволакивания и опрыскивается под давлением битумом из сопел. Полученную горячую битумокаменеральную смесь профилируют разравнивателем и уплотняют вибробрусом. Дальше уложенный слой укатывают так же, как и в предыдущих технологических процессах.

§ 6. ПОСТРОЙКА КОЛЕЙНЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Колейные дороги из железобетонных плит. Технология постройки дорожной одежды из железобетонных плит следующая. На земляное полотно отсыпают дренирующий слой, на который затем будут уложены плиты. Дренирующий слой следует хорошо уплотнить виброкатками или катками на пневматиках. При использовании прицепных катков и их более удобного разворота на однополосной дороге для укатки следует устраивать длинные захваты с съездами в конце их. При использовании самоходных катков применяют челночную схему и в устройстве съездов необходимости нет. После укатки восстанавливают на песчаном слое ось дороги и от нее фиксируют проектное расстояние до наружной кромки плит, которое закрепляют колышками, а перед укладкой плит между колышками параллельно оси дороги натягивают шнур. Место второго колесопровода устанавливают по шаблону. Для укладки плит в основном используют краны (рис. 16.7) и плитоукладчики. На прямых участках плиты укладывают с зазором

1,0—1,5 см. При постройке однополосной дороги автомобили с плитами разворачиваются на ближайшем разъезде и подъезжают к автокрану задним ходом, а при наличии второго (обычно грунтового) пути автомашины останавливаются на нем несколько впереди автокрана. С одной стоянки автокран укладывает четыре-шесть плит. Кроме крановщиков, на укладке плит надо иметь еще 3 рабочих, двое укладывают плиты, а третий соединяет плиты в стыках, забивая в них деревянные антисептированные бруски сечением 5×5 см из хвойной древесины. Число машин на подвозке плит зависит от расстояния транспортирования последних, но должно обеспечить непрерывную работу укладочного крана. Если земляное полотно построено заранее, за год до укладки покрытия целесообразно плиты завозить в зимний период непосредственно к месту укладки. В этом случае производительность крана и темп укладки покрытия значительно возрастают. После укладки плит полосу для порожнякового движения (если она предусмотрена), междолейное пространство и обочину засыпают дренирующим материалом, планируют грейдером и уплотняют. Междолейное пространство лучше заполнять не песком, а укрепленным грунтом, так как в этом случае вода не будет попадать под плиты и вымывать из-под них песок. Плиты из силикатобетона полимербетона или асфальтобетона укладывают аналогично.

Деревянно-лежневые дорожные одежды. При большом объеме работ по строительству лежневого покрытия целесообразно устраивать специальный стройдвор для заготовки элементов деревянного покрытия (брусьев для колесопроводов, которые здесь же собирают в щиты длиной от 4 до 6,5 м, а затем на автомобилях доставляют к месту укладки). Стройдвор оборудуют шпалорезным и электросверлильным станками, электродолбежниками, электро- или бензопилами и др. Антисептирование древесины значительно продлевает срок службы деревянного покрытия.

После возведения земляного полотна на него укладывают через 0,85—1,0 м шпалы (деревянные пластины) или лежни. Колесопроводы собирают на месте из древесины, заготовленной при прорубке просеки. Крепление лежней со шпалами следует выполнять деревянными квадратными нагелями, забиваемыми в круглое отверстие, а при применении щитов лежни в щите крепят стяжными болтами. При сборке конструкции необходимо делать некоторую пригонку и простейшие врубки.

Для засыпки деревянно-лежневого покрытия следует применять по возможности супеси, близкие по составу оптимальным грунтовым смесям. Не рекомендуется применять песчаные грунты с числом пластичности меньше 3 и суглинки с числом пластичности свыше 12. Недренирующие грунты с числом пла-

стичности больше 12 можно использовать только в смеси с крупнозернистыми добавками.

Последовательность устройства деревянно-земляного покрытия зависит от почвенно-грунтовых условий и категории пути и состоит из выстилки хвороста на заболоченных участках; подтаскивания трактором деревянных поперечных и продольных лаг; пригонки и укладки продольных и поперечных лаг, раскладки и выравнивания шпал; укладки щитов или устройства сборных колесопроводов из отдельных брусьев или пластин; прочного укрепления элементов верхнего строения; засыпки подвозимым дреннрующим грунтом.

§ 7. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЙКИ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВРЕМЕННЫХ ДОРОГАХ

На временных дорогах применяют различные типы сборно-разборных покрытий, наиболее распространенными из них являются железобетонные плиты и деревянные щиты.

Технология постройки и перекладки покрытий из железобетонных плит. Усы с колесопроводами из плит устраивают трех типов, каждый из которых соответствует типу местности по условиям увлажнения: с укладкой плит на спланированную поверхность земляного полотна — I тип; на земляное полотно, отсыпанное из водоотводных канав, — II тип; на земляное полотно, отсыпанное на хворостяную подушку, — III тип.

Подготовка полосы заключается в уборке валунов и срезке имеющихся кочек, засыпке грунтом ямы после корчевки. Основание под плитами должно быть хорошо уплотнено. Укладка плит на спланированное основание производится так же, как и на магистральных дорогах. Значительные трудности возникают при разборке покрытий из плит, уложенных на глинистый грунт. В таких случаях надо сначала зацепить стропами одну сторону плит и отрывать ее от основания, а затем перецепить и погрузить плиты на автомашины для перевозки на новое место. Производительность автокранов как на укладке, так и на разборке плит на усах составляет 60—65 шт. в смену. Общая потребность в рабочей силе составляет от 110 до 170 чел.-дней на 1 км.

Технология постройки и перекладки покрытий из деревянных щитов. Основания усов с щитовым покрытием в зависимости от грунтовых и гидрологических условий делятся на четыре типа. I тип применяют на переувлажненных минеральных грунтах, не допускающих многократных проходов машин (без покрытия), II тип — на сырых и заболоченных местах и на нормально увлажненных болотах с плотным торфом до 2 м; III тип — на периодически увлажняемых болотах с той же мощностью торфа; IV тип — на сырых болотах, заполненных слабым торфом мощностью до 2 м. Ширина разрабатываемой про-

секи во всех случаях должна быть не менее 10 м и определяется условиями работы укладочного механизма. На усах I и II типов необходима корчевка или спиливание пней заподлицо на ширину 5 м, на усах III типа спиливание пней заподлицо на ширину 7 м, на усах IV типа на 8 м. Грунтовое основание на усах I типа планируют с засыпкой ям от корчевки, на усах II типа укладывают поперечные лаги с расстоянием между ними 1,5 м, на усах III типа на подготовленную дорожную полосу укладывают продольные лаги с расстоянием между ними 0,9 м и поверх поперечные лаги; на усах IV типа основание устраивают в виде клетки из поперечных и продольных лаг. При всех типах усов деревянные щиты укладывают на шпалы, заготавливаемые при разрубке просеки из мелкотоварной древесины. Диаметр шпал при I и II типах основания может быть небольшим (6—10 см), так как их укладывают для выравнивания основания. В двух остальных случаях диаметр шпал должен быть от 8 до 14 см. Зарезные шпалы, имеющие пазы на ширину щита, изготовляют из древесины большего диаметра (24—26 см). Глубина паза 10—12 см.

В настоящее время для укладки и разборки щитов используют щитоукладчик ЛД-17, сконструированный ЦНИИМЭ на базе трактора ТБ-1. В этом случае автопоезд с щитами разгружают в начале строящегося уса щитоукладчиком с помощью гидроманипулятора и грейферного захвата. Загрузив кассету, ЛД-17 развозит щиты вдоль трассы уса и укладывает в покрытие. Укладка и соединение одного щита с ранее уложенным занимают 4—5 мин. Укладку щитов выполняет звено, состоящие из тракториста и двух рабочих, на разборке заняты 2 человека, но может выполнять и 1 тракторист. Покрытие разбирают в обратном порядке. Щиты из покрытия грузят в кассету щитоукладчика и перевозят к месту складирования. Кроме укладки и разборки покрытия, агрегаты ЛД-17 используют на подвозке и укладке лежней и шпал, планировке основания уса, сборке шпал на отработанных усах.

§ 8. СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ ЗИМНЕГО ДЕЙСТВИЯ

Основанием дорожной одежды на зимних дорогах является хорошо замороженное земляное полотно, а покрытием — слой льда, уплотненного снега или мерзлого почвогрунта. В связи с тем, что слой покрытия устраивают из относительно непрочных материалов, его функция — выравнивание поверхности и защищать замороженное основание от тепловых воздействий во время оттепелей и в весенний период. Прочность дорожных одежд зимних дорог и их несущая способность зависят от прочности основания, степени и глубины его промораживания [87]. Технологическая последовательность строительства зимних дорог следующая. После прорубки просеки

(обычно в зимний период) приступают к корчевке и срезке пней и планировке земляного полотна (летом), удалению кустарника и мелколесья. Растительный слой необходимо удалять со всей ширины земляного полотна для лучшего промораживания основания. Пни корчуют на грузовых полосах магистрали и веток при устройстве насыпи высотой менее 0,5 м. При высоте насыпи от 0,5 до 1 м пни срезают заподлицо, а при высоте более 1 м можно оставлять пни высотой до 0,2 м. На порожняковых полосах пни срезают заподлицо с землей только на ширину земляного полотна с выполнением необходимой планировки. Земляные работы на зимних дорогах имеют минимальные объемы. Одновременно с земляными работами убирают валежник, валуны, засыпают ямы от корчевки, срезают мелкие неровности и планируют поверхность. На заболоченных участках для прохода тракторов во время проминки необходимо прошпаливание, т. е. укладка поперек трассы бревен длиной 5—6 м, толщиной 10—14 см через 0,4—0,7 м друг от друга. А на глубоких медленно промерзающих болотах устраивают сплошные настилы из древесины, поверх которых отсыпается слой грунта.

При наступлении первых морозов на сырых участках и неглубоких болотах делается проминка. Одновременно проходят тракторами по прошпаленным участкам, причем вся лежащая на поверхности древесина должна быть втоплена в болото. При использовании тракторов или тягачей с уширенными гусеницами можно прошпаливание основания не делать. Для проезда через овраги и постоянные водотоки в летний период устраивают простейшие мостики.

Практика показала, что наиболее хорошее покрытие, обеспечивающее ровность и прочность дороги,—ледяное. Покрытие из уплотненного снега следует устраивать только при большой удаленности источников водоснабжения. Ледяное покрытие создается поливками воды поливочными машинами общего назначения или специальными водополивочными машинами (ЛД-21А и др.), разработанными в СевНИИПе, конструкция которых удобна и для постройки и для содержания зимних дорог. Наиболее благоприятная температура воздуха для поливки от —5 до —20 °С. Первыми проходами воду разливают на ширину 2,5—3,0 м, т. е. главным образом на проезжую часть, а затем и на всю ширину дороги. Первоначально поливают круглосуточно, а после начала движения автопоездов—главным образом в ночное время. В первые месяцы зимы не следует стремиться к созданию толстого ледяного (или снежного) слоя, так как он будет замедлять промораживание основания. Минимальная толщина ледяного слоя определяется условиями его сохранения во время оттепелей. Она может быть определена по формуле А. П. Калашникова

$$h_{\text{мин}} = 0,73 \sqrt{Ct}, \quad (16.3)$$

где 0,73 — опытный коэффициент, учитывающий скрытую теплоту плавления льда, теплопроводность и другие факторы; C — средняя положительная температура в период оттепели, °C; t — продолжительность оттепели, ч.

Использование выпадающего на дорогу и предварительно уплотняемого снега сокращает потребность в воде на 15—20 %. В то же время большие слои снега на проезжей части оставлять нельзя, так как они не будут полностью политы водой и останутся снежные прослойки, из-за которых произойдут сколы льда. При незначительных снегопадах (до 5 см) в уборке снега нет необходимости, его уплотняют колесами машин, а затем поливают. При поливке на подъемах, южных склонах, а также на кривых целесообразно вмораживание опилок для устранения скольжения колес автомобилей и продления срока службы ледяного покрытия в весенний период. Расход воды на 1 км обледеняемой дороги составляет 500—1000 м³.

Снежные уплотненные покрытия имеют более низкие показатели и быстро разрушаются во время оттепелей и в весенний период.

Глава 17

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ УЗКОКОЛЕЙНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Строительство железных дорог имеет существенные особенности. Подвозка всех строительных материалов проходит только по рельсовому пути; наиболее дорогую часть пути по существу только монтируют на месте строительства, так как на земляное полотно укладывают и соединяют в стыках готовые звенья рельсошпальной решетки. Балластный слой отсыпают после укладки рельсошпальной решетки, а затем специальными приемами и машинами укладывают под рельсошпальную решетку. Строительство узкоколейных железных дорог отличается также и объемами работ, так как ширина земляного полотна УЖД в 2—3 раза меньше, чем ширина автомобильной дороги того же грузооборота. Так, при строительстве автодороги для вывозки 800 тыс. м³ в год ширина земляного полотна должна быть 10,5 м, а при строительстве УЖД 4 м. На возведение 1 км земляного полотна при высоте насыпи автодороги 1 м требуется 12 тыс. м³ грунта, при строительстве УЖД 5,5 тыс. м³, причем с меньшими требованиями к степени уплотнения. Особенно большая разница в строительстве путей кратковременного действия. Если строительство

автодорожных усов с достаточной несущей способностью до сих пор остается по существу нерешенной проблемой, то строительство усов на УЖД полностью механизировано, хорошо освоено и построенные усы обеспечивают проезд подвижного состава в любое время, при любых погодных условиях с незначительным сопротивлением движению и затратами горючего.

Земляное полотно железных дорог в целом устраивают теми же способами, что и на автодорогах, но его меньшая ширина позволяет обходиться односторонними резервами. Как правило, УЖД устраивают с насыпями высотой не менее 0,5 м, когда не требуется снятия растительного слоя и корчевки пней. Земляное полотно в этом случае также нужно уплотнять послойно, но требуемая плотность нормируется объемной массой сухого грунта (в т/м^3), величина которой должна быть для мелких и пылеватых песков 1,5—1,6, для супесей 1,7—1,75, для суглинков легких и пылеватых 1,6—1,65, для суглинков тяжелых 1,55—1,60 и для тощих и пылеватых глин 1,45—1,55. В связи с незначительной шириной земляного полотна возникают большие трудности при развороте прицепных катков, для которых надо специально устраивать съезды и разворотные площадки. В связи с этим при строительстве УЖД предпочтительнее самоходные катки на пневматиках и вибрационные, способные работать челночным способом.

Трапецидальную сливную призму следует создавать специальным планировщиком из брусьев или бревен, отесанных на один-два канта. С нижней стороны к ним прикрепляют рельсы, уложенные на бок, так что подошва образует скребок, формирующий трапецидальную поверхность земляного полотна. Такой планировщик-скребок протаскивает по земляному полотну трактор.

§ 2. УКЛАДКА РЕЛЬСОШПАЛЬНОЙ РЕШЕТКИ

Как указывалось, рельсошпальную решетку укладывают непосредственно на земляное полотно до отсыпки балластного слоя. При этом земляное полотно под шпалами несколько сминается, поэтому целесообразно предварительно отсыпать хотя бы незначительный слой балластного материала (порядка 10—12 см) на поверхность земляного полотна и укладывать на него рельсошпальную решетку с последующим подвозом остальной части балластного материала поездами по уложенному рельсовому пути. В этом случае сливная призма должна быть треугольная. Сам способ укладки рельсошпальной решетки в том или другом случае остается одинаковым. В настоящее время повсеместно применяется механизированная укладка решетки заранее собранными звеньями, путеукладоч-

ными поездами, состоящими из движущего поезд локомотива, нескольких специальных платформ, на которых размещаются пакеты звеньев, и путеукладочного крана. В лесной промышленности наибольшее распространение получили путеукладочные поезда СРП-2 и ППР-2.

С 1980 г. Камбарский машиностроительный завод приступил к выпуску новых путеукладочных поездов с тепловозом ТУ6А и укладочным краном новой конструкции. Такой строительный поезд получил название ТУ6СП. Кроме основных механизмов, он комплектуется путерасшивателем для отрыва шпал при раздельной разборке пути, рельсорезным станком для резки рельсов, двумя электрошпалоподбойками и рельсо-сверлильным станком для сверления отверстий в шейках рельсов. Укладочный кран двухконсольный, имеет дистанционное управление движением. Поезд снабжен специальными салазками для перемещения пакетов звеньев по платформам, тормозными башмаками и чокером для переворачивания нижнего звена в пакете, энергосиловым агрегатом в виде дрезины ТУ-6Д, пятью платформами для размещения пакетов звеньев и укладочным консольным краном. На платформы укладывают пакеты, состоящие из восьми звеньев. Вместимость всего поезда, включая звенья, укладываемые на платформе крана,—384 м. Расчетная производительность (в м/ч): при звеньевой укладке путевой решетки 60, при поэлементной укладке пути 25, при звеньевой разборке 60 и поэлементной разборке 30. Обслуживающий персонал 3—6 человек в зависимости от вида работ. Транспортная скорость передвижения 25 км/ч, технологическая 2,5 км/ч.

Энергосиловой агрегат (рис. 17.1, а) на базе дрезины ТУ6Д имеет генератор мощностью 50 кВт с щитом управления, двухбарабанную лебедку с максимальным тяговым усилием 20 кН и электропривод с дистанционным управлением. С помощью лебедки можно корчевать деревья и пни и растаскивать древесину по трассе. Машинист ТУ6СП должен уметь управлять передвижной электростанцией, путеукладочным краном, лебедкой и системой дистанционного управления. Кондуктор поезда является помощником машиниста ТУ6СП и на его обязанности лежит монтаж тросо-блочной системы и работа с ней, перемещение пакетов звеньев и управление путеукладчиком. Грузоподъемность платформ (промежуточных) 14 т. На раме для лучшего передвижения звена установлены ролик-ганги, а в средней части ролики. Для удержания нижнего звена имеются рельсовые зажимы и приспособления для увязки пакета. Путеукладочный кран (рис. 17.1, б) смонтирован на базе тормозной платформы на тележках с люлечным подвешиванием. На его платформе также имеются ролики для передвижения пакетов. В верхней части расположена ферма с двумя консолями и швеллерными направляющими, по кото-

рым на роликах перемещается грузовая тележка, имеющая автоматический захват для звеньев. В верхней части фермы установлены электротали, которые с помощью тросо-блочной системы обеспечивают привод автоматическому захвату и грузовой тележке. На путеекладчике имеется переносной пост управления, обеспечивающий подъем и перемещение звена,

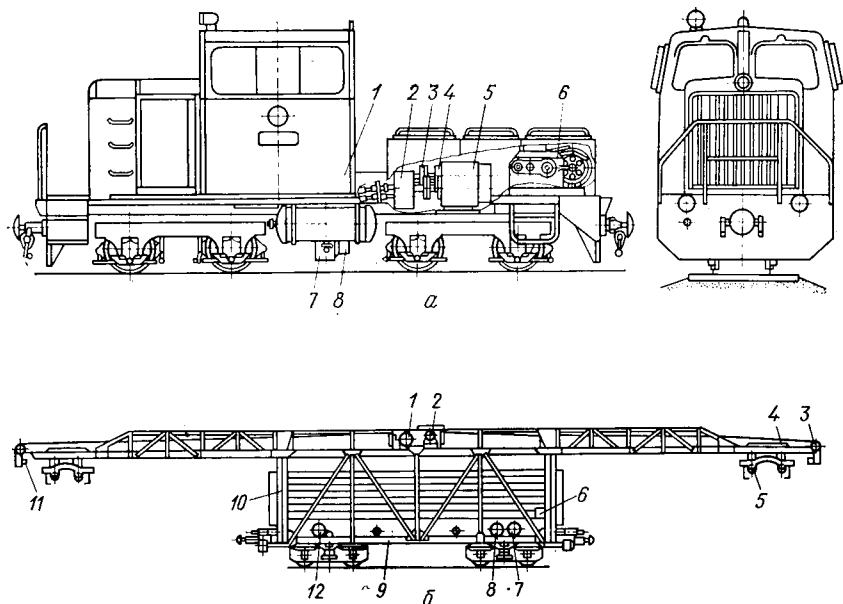


Рис. 17.1. Строительно-ремонтный поезд СРП-3 (ТУ6СП):

а — энергосиловой агрегат ТУ6СП: 1 — кабина; 2 — редуктор; 3 — муфты; 4 — электродвигатель технологического передвижения; 5 — генератор; 6 — лебедка; 7 — реверс-редуктор; 8 — масляный насос; 9 — путеекладочный кран; 10 — электротали; 11 — ограничитель груза; 12 — тележка грузовая; 13 — автоматический захват; 14 — переносный пульт управления; 15, 16 — управление захватами; 17 — управление ручным тормозом; 18 — рама путеекладчика; 19 — ферма; 20 — конечный выключатель

передвижку всего состава в технологическом режиме, а также подачу звуковых сигналов и автоматическую остановку всех механизмов.

Предварительную сборку рельсовых звеньев выполняют на специальных звеносборочных базах.

При сборке звеньев шпалы предварительно укладывают по эюре. Для их лучшего сохранения и длительной работы костылей перед забивкой последних в шпалы следует просверливать отверстия диаметром на 2 мм меньше боковых граней костыля. Эти отверстия смачивают антисептирующей жидкостью. На уложенные по эюре шпалы укладывают сначала один рельс, затем по шаблону второй. Если подкладки не при-

меняют, то на шпалах должны быть предварительно сделаны затесы, обеспечивающие подуклонку рельсов. Для механизированной зарезки мест подуклонки применяют специальные фрезы или же вручную делают зарубки специальным топором-декселем. На сборке звеньев занята бригада из 6—7 человек, которая за смену собирает 30—50 звеньев в зависимости от степени механизации рабочих операций.

Нижние звенья каждого пакета укладывают на рельсоукладочный поезд рельсами вниз, чтобы они располагались на роликах, установленных на полу платформы. Перевозимые пакеты крепят к полу и стенкам цепями или другими приспособлениями. Укладка рельсошпальной решетки состоит из следующих операций: перемещения пачки звеньев с платформы на укладочный кран, поднятия одного звена, перемещения звена в подвешенном состоянии под балкой крана к концу его переднего вылета, опускания звена на грунт, соединения укладываемого в путь звена с ранее уложенным накладками и перемещения крана и всего поезда вперед на длину уложенного звена. Когда пачка звеньев, находившаяся на укладочном кране, полностью уложена, на ее место перемещается следующая пачка. Производительность путеукладочных поездов составляет 350—400 пог. м пути в смену.

При незначительных объемах работ путь укладывают вручную раздельным способом. Для этого необходимо предварительно разметить ось пути и колышками отметить концы будущих звеньев. Шпалы следует заранее развезти вдоль по пути либо автомашинами, проходящими по земляному полотну, либо трелевочными тракторами, проходящими сбоку земляного полотна. Перед укладкой шпалы вручную раскладывают поперек оси и выравнивают один их торец по шнуру. К концу ранее уложенного пути на путевых тележках подвозят от места складирования рельсы со скреплениями, которые кладут на шпалы («растягивают» в нитку). После укладки двух рельсов и соединения в стыке на их шейке размечают положение осей шпал по эюре, и еще не закрепленные шпалы сдвигают с тем, чтобы их расположить в соответствии с разметкой. После этого рельсы пришивают к шпалам с соблюдением установленной ширины колеи и выправляют путь в плане (рихтовка) вручную, передвигая рельсошпальную решетку по указанию бригадира или мастера. При укладке стыки должны устанавливаться строго по наугольнику для последующей механизированной разборки и перекладки звеньев. Материалы подвозят поездами, например тепловозом ТУ-6Д, имеющим погрузочный кран грузоподъемностью 10 т. К тепловозу прицепляют одну платформу. Состав бригады зависит от темпа укладки и наличия механизмов. Бригада из 4—5 человек укладывает 80—100 м в смену, из 8 человек 210—220 и из 11 человек 250—270 пог. м пути.

При укладке пути рельсы целесообразно сваривать в длинные плети. Сварку рельсов в стыках можно выполнять до и после укладки их в путь. При первом способе рельсы сваривают на специальном полигоне вручную или рельсосварочными стационарными машинами РКСМ 200МА. В последнем случае прочность рельсов в сварных стыках почти не отличается от прочности сечений целого рельса. При укладке пути звеньями, имеющей наибольшее распространение, сварку проводят после укладки рельсошпальной решетки и балластировки агрегатом «Искра-1», установленным на шасси трактора ТДТ-75. На тракторе смонтирован стреловой кран К-55 для подъема и опускания сварочной головки, сконструированной в Институте сварки им. Патона. Эта сварочная головка осуществляет автоматизированную сварку рельсов по заданной программе контактным способом, обеспечивающим высокую прочность в месте сварки. Работу выполняет бригада из 4 человек (оператора-сварщика и 3 путевых рабочих); первый рабочий разбалчивает стыки и расширяет пристыковые шпалы, второй разгоняет стыковые зазоры, третий зачищает торцы и шейку рельсов в местах сварки, используя электрошлифовки. Оператор-сварщик (он же тракторист) управляет машиной, переезжает от стыка к стыку, устанавливает сварочную головку на стык, управляет процессом сварки стыка. Расчетная производительность машины 50 стыков в смену. При сварке рельсов достигается экономия стыковых креплений от 5 (при рельсах Р18) до 9 кг (при рельсах Р24) на каждый стык, уменьшаются удары в стыках и колебания подвижного состава, меньше расстраивается путь. Затраты на ремонт и содержание пути с длинными сварными рельсами уменьшаются на 25—40 %. Помимо агрегатов типа «Искра», лесозаготовительные предприятия для сварки рельсов пользуются рельсосварочными поездами МПС или сваривают рельсы электродуговым ручным ванным способом. В последнем случае на трелевочном тракторе устраивают площадку, на которую устанавливают электросварочные агрегаты (1 или 2) САК-2, АСБ-300 и др. Сварка выполняется электродами УОНИ 13/55А. Сварочная бригада из 2 человек за смену сваривает 13—15 стыков. Технология ручной сварки ванным способом и применяемые при этом дополнительные приспособления описаны подробно в источниках [1] и [63], а сварка агрегатом «Искра» в [99].

§ 3. БАЛЛАСТИРОВКА ПУТИ

Под балластировкой понимается весь комплекс работ по постановке рельсового пути на балласт и приведению его в окончательно выверенное положение для плавного и безаварийного хода поездов. Комплекс работ по балластировке пути

включает погрузку и транспортирование балласта, его выгрузку и дозировку, подъемку рельсошпальной решетки, укладку балласта на земляное полотно.

Погрузку балласта можно выполнять любыми погрузочными средствами. Основным способом остается погрузка балласта на поезда бульдозерами с помощью простейших эстакад. При разработке балластных материалов необходимо

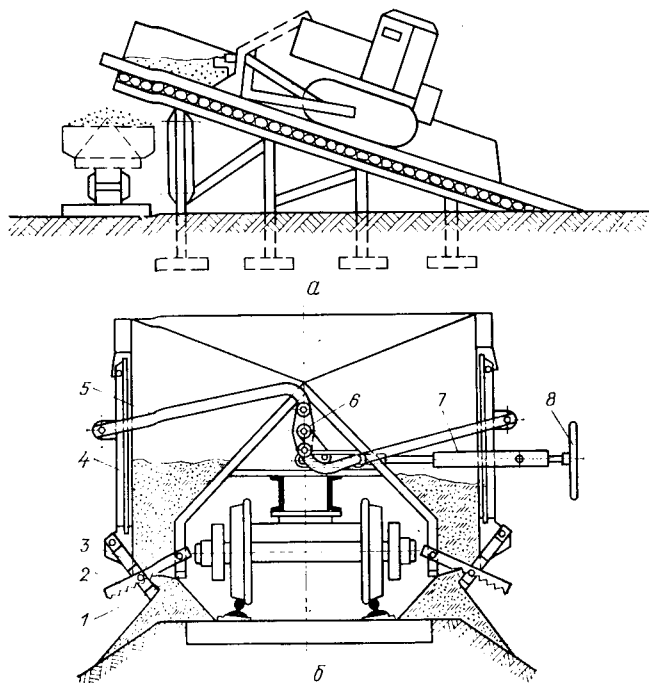


Рис. 17.2. Погрузка и разгрузка балластных материалов:

а — погрузка бульдозером с использованием эстакады; *б* — разгрузка полувагона-дозатора ПДБ-3; 1 — неподвижные вертикальные фартуки; 2 — гребенка; 3 — подвижные фартуки; 4 — боковые подвижные стенки; 5 — рычаги; 6 — центральный вал; 7 и 8 — винтовая пара со штурвалом

обратить внимание на своевременную очистку поверхности балластного карьера от вскрышных грунтов. Попадание вскрышного грунта в балласт снижает его качество.

Балластные материалы наиболее целесообразно перевозить на специальных вагонах, выпускаемых промышленностью для перевозки сыпучих грузов: хоперах-дозаторах вместимостью 7 м³ и полувагонах-дозаторах вместимостью 12 м³, которые быстро разгружает один человек. На рис. 17.2, б показана схема разгрузки полувагона ПДБ-3. При отсутствии специализированных вагонов балласт перевозят на обычных платформах, на которые для удобства разгрузки устанавли-

вают разгрузочные призмы и специальные бортовые стенки с запорами. Если таких приспособлений нет, то разгрузку выполняют с помощью двухотвального плуга, передвигающегося по заторможенным платформам, либо силой тяги локомотива, или силой трактора, проходящего по платформам и сдвигающего плугом балласт. Если рабочие отметки земляного полотна небольшие, для разгрузки можно применять специальные скребки [96], с помощью которых балласт сталкивается с платформ. Разгруженный балласт располагают в виде валиков (или куч) по обе стороны рельсовой колеи, а при применении хоппера-дозатора БДХ-3 — между рельсами. После этого приступают к дозировке балластного слоя.

Дозировкой называется непрерывный процесс распределения балластного материала ровным слоем заданной толщины по верхней площадке земляного полотна или ранее уложенного балластного слоя. Для дозировки используют специальные крылья, установленные на хопперах-дозаторах и захватывающие балласт из боковых валиков или куч и передвигающие его на шпалы и рельсы. Другая пара крыльев или нож срезает излишнюю часть слоя так, чтобы головки рельса оставались незасыпанными балластом. У хоппера-дозатора БДХ-3 дозатор представляет собой прямоугольную раму с продольными и торцовыми листами. Вырезы в торцовых стенках позволяют опускать его при балластировке пути ниже верха головок рельсов на 5 см. Дозаторные крылья обычно устанавливают и на машины, производящие подъемку рельсошпальной решетки. При дозировке балласта следует двигаться с небольшой скоростью, делая от одного до трех проходов в зависимости от качества предварительной выгрузки балластного материала. Следует указать, что перед вывозкой балласта и его дозировкой необходимо проверить состояние земляного полотна. Вмятины и шпальные корыта (вмятины от шпал) на земляном полотне должны быть устранены, причем шпальные корыта ни в коем случае нельзя засыпать балластом, так как иначе в них будут создаваться скопления атмосферных вод, что является первопричиной расстройств земляного полотна.

Подъемка пути на балласт производится балластировочными машинами. Принципиальная схема балластировочной машины приведена на рис. 17.3, у которой подъемка пути на балласт является непрерывным процессом вывешивания путевой решетки на заданную высоту. Вывешивание у балластировочных машин узкой колеи производится роликовыми захватами. На дорогах нормальной колеи применяют магнитные подъемники. Основными рабочими органами машины являются дозатор, состоящий из двух крыльев с подкрылками и ножа, и рельсовый захват из четырех пар роликовых клещей, шарнирно подвешенных на раме. Для подъемки пути на бал-

ласт рельсовый захват опускается, роликовые клещи заводятся под головку рельсов, рельсошпальная решетка вывешивается и стойки балластных струнок опускаются. В отрытую траншею пропускают и закрепляют в стойках выравнивающую струнку, которую устанавливают по соответствующей высоте. Подъемку пути производят при непрерывном движении балластера, причем у рельсошпальной решетки образуется «бегущая волна», в результате чего балластный материал опускается под рельсошпальную решетку и выравнивается струнками. Наибольшая высота подъема рельсошпальной решетки 24 см. Размер рабочего пролета 15 м, что достаточно для размещения подвижной волны. Подъемку выполняют со скоро-

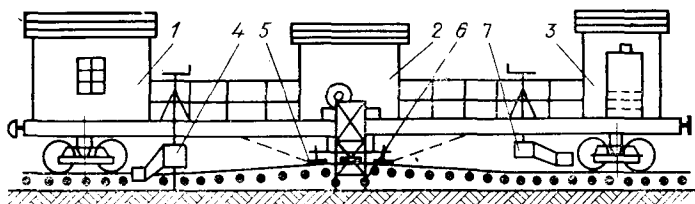


Рис. 17.3. Принципиальная схема балластировочных машин, применяемых на УЖД:

1 — будка; 2 — навес; 3 — электростанция; 4 — дозатор (рабочее положение); 5 — подъемная тележка с рельсовыми захватами; 6 — стойка со струнками; 7 — дозатор в транспортном положении

стью 1,5 км/ч. За проход рекомендуется поднимать путь не более чем на 10 см. Балластеры, имеющие дополнительное оборудование, могут также подбивать шпалы и выправлять путь. После подъема и подбивки пути заправляют откосы балластной призмы, для чего крылья дозатора раскрывают на угол 60° , а их кромки настраивают на профиль балластной призмы. Нож дозатора при этом оставляют в транспортном положении. Заднюю отделочную щетку и рельсовые щетки перед задней тележкой приводят в рабочее положение. Скорость движения 1,5—3 км/ч. Для засыпки межшпальных ящиков крылья дозатора раскрывают под углом 45° (как при дозировке балласта), а нож устанавливают на минимальную толщину дозируемого слоя. Заднюю отделочную щетку также опускают на рельсы.

При отсутствии балластировочных машин подъемку пути проводят вручную. Предварительно под нивелир выставляют высотные колья, верх которых должен быть на уровне головок рельсов после подъема пути на балласт. Высота колея над поверхностью земляного полотна равна $h_b = h_6 K_y + h_{ш} + h_p$, где h_6 — толщина слоя балласта под шпалой; K_y — коэффициент уплотнения балласта; $h_{ш}$ и h_p — высота шпалы и рельса. После подъема на высотный колышек и головку рельса кладут

рейку с уровнем и проверяют достаточность высоты подъёмки. Подъёмка в данном случае производится точечная, ручными подъёмниками на путевой тележке или гидродомкратами. Балласт вручную забрасывают под шпалы и подбивают ручными или электрошпалоподбойками, работающими от передвижных электростанций. Для подъёмки и подбивки шпал в СевНИИП разработана удачная конструкция шпалоподбивочной машины ШПМВУ-1 [99].

§ 4. РАЗБИВКА И УКЛАДКА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ

Разбивка станционных путей и установка места примыкания веток при строительстве дорог должны соответствовать разработанному проекту. Пересечение осей основного и примыкающего пути представляет собой центр перевода, определяемый расстоянием от оси станции, указанным в проекте. На оси центр перевода фиксируется колышком № 1 (рис. 17.4, а). Для укладки перевода на оси пути фиксируют колышками еще три точки. Точка № 2 фиксирует начало рамных рельсов стрелки и устанавливается на расстоянии $a_0 + m$ от центра перевода. В другую сторону от центра перевода отмеряется расстояние $b_0 + q = SN + q$ и устанавливается колышек, фиксирующий конец крестовины и тем самым и конец стрелочного перевода. Кроме этих основных точек, устанавливают колышек № 4, показывающий начало крестовины, и колышек № 5, который вместе с точкой № 1 фиксирует ось примыкающего пути.

Для необходимой точности разбивки в вершины кольев следует забивать гвозди, точно фиксирующие установленные направления и размеры.

Прежде чем приступать к укладке переводов, необходимо определить длину переводной кривой по наружной и внутренней ниткам и координаты точек для ее разбивки. Обозначим (рис. 17.5, б) длину острья l , проекцию расстояния от корня острья до начала кривой K , угол удара β , угол крестовины α . Радиус переводной кривой по наружной нитке $r = R + S/2$. Длина переводной кривой по наружной нитке $l_n = \pi r (\alpha - \beta) / 180$, по внутренней нитке $l_b = \pi (r - S) (\alpha - \beta) / 180$. По этим размерам совершенно точно подготавливают отрезки рельсов для переводных кривых. Для облегчения разбивки переводной кривой вычисляют координаты для рабочей грани наружной нитки. Внутренняя кривая пришивается по шаблону, и для нее координаты не вычисляются. За начало координат принимают стык рамного рельса или начало переводной кривой, а за ось абсцисс — направление прямолинейного рамного рельса. Абсциссы и ординаты кривых на узкоколейных железных дорогах вычисляют для точек кривых через каждый метр. Прежде всего следует определить угол, соответствующий длине пути, равной

Рис. 17.4. Разбивка и укладка стрелочного перевода:

а — схема установки разбивочных колец; *б* — схема определения ординат для разбивки переводной кривой

1 м. Он равен $\rho = 57,3/r$. Разбив угол $\alpha - \beta$ на соответствующее количество углов, равных ρ , определим координаты начальной точки. Обозначим расстояние от основания перпендикуляра, опущенного на рамный рельс из центра переводной кривой, до начала координат *а*. Оно равно $r \sin \beta$. В соответствии с этим координаты точек кривой будут равны

$$x_1 = r \sin (\beta - 1\rho) - a;$$

$$y_1 = r [1 - \cos (\beta + 1\rho)] + y_0;$$

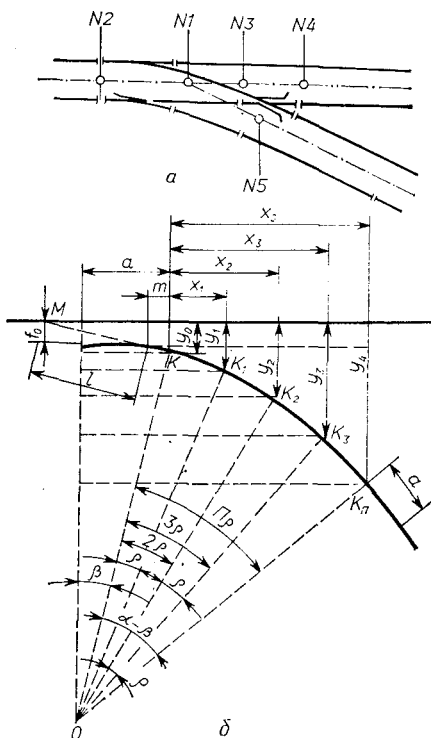
$$x_2 = r \sin (\beta + 2\rho) - a;$$

$$y_2 = r [1 - \cos (\beta + 2\rho)] + y_0;$$

.....

$$x_n = r \sin (\beta + n\rho) - a;$$

$$y_n = r [1 - \cos (\beta + n\rho)] + y_0.$$



Работа по укладке стрелочного перевода начинается с укладки стрелки, т. е. рамных рельсов и остряков. Предварительно по эюре укладывают подстрелочные брусья, концы которых со стороны прямого пути выравнивают по шнуру (или рейке). Брусья следует укладывать одновременно от начала рамных рельсов и конца крестовины. На переводных брусьях укладывают подстрелочные подушки, по которым размечают на брусьях положение всех отверстий для шурупов. На закрепленные подушки укладывают и прибалчивают наружный рамный рельс. После установки упорных болтов и остряков укрепляют второй рамный рельс на расстоянии от первого 760 мм у начала остряков и 755 мм в корне остряков. После этого устанавливают переводный механизм. Уложив стрелку, приступают к укладке прямого пути в пределах от корня остряка до начала крестовины, а по наружной нитке до конца перевода. Наружная нитка шьется по направлению прямого пути, а внутренняя по шаблону. До укладки крестовины на наружной нитке укрепляют контррельс так, чтобы его середина приходилась против математического центра крестовины. Эту точку отмеряют от центра перевода и отмечают на шейке

наружного рельса. Только после этого можно укладывать крестовину с соблюдением ширины колеи 750 мм.

Переводные брусья укладывают так, чтобы примерно на $\frac{2}{3}$ длины перевода они были перпендикулярны оси прямого пути, а в пределах крестовины и за ее хвостом перпендикулярны оси крестовины. После укладки крестовины по координатам производят разбивку переводной кривой и укладку ее наружной нитки. Затем по шаблону укладывают внутреннюю нитку с необходимым для данного радиуса кривой уширением.

Во время укладки нового пути переводы большей частью собирают на месте. При устройстве примыкания к действующему пути стрелочный перевод врезается в путь в «окно» между проходом поездов. Для этого стрелочный перевод полностью собирают на продольных слегах, уложенных рядом с местом укладки. Разборка части пути, предназначенной для укладки перевода, производится после сборки перевода сбоку на слегах. Затем собранный перевод вдвигается на место. После этого еще раз проверяют все размеры и соответствие эпюр.

Для ускорения укладки пути и более эффективного использования укладочного крана на стройдворе или звеносборочной базе заранее целесообразно собирать стрелочные переводы в виде отдельных звеньев или блоков и грузить их на рельсоукладочный поезд. Механизированная укладка блочного перевода занимает 20—30 мин. Ее выполняют 3 рабочих. Эпюры блочных переводов были разработаны в МЛТИ, ЦНИИМЭ и ВНИИТП. В источнике [68] приведены некоторые из них.

§ 5. РИХТОВКА ПУТИ И ОТДЕЛОЧНЫЕ РАБОТЫ

После основных строительных работ по укладке и балластировке пути приступают к выправке пути в плане — его рихтовке.

Первоначальная рихтовка уложенного в течение дня пути должна производиться за 40—50 мин до окончания смены. Для этого из состава строительной бригады выделяют четверо рабочих под руководством бригадира пути. Рабочие делятся на две группы и становятся у обеих рельсовых ниток со стороны, обратной направлению передвижки. Затем остроконечными ломками или колыями рельсошпальную решетку сдвигают в требуемом направлении. Правильное направление определяет на глаз бригадир, который для этого отходит на достаточное расстояние и становится над рельсом. По его команде производится передвижка пути. После рихтовки рельсовый путь должен иметь прямолинейную колею, и его положение должно точно соответствовать оси пути.

На кривых участках рихтуют наружную (упорную) рельсовую нить. Всю кривую разбивают на равные участки длиной по 10 м при радиусах более 200 м и по 5 м при меньших ра-

диусах. После этого между намеченными точками натягивают шнур и измеряют стрелы кривых с точностью до 1 мм.

Контроль качества измерений может быть осуществлен измерением углов: каждые $82,37''$ угла поворота соответствуют 1 мм суммы стрел прогиба кривой при длине хорды 10 м. Например, при угле поворота $14^{\circ}12'00''$ теоретическая сумма стрел прогиба кривой равняется

$$\Sigma f = \frac{14^{\circ}12'00''}{82,37''} = \frac{51120''}{82,37''} = 612 \text{ мм.}$$

У правильной кривой стрела изгиба при всех измерениях должна быть одинаковой и равна $f = a^2/8R$, где a — длина хорды; R — радиус кривой. При отклонении фактической стрелы от расчетной в данной точке производят сдвигку пути. Если фактическая стрела больше средней, путь рихтуется внутрь кривой, если меньше — наружу. Рихтовку кривых необходимо выполнять не менее 2, а иногда и 3 раз до полного выравнивания всех стрел изгиба.

До сдачи в эксплуатацию должны быть поставлены все путевые знаки и сигналы, построены производственно-технические станции и путевые здания. Построенный путь строительная организация передает лесозаготовительному предприятию по мере готовности отдельными полностью законченными участками, удовлетворяющими требованиям технических условий. При сдаче объекта к эксплуатации предъявляются следующие документы: исполнительный продольный профиль, поперечные профили земляного полотна и верхнего строения, рабочие чертежи искусственных сооружений и журналы забивки свай, планы системы водоотводов. Все устройства проверяют в натуре и до окончания приемки составляют акт, в котором указывают недоделки и сроки их ликвидации, а также дается оценка работы.

§ 6. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ КРАТКОВРЕМЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

Конструкция узкоколейного пути на усах отличается от пути на магистрали и ветках. Путь на усах устраивают, как правило, без балласта, рельсошпальную решетку укладывают на спланированное грунтовое основание, выстилку из хвороста или лесосечных отходов, лежни или деревянные клетки. На таких временных путях разрешается эксплуатировать локомотивы с нагрузкой на ось не свыше 4,5 т.

На усах укладывают рельсы типа Р18. На достаточно сухих грунтах, а также на минеральных грунтах на водоразделах и сухих склонах применяют шпалы длиной 1,5 м в количестве 1500 шт. на 1 км. В низинах с замедленным стоком, на мокрых грунтах с толстым растительным слоем, на торфяных

болотах и в местах перехода через водотоки и лога применяют шпалы длиной 1,8 м в количестве 1500—1600 шт. на 1 км. Во всех случаях рельсошпальную решетку укладывают на продольные лаги или лежни из хлыстов в 4—6 ниток. На мокрых грунтах под лежнями делают выстилку из хвороста и лесосечных отходов, на торфяных болотах из часто уложенных поперечин (через 15—30 см) из тонкомерного леса. На болотах без плотного торфяного слоя рельсошпальную решетку и лаги укладывают на клетки из дровяного долготья в три яруса и более в зависимости от степени осадки и глубины болота. Клетка должна быть достаточно прочной, с врубками.

При звеньевой укладке верхние прогоны делают пластинчатыми или брусчатыми. Шпалы длиной 1,8 м (но не более) укладывают консольными путеукладчиками, в связи с чем более длинные шпалы применять не следует. При раздельной укладке краном или ручной укладке путей можно применять шпалы длиной до 3 м, которые на мокрых грунтах укладывают непосредственно на спланированное основание, а на болотах — на предварительно устраиваемую выстилку. Применение длинных шпал увеличивает площадь опоры и уменьшает величину перекосов пути при местных просадках шпал.

Укладка пути звеньями на усах с помощью двухконсольного путеукладочного крана СРП-2 или ТУ-6СП не отличается от технологии укладки звеньев на магистральном пути. Разборка пути также производится звеньями, но при небольшом расстоянии перевозки пакетов на другой ус часто состав поезда укорачивают и оставляют только одну платформу, т. е. пакеты укладывают только на платформу крана и еще один пакет на смежную платформу. В этом случае отпадает необходимость передвижки пакетов по платформам и переворачивания нижних звеньев. В результате производительность крана на укладке и разборке повышается. На рис. 17.5, а показана укладка пути на усах и его звеньевая разборка краном СРП-2.

Раздельную разборку применяют в тех случаях, когда ранее путь укладывали ручным способом из-за отсутствия механизмов. Схема укладочного поезда для такого случая несколько меняется, а сам поезд укорачивается (рис. 17.5, б). При раздельной укладке пути крайняя колесная пара путеукладочного крана ставится на 1 м от стыка уложенного пути и поезд затормаживается установкой башмаков. Пачку со шпалами на одно звено подают на путь краном. Шпалы раскладывают по ранее уложенным в путь продольным лежням. Затем два рельса одинаковой длины подают краном на разложенные шпалы и накладками соединяют с рельсами уложенного звена. После этого шпалы под рельсами передвигают в соответствии с эпюрой, выравнивая их концы. Костыли забивают с обоих концов звена, сначала наружные, потом внут-

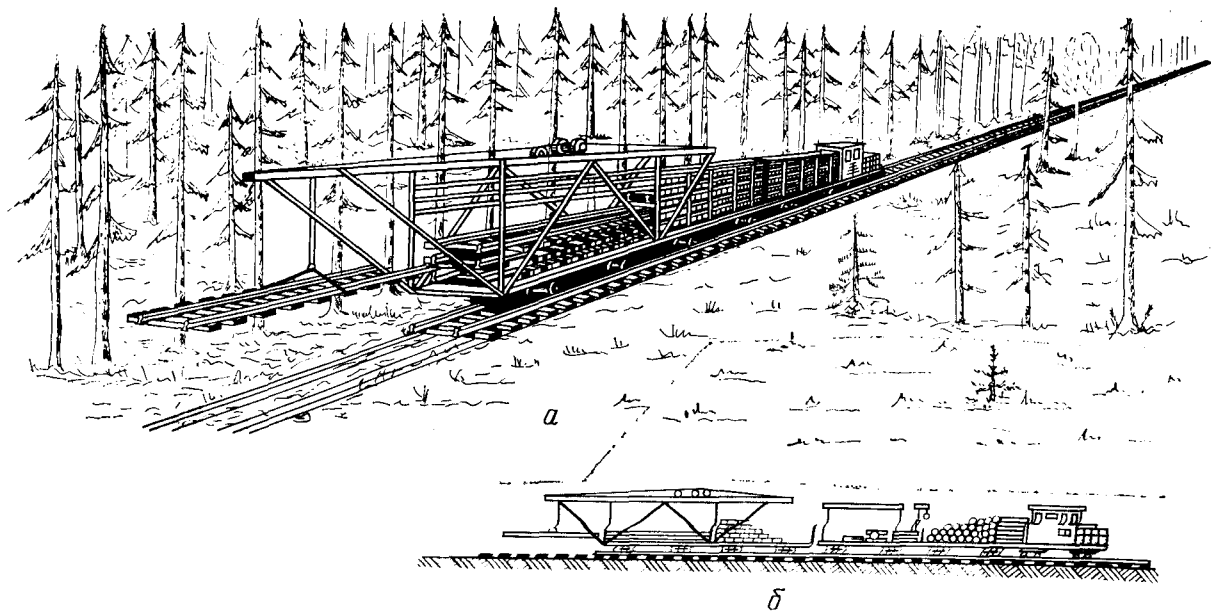


Рис. 17.5. Укладка и разборка путей на усах путьекладчиком:
 а — звеньями; б — раздельно по элементам

рение. Затем поезд подается вперед на одно звено и процесс укладки пути повторяется.

Для разборки пути раздельным способом применяют путерасшиватель. Работу выполняет бригада из 3 человек: машиниста и двух рабочих. После подхода поезда к концу разбираемого пути под рельсы подводят путерасшиватель. Кольцо путерасшивателя укладывают на крюк платформы путеукладчика и поезд, двигаясь медленно вперед, нажимает рамой путерасшивателя на шпалы и, поднимая роликами рельсы за подошву, отделяет рельсы от шпал, т. е. расширяет путь. Костыли при этом в основном выдергивают (их надо собирать), а часть оставляют в шпалах и затем выдергивают. Так расширяется все звено и еще 1—1,5 м следующего. Затем поезд подают назад, ослабляя натяжение путерасшивателя. После разбалчивания стыков звена освобожденные два рельса поднимают краном и, передвигая под кранбалкой, укладывают на платформу крана на деревянные подкладки. Собранные шпалы укладывают в пачку и грузовым крюком подают по кранбалке на платформу, следующую за путеукладчиком. Затем процесс повторяется. Трудоемкость работ по укладке пути на усах звеньями при использовании СРП-2 составляет 150—160 чел.-ч на 1 км пути, при раздельной укладке 300 чел.-ч. Трудоемкость звеньевой разборки пути 50—60 чел.-ч, раздельной 115—130 чел.-ч. Звеньевая укладка и разборка пути на усах путеукладочными поездами СРП-2 на лесозаготовительных предприятиях получила широкое распространение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

По курсу в целом

1. **Дороги и транспорт лесной промышленности** (справочное пособие)/Под ред. проф. И. И. Леоновича. Минск, Высшая школа, 1979, 415 с.
2. **Ильин Б. А., Корунов М. М., Кувалдин Б. И.** Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог. М., Лесная промышленность, 1971. 575 с.
3. **Корунов М. М., Тагильцев Н. Д.** Примеры и задачи по сухопутному транспорту леса. М., Лесная промышленность, 1976. 92 с.
4. **Сухопутный транспорт леса/Б. А. Ильин, Б. И. Кувалдин, Б. А. Куikliнов и др. М., Лесная промышленность, 1973. 384 с.**
5. **Сухопутный транспорт леса/Д. А. Попов, Н. Г. Корчунов, Б. А. Куikliнов и др. М., Гослесбумиздат, 1963. 864 с.**

К разделу I «Общая часть курса»

6. **Андреев О. В., Болдаков Е. В. и др.** Краткий справочник по малым мостам и трубам. М., Транспорт, 1972. 175 с.
7. **Бабичков А. М., Гурский П. А., Новиков А. П.** Тяга поездов и тяговые расчеты. М., Транспорт, 1971. 280 с.
8. **Борисов Г. А.** Методика автоматизированного проектирования лесотранспорта. Петрозаводск, Карелия, 1978. 198 с.
9. **Гишман М. Е.** Проектирование транспортных сооружений. М., Транспорт, 1980. 391 с.
10. **Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд/Под ред. проф. Н. А. Золотаря, Н. А. Пузакова, В. М. Сиденко. М., Транспорт, 1971. 413 с.**
11. **Ильин Б. А., Куikliнов Б. А., Цывин В. Л.** Сухопутный транспорт леса. Пособие по дипломному проектированию. Л., ЛТА, 1976. 120 с.
12. **Ильин Б. А.** Теория проектирования лесовозных дорог, в 2 томах. Л., ВЗЛТИ, 1963, 1964. 119 и 342 с.
13. **Ильин Б. А.** Обоснование параметров и размещения путей лесотранспорта. М., Лесная промышленность, 1965. 126 с.
14. **Ильин Б. А.** Лесные дороги. Л., ЛТА, 1980, 63 с. и 2-я ч. 1981, 66 с.
15. **Ильин Б. А.** Об использовании показателя эквивалентной длины трассы при изысканиях и проектировании лесовозных дорог.— В кн.: Лесосечные, лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса, вып. 3. Л., ЛТА, 1974, с. 24—27.
16. **Ильин Б. А.** Об основном сопротивлении движению колесных трелевочно-транспортных систем.— В кн.: Лесосечные, лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса, вып. 7. Л., ЛТА, 1978, 33—36 с.
17. **Инструкция по проектированию лесозаготовительных предприятий, Л. Гипролестранс, 1982.**
18. **Инструкция по разработке проектов и смет для промышленного строительства, СН 202—76. М., Госстрой СССР, 1976. 96 с.**
19. **Кувалдин Б. И.** Изыскания лесовозных дорог. М., Лесная промышленность, 1974, 175 с.

20. **Методика** (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М., Экономика, 1977. 44 с.

21. **Общесоюзные** нормы технологического проектирования лесозаготовительных предприятий. Л., Гипролестранс, 1980, ч. I, 191 с., 1981, ч. II, 146 с.

22. **Отраслевая** инструкция определения экономической эффективности новой техники в лесозаготовительной промышленности. Химки, ЦНИИМЭ, 1975. 288 с.

23. **Проектирование** автомобильных дорог (примеры)/Под ред. проф. В. Ф. Бабкова. Изд. 3. М., Транспорт, 1966. 397 с.

24. **Строительные** нормы и правила. СНиП II-9—78. Нормы проектирования. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М., Стройиздат, 1979. 22 с.

25. **Технические** указания по проектированию лесозаготовительных предприятий. Л., Гипролестранс, 1964. 244 с.

26. **Шестоперов С. В.** Дорожно-строительные материалы. М., Высшая школа, 1976, ч. I, 256 с., ч. II, 240 с.

К разделу II «Автомобильные лесовозные дороги»

27. **Автомобильный транспорт леса** (справочник)/Под ред. В. А. Горбачевского. М., Лесная промышленность, 1973. 372 с.

28. **Бабков В. Ф., Андреев О. В.** Проектирование автомобильных дорог. В 2 томах. М., Транспорт, 1979. 367 и 407 с.

29. **Горбунов-Посадов М. И., Маликова Т. А.** Расчет конструкций на упругом основании. М., Стройиздат, 1973. 627 с.

30. **Дегтяренко В. Н.** Автомобильные дороги и автомобильный транспорт промышленных предприятий. М., Высшая школа, 1981. 261 с.

31. **Дорожные** одежды из местных материалов/Под ред. проф. А. К. Славуцкого. М., Транспорт, 1977. 262 с.

32. **Евгеньев И. Е., Казарновский В. Д.** Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. М., Транспорт, 1976. 271 с.

33. **Закин Я. X.** Прикладная теория движения автопоезда. М., Транспорт, 1967. 255 с.

34. **Ильин Б. А.** Прочностные расчеты езовых поверхностей первичных путей лесотранспорта.— В кн.: Лесосечные, лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса. вып. 5. Л., ЛТА, 1976, 49—53 с.

35. **Ильин Б. А.** Оптимизация дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог.— В кн.: Лесосечные, лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса. вып. 9. Л., ЛТА, 1980, 36—39 с.

36. **Ильин Б. А.** Оптимизация работы грунтовых усов лесовозных автомобильных дорог.— В кн.: Лесосечные, лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса, вып. 10. Л., ЛТА, 1981.

37. **Инструкция** по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов (СН 25—74). М., Стройиздат, 1975. 127 с.

38. **Инструкция** по проектированию дорожных одежд нежесткого типа, ВСН 46—72. М., Транспорт, 1973. 110 с.

39. **Кандауров И. И.** Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. М., Стройиздат, 1966. 319 с.

40. **Конструирование** и расчет нежестких дорожных одежд/Под ред. проф. Н. Н. Иванова. М., Транспорт, 1973. 328 с.

41. **Кувалдин Б. И.** Эксплуатация и ремонт лесовозных дорог. М., Лесная промышленность, 1977. 264 с.

42. **Леонович И. И., Оковитый А. Л.** Эксплуатация лесных дорог. Минск, Высшая школа (на русск. языке), 1972. 445 с.

43. **Морозов С. И., Павлов Ф. А., Плакса Л. Н., Савельев Э. Н.** Зимние дороги в лесной промышленности. М., Лесная промышленность, 1969. 168 с.

44. **Проектирование** оптимальных нежестких дорожных одежд/Под ред. проф. А. Я. Тулаева. М., Транспорт, 1977. 117 с.

45. **Правила** дорожного движения. М., Транспорт, 1973. 49 с.

46. Правила технической эксплуатации автомобильных лесовозных дорог. М., ЦНИИМЭ, 1980. 53 с.
47. Ройзман А. С. Пособие по проектированию автомобильных дорог. М., Транспорт, 1974. 267 с.
48. Руководство по проектированию земляного полотна на слабых грунтах. М., Транспорт, 1978. 140 с.
49. Сборные покрытия автомобильных дорог/Под ред. проф. В. М. Могиловича. М., Высшая школа, 1972. 384 с.
50. Содержание и ремонт лесовозных автомобильных дорог/Б. П. Смирнов, И. В. Шатов и др. М., Лесная промышленность, 1974. 208 с.
51. Сиденко В. М., Михович С. И. Эксплуатация автомобильных дорог. М., Транспорт, 1976. 287 с.
52. Симвулиди И. А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании. М., Высшая школа, 1978. 480 с.
53. Справочник инженера-дорожника. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. Изд. 3/Под ред. проф. О. В. Андреева. М., Транспорт, 1977. 559 с.
54. Справочник инженера-дорожника. Содержание и ремонт автомобильных дорог. Изд. 2/Под ред. А. П. Алексеева, М., Транспорт, 1974, 397 с.
55. Строительные нормы и правила. СНиП II-9.5—72. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1973. 111 с.
56. Строительные нормы и правила. СНиП II-21—75. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1978.
57. Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог (ВСН 24—75). М., Транспорт, 1976. 264 с.
58. Трескинский С. А. Горные дороги. М., Транспорт, 1974. 367 с.
59. Транспорт леса и строительство лесовозных дорог.— Труды/ЦНИИМЭ, Химки, 1978. 111 с.

К разделу III «Лесовозные железные дороги»

60. Инструкция по проектированию железных дорог колеи 750 мм. Госстрой СССР. СН 251—78. М., 1978. 63 с.
61. Устройство и содержание пути узкой колеи (750 мм)/М. П. Смирнов, П. В. Глотов и др. М., Транспорт, 1975. 295 с.
62. Шевченко Ю. Л., Илюшкин С. Н., Гмызин А. А. Узкоколейный подвижной состав леспромхозов. М., Лесная промышленность, 1978. 152 с.
63. Кувалдин Б. И., Лаптев В. А. Бесстыковой путь железных дорог колеи 750 мм. М., Лесная промышленность, 1968. 143 с.
64. Калинин Г. А., Шкаев Н. И. Эксплуатация, содержание и ремонт лесовозных железных дорог. М., Лесная промышленность, 1975. 117 с.
65. Транспорт на торфяных предприятиях/В. А. Грачев, М. Н. Добровольский и др. М., Недра, 1977. 219 с.
66. Технические указания по содержанию лесовозных железных дорог колеи 750 мм. Минлестром СССР. М., Лесная промышленность, 1968. 166 с.
67. Правила технической эксплуатации лесовозных железных дорог колеи 750 мм. М., 1981. 105 с.
68. Лесовозный железнодорожный транспорт. Справочник/Ю. Л. Шевченко, А. А. Гмызин, П. В. Иванов, С. А. Абрамов. М., Лесная промышленность, 1971. 127 с.
69. Федосьев В. И. Соппротивление материалов. М., Наука, 1970. 541 с.
70. Проектирование железнодорожного пути/Г. М. Шахунянц, В. И. Ангелей, В. Ф. Яковлев и др. М., Транспорт, 1972. 320 с.

К разделу IV. Строительство лесовозных дорог

71. Чумаков Ю. Л., Кубасов А. У., Тарабалко Н. С. Строительство и эксплуатация автомобильных дорог. М., Транспорт, 1976. 424 с.
72. Кувалдин Б. И., Белоусов Б. А., Мигляченко В. П. Определение стоимости строительства лесовозных автомобильных дорог. М., МЛТИ, 1980. 120 с.

73. Кувалдин Б. И., Морозов С. А. Проектирование лесовозных автомобильных дорог. М., Лесная промышленность, 1962. 330 с.
74. Вейцман М. И., Егзов В. П. Краткий справочник строительства автомобильных дорог. М., Транспорт, 1979. 246 с.
75. Платонов Г. А. Сметы в дорожном строительстве. М., Транспорт, 1978. 191 с.
76. Строительство автомобильных дорог. В 2 томах/В. К. Некрасов, Н. Н. Иванов, С. М. Полосин-Никитин и др. М., Транспорт, 1980. 416 с.
77. Колоколов Н. М., Вейнблат Е. М. Строительство мостов. М., Транспорт, 1975. 513 с.
78. Полосин-Никитин С. М. Основы технологии дорожных работ. М., Транспорт, 1972. 328 с.
79. Полосин-Никитин С. М. Механизация дорожных работ. М., Транспорт, 1974. 327 с.
80. Полосин-Никитин С. М. Основы строительства и эксплуатации автомобильных дорог. М., Транспорт, 1979. 248 с.
81. Сускин Ю. А., Кувалдин Б. И. Строительство лесовозных автомобильных дорог и искусственных сооружений. М., Лесная промышленность, 1979. 320 с.
82. Леонович И. И. Строительство лесных дорог. Минск, Высшая школа, 1970. 472 с.
83. Строительство лесовозных дорог/Л. С. Матвеевко, А. Е. Митрофанов, А. С. Иванкович и др. М., Лесная промышленность, 1973. 224 с.
84. Технологические правила и карты. Строительство лесовозных автомобильных дорог. Л., Гипролестранс, 1975. 210 с.
85. Павлов Ф. А. Покрытия лесных дорог. М., Лесная промышленность, 1980. 175 с.
86. Шпунт Д. Г. Договоры в строительстве, нормативные акты. М., Стройиздат, 1975. 261 с.
87. Калашников А. П. Строительство и эксплуатация зимних автомобильных дорог. М., Лесная промышленность, 1975. 44 с.
88. Могилевич В. И. Основы организации дорожно-строительных работ. М., Транспорт, 1975. 284 с.
89. Правила и технологические карты по строительству усов автомобильных лесовозных дорог. Химки, ЦНИИМЭ, 1972. 133 с.
90. СНиП-III-40—78. Правила производства и приемки работ. Автомобильные дороги. М., Стройиздат, 1979. 142 с.
91. Технические указания по устройству оснований дорожных одежд из каменных материалов, не укрепленных и укрепленных неорганическими вяжущими. Минтрансстрой ВСН 185—75. М., 1976. 35 с.
92. Технические указания по приготовлению и применению дорожных эмульсий. Минтрансстрой ВСН 115—75. М., 1976. 76 с.
93. Правила приемки работ при строительстве, капитальном и среднем ремонте автомобильных дорог. ВСН 19—74 Минавтодора РСФСР. М., 1975. 110 с.
94. Строительство мостов и труб. Справочник инженера/И. С. Аксельрод, Н. П. Андреев и др. М., Транспорт, 1975. 599 с.
95. Руководство по строительству дорожных асфальтобетонных покрытий. СоюзДОРНИИ. М., 1978. 191 с.
96. Мигляченко В. П., Сергеев П. Г. Дорожно-строительные машины. М., Лесная промышленность, 1978. 287 с.
97. Инструкция по устройству покрытий и оснований из щебеночных, гравийных и песчаных материалов, обработанных органическими вяжущими. Минтрансстрой ВСН 123—77. М., 1978. 47 с.
98. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог. Госстрой СССР СН 449—72. М., 1973. 112.
99. Машины и механизмы для лесовозных железных дорог/Ю. Л. Шевченко, В. Н. Еремичев и др. М., Лесная промышленность. 1980. 144 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Введение	4
Раздел I	
ОБЩАЯ ЧАСТЬ КУРСА	
Глава 1. Основные виды и особенности сухопутного транспорта леса	6
§ 1. Основные понятия о сухопутном транспорте леса	6
§ 2. Особенности сухопутного транспорта леса	8
§ 3. Измерители работы сухопутного транспорта леса	10
Глава 2. План и продольный профиль дороги	11
§ 1. План лесовозной дороги	11
§ 2. Продольный профиль лесовозной дороги	13
§ 3. Основы трассирования лесовозных дорог	15
§ 4. Особенности камерального трассирования	20
§ 5. Нанесение проектной линии на продольный профиль лесовозной дороги	22
Глава 3. Земляное полотно лесовозной дороги	25
§ 1. Основные формы земляного полотна	25
§ 2. Обеспечение устойчивости земляного полотна	27
§ 3. Определение объемов дорожных земляных работ	30
§ 4. Воднотепловой режим земляного полотна лесовозной дороги и основы его регулирования	33
§ 5. Земляное полотно на пересечениях болот	38
§ 6. Определение вероятной (расчетной) осадки насыпи в торфяную залежь	44
§ 7. Основы расчета дренажа	46
Глава 4. Водопропускные сооружения и водоотвод	47
§ 1. Основные виды, назначение и размещение водопропускных сооружений	47
§ 2. Основные виды стока и определение расчетного расхода малых водопропускных сооружений	48
§ 3. Определение отверстий и длины труб	58
§ 4. Расчет отверстий и других размеров малых мостов	61
§ 5. Водоотводные сооружения	63
Глава 5. Основы теории движения лесовозных поездов по дорогам	65
§ 1. Силы, действующие на поезд во время движения	65
§ 2. Сила тяги	66
§ 3. Основное сопротивление движению	68
§ 4. Дополнительные сопротивления движению	73
§ 5. Тормозная сила	74
§ 6. Уравнение движения поезда	77
§ 7. Определение расчетной массы поезда и полезной нагрузки	78

§ 8. Расчет скоростей движения и времени хода поездов	80
§ 9. Основы аналитического метода интегрирования уравнения движения поезда	85
§ 10. Особенности движения поездов при торможении и тормозные расчеты	87
Глава 6. Основы проектирования лесовозных дорог	89
§ 1. Организация проектирования предприятий лесозаготовительной промышленности	89
§ 2. Основные этапы разработки проекта лесовозной дороги	91
§ 3. Обоснование целесообразности принимаемых проектных решений при проектировании лесовозных дорог	93
§ 4. Определение расчетных показателей эффективности сухопутного транспорта леса	97
§ 5. Основные принципы разработки генеральной схемы транспортного освоения лесных массивов	105
§ 6. Установление основного направления магистрали в пределах базы	116
§ 7. Определение необходимой густоты сети веток и усов	118
§ 8. Использование ЭВМ при проектировании лесовозных дорог	127
Глава 7. Организация вывозки леса	129
§ 1. Основные принципы организации вывозки леса и графики движения	129
§ 2. Правила технической эксплуатации лесовозных дорог	133
§ 3. Распределение годового объема вывозки леса по сезонам года	133
§ 4. Определение потребности в тяговом и прицепном составе и в эксплуатационных материалах	134

Раздел II

ЛЕСОВОЗНЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

Глава 8. Особенности устройства и проектирования лесовозных автомобильных дорог	136
§ 1. Классификация автомобильных дорог и нормы проектирования	136
§ 2. Основные проектные параметры лесовозных автомобильных дорог	139
§ 3. Проектирование плана лесовозных автомобильных дорог	143
§ 4. Особенности проектирования продольного профиля лесовозных автомобильных дорог	158
§ 5. Особенности проектирования земляного полотна лесовозных автомобильных дорог	164
Глава 9. Дорожные одежды лесовозных автомобильных дорог	167
§ 1. Основные виды и классификация дорожных одежд	167
§ 2. Дорожно-строительные материалы	171
§ 3. Основы расчета на прочность нежестких дорожных одежд	175
§ 4. Обеспечение морозостойкости дорожных одежд с усовершенствованными покрытиями	187
§ 5. Основы конструирования нежестких дорожных одежд лесовозных дорог	189
§ 6. Основы оптимизации дорожных конструкций лесовозных дорог	191
§ 7. Использование в дорожных конструкциях синтетических текстильных материалов (СТМ)	192
§ 8. Кольцевые покрытия лесовозных автомобильных дорог	194
§ 9. Дорожные одежды на временных лесовозных дорогах	204
Глава 10. Зимние дороги	211
§ 1. Основные виды зимних дорог	211
§ 2. Физико-механические свойства снега и льда	211
§ 3. Особенности проектирования зимних дорог	213
§ 4. Ледяные переправы	214

Глава 11. Эксплуатация лесовозных автомобильных дорог	217
§ 1. Основы теории эксплуатации лесовозных автомобильных дорог	217
§ 2. Деформации и износ основных элементов пути и причины их возникновения	220
§ 3. Организация дорожной службы и содержания дорог в исправности	224
§ 4. Организация ремонта дорог	226
§ 5. Организация эксплуатации грунтовых усов	231
§ 6. Теоретические основы оценки возможной работоспособности усов летнего действия и ее увеличения	234
§ 7. Дорожная сигнализация и ограждения	236

Раздел III

ЛЕСОВОЗНЫЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ

Глава 12. Проектирование лесовозных железных дорог	237
§ 1. Железные дороги в лесной промышленности	237
§ 2. Пропускная способность железных дорог и основы размещения отдельных пунктов	239
§ 3. Особенности проектирования продольного профиля УЖД	241
§ 4. Проектирование плана лесовозных УЖД	243
§ 5. Особенности устройства узкоколейного пути в кривых малых радиусов	244
§ 6. Особенности устройства земляного полотна железных дорог и его основные размеры	248
§ 7. Верхнее строение пути железных дорог	249
§ 8. Расчет верхнего строения пути на прочность	257
§ 9. Особенности проектирования и устройства путей кратковременного действия (усов)	264
§ 10. Проектирование путей на остановочных пунктах	264
§ 11. Соединения путей	266

Глава 13. Особенности эксплуатации лесовозных железных дорог	273
§ 1. Организация движения поездов на лесовозных железных дорогах	273
§ 2. Особенности графиков движения железнодорожных поездов	276
§ 3. Диспетчерская служба, связь и сигнализация	278
§ 4. Текущее содержание и ремонт пути лесовозных железных дорог	282

Раздел IV

СТРОИТЕЛЬСТВО ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Глава 14. Основные положения организации строительства лесовозных дорог	292
§ 1. Организация строительства дорог	292
§ 2. Вспомогательные и подготовительные работы	302
§ 3. Отделочные работы и сдача дороги в эксплуатацию	305
§ 4. Финансирование строительства дорог и сметы	305

Глава 15. Возведение земляного полотна и строительство искусственных сооружений	308
§ 1. Выбор машин для дорожных земляных работ	308
§ 2. Подготовка основания земляного полотна и требования к грунтам	309
§ 3. Основы технологии возведения земляного полотна	311
§ 4. Возведение насыпей и разработка выемок бульдозерами	312
§ 5. Возведение насыпей грейдерами	318
§ 6. Разработка выемок и возведение насыпей скреперами	320
§ 7. Применение экскаваторов и самосвалов на земляных работах	323
§ 8. Уплотнение земляного полотна	327
§ 9. Особенности возведения земляного полотна на болотах	329
§ 10. Производство земляных работ в зимнее время	330
§ 11. Строительство труб и малых мостов	332

Глава 16. Постройка дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог	338
§ 1. Способы и технология строительства дорожных одежд из оптимальных грунтов, песчано-гравийных смесей и щебеночных материалов	338
§ 2. Зоны снабжения карьерными материалами	342
§ 3. Технология строительства оснований и покрытий из грунтов, обработанных минеральными и органическими вяжущими	343
§ 4. Способы и технология устройства дорожных одежд из каменных материалов, укрепленных органическими вяжущими	346
§ 5. Дорожные покрытия из асфальтобетона и битумоминеральных смесей	352
§ 6. Постройка колеиных дорожных одежд	355
§ 7. Особенности технологии постройки сборно-разборных покрытий на временных дорогах	358
§ 8. Строительство дорог зимнего действия	359
Глава 17. Технология строительства лесовозных железных дорог	361
§ 1. Особенности строительства лесовозных узкоколейных железных дорог	361
§ 2. Укладка рельсошпальной решетки	362
§ 3. Балластировка пути	366
§ 4. Разбивка и укладка стрелочных переводов	370
§ 5. Рихтовка пути и отделочные работы	372
§ 6. Особенности устройства лесовозных железных дорог кратковременного действия	373
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	377

Борис Афанасьевич Ильин
Борис Иванович Кувалдин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

ИБ № 1427

Редактор издательства Л. С. Киммель
Художник В. И. Воробьев
Художественный редактор В. Н. Журавский
Технический редактор Е. Б. Капралова
Корректоры И. Б. Шеманская, Е. Е. Ярина
Вычитка Г. К. Пигрова

Сдано в набор 21.12.81. Подписано в печать 20.05.82. Т-10498. Формат 60×90/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 24,0. Усл. кр.-отт. 24,0. Уч.-изд. л. 25,19. Тираж 6900 экз. Заказ 85. Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Лесная промышленность», 101000, Москва, ул. Кирова, 40а

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14