

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Проектирование, строительство и эксплуатация
транспортных объектов»

В. А. ВЕРБИЛО, С. С. КОЖЕДУБ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДНОПУТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Учебно-методическое пособие

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области транспорта и транспортной деятельности
для обучающихся по специальностям 1-37 02 05 «Строительство железных
дорог, путь и путевое хозяйство» и 1-44 01 03 «Организация перевозок
и управление на железнодорожном транспорте»
в качестве учебно-методического пособия*

Гомель 2018

УДК 656.2.022.8 (075.8)
ББК 39.20
В31

Р е ц е н з е н т ы: д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные узлы» Белорусского государственного университета транспорта *В. Я. Негрей*; главный инженер проектно-изыскательского республиканского унитарного предприятия «Белжелдорпроект» *В. В. Козич*.

Вербило, В. А.

В31 Основы проектирования однопутных железных дорог : учеб.-метод. пособие / В. А. Вербило, С. С. Кожедуб ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 139 с.
ISBN 978-985-554-663-5

Приведены экологические требования к проектированию и строительству железных дорог, основы выбора направления проектируемой железной дороги, проектирования её плана и продольного профиля из условия обеспечения безопасности, плавности и бесперебойности движения поездов, а также изложены общие положения трассирования новых однопутных железнодорожных линий и размещения на них отдельных пунктов и водопропускных сооружений.

Предназначено для студентов специальностей «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство» и «Организация перевозок и управление на железнодорожном транспорте» заочной формы обучения, а также может быть полезным для слушателей Института повышения квалификации работников железнодорожного транспорта.

УДК 656.2.022.8 (075.8)
ББК 39.20

ISBN 978-985-554-663-5

© Вербило В. А., Кожедуб С. С., 2018
© Оформление. БелГУТ, 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Железнодорожный транспорт является одним из основных видов путей сообщения, одной из ведущих отраслей народного хозяйства, мощным фактором развития производительных сил любого высокоразвитого государства, занимающего значительную территорию, а также огромной организующей силой, обеспечивающей прочные материально-экономические связи между важнейшими индустриальными и административными центрами внутри его и с сопредельными странами.

Состояние и качество работы железных дорог во многом определяют эффективность функционирования всего хозяйственного комплекса государства, направление и перспективы дальнейшего его развития, а также гарантии защиты национального суверенитета и сохранения единого социально-экономического пространства.

С учетом большого государственного значения железных дорог, громадного объема выполняемых ими перевозок, высокой сложности и стоимости их строительства, а также многообразия природных условий, в которых они работают, грамотная и качественная разработка проекта каждой новой железнодорожной линии представляет собой весьма сложную и ответственную задачу, стоящую перед будущими инженерами путей сообщения, которым предстоит не только проектировать, но также строить и эксплуатировать эту дорогу.

Таким образом, проектирование железных дорог – это одна из важнейших отраслей инженерной науки, разрабатывающая теоретические основы и практические приемы составления комплексных проектов железнодорожных линий и обоснования их строительства.

Предлагаемое учебно-методическое пособие соответствует программе курса «Изыскания и проектирование железных дорог», предназначено для студентов, обучающихся по специальностям «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство» и «Организация перевозок и управление на железнодорожном транспорте» и позволит им лучше освоить теоретический курс в свете последних требований нормативных документов по проектированию железнодорожных линий колеи 1520 мм.

При подготовке настоящего пособия использованы материалы ранее изданных учебников и учебных пособий, в том числе таких авторов, как член-корреспондент Академии наук СССР А. В. Горин, профессора А. И. Иоаннисян, А. Е. Гибшман, И. И. Кантор, А. П. Кондратченко, Б. А. Волков, И. В. Турбин, Б. В. Яковлев и др.

1

ОБОСНОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИЙ И ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ НА СТРОИТЕЛЬСТВО

Составлению проектной документации на строительство новой железной дороги должна предшествовать разработка **Обоснований инвестиций в строительство**, порядок разработки, состав и содержание которых зависит от характера объекта строительства и устанавливаются Сводом правил СП 237.1326000,2015 [29].

Заказчик, исходя из целей инвестирования и с учётом государственной программы и схемы развития и размещения производительных сил региона, составляет **Ходатайство (Декларацию) о намерениях**, представляет его на рассмотрение в соответствующий орган исполнительной власти и после получения положительного решения приступает к разработке Обоснований инвестиций.

В Обоснованиях излагаются цели инвестирования, ожидаемый социальный, экономический и коммерческий эффект; приводится обоснование района прокладки трассы проектируемой железной дороги; даётся оценка воздействия объекта строительства на окружающую среду; указываются основные технологические и строительные решения, сроки и очерёдность строительства, соображения по организации строительства и энергосбережению, потребности в материальных и трудовых ресурсах, по тепло-, и водоснабжению; приводятся выводы о хозяйственной необходимости, технической возможности и экономической целесообразности строительства; даются рекомендации по порядку дальнейшего проектирования, строительства и эксплуатации объекта, обеспечивающие достижение положительных для государства результатов и максимальной для инвестора прибыли.

Материалы обоснований направляются заказчиком в соответствующий орган исполнительной власти для оформления **Акта выбора земельного участка** для строительства. После получения заказчиком заключения государственной экспертизы и положительного решения органа исполнительной власти о согласовании места размещения объекта Обоснования считаются утверждёнными.

На основе утверждённых Обоснований инвестиций в строительство, составленного заказчиком технического задания на проектирование и материалов инженерных изысканий разрабатывается проектная документация на

строительство железной дороги, в которой детализируются принятые в Обоснованиях решения и уточняются основные технико-экономические показатели.

Основным документом, разрабатываемым на первой стадии проектирования дороги, является, как правило, **Технико-экономическое обоснование** строительства (ТЭО), на основании которого на второй стадии разрабатывается **Рабочая документация**. Для технически несложных объектов и объектов, строящихся по проектам массового и повторного применения проектирование может быть осуществлено в одну стадию – разрабатывается **Рабочий проект** или **Рабочая документация**, которые затем подлежат государственной экспертизе.

Проект на строительство железной дороги должен включать: общую пояснительную записку (данные о значении проектируемой железной дороги и взаимодействии её с существующими путями сообщения, размерах предстоящих перевозок на расчётные годы эксплуатации); технические и строительные решения (обоснование выбора направления трассирования, основные технические параметры и средства технического оснащения дороги, проекты плана и профиля, земляного полотна, верхнего строения пути, искусственных сооружений, отдельных пунктов, устройств локомотивного и вагонного хозяйств, водо- и энергоснабжения, автоматики, телемеханики и связи, служебных зданий и сооружений); организацию строительства; управление производством; организацию и условия труда работников; жилищно-гражданское строительство; мероприятия по охране окружающей среды; сметную документацию и другие разделы.

При одностадийном проектировании Рабочий проект, в состав которого включается Рабочая документация, разрабатывается в сокращённом объёме, определяемом в зависимости от функционального назначения объекта строительства.

В состав Рабочей документации обычно входят рабочие чертежи, ведомость объёмов строительных и монтажных работ, потребности в материалах и рабочей силе, сметная документация и некоторые другие материалы.

2

ДЕЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА КАТЕГОРИИ ПО НОРМАМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При проектировании важнейших объектов капитального строительства, в том числе железнодорожного, руководствуются соответствующими нормативными актами и документами. Руководящие указания, устанавливающие технико-экономические требования и правила проектирования железных дорог колеи 1520 мм в целом и отдельных сооружений и устройств на них, содержатся в **Своде правил** [29]. В нем, в частности, приводятся нормы, касающиеся проектирования плана и продольного профиля железной дороги, земляного полотна и верхнего строения пути, отдельных пунктов и искусственных сооружений, устройств автоматики, телемеханики и связи, электрификации и энергоснабжения, грузового, пассажирского, локомотивного и вагонного хозяйств, а также других сооружений и устройств, призванных обеспечивать безопасную и бесперебойную работу железных дорог на всех этапах её эксплуатации.

Приведенный краткий перечень положений этого нормативного документа показывает, какой сложный комплекс вопросов приходится решать при проектировании железной дороги и насколько многообразны могут быть принимаемые решения. Поэтому применение единых нормативных документов призвано унифицировать параметры и условия проектирования железнодорожных сооружений и устройств в составе сети, а также гарантировать безусловное выполнение общих требований.

Основанием для использования тех или иных конкретных норм проектирования железной дороги и выбора основных технических параметров всех ее сооружений и устройств является назначение проектируемой дороги в общей железнодорожной сети страны, а также характер и размеры перевозок как на первые годы эксплуатации, так и на отдаленную перспективу. Поэтому нельзя проектировать все железные дороги по одинаковым нормам. Очевидно, что важнейшие для государства магистрали с большой грузонапряженностью и высокими скоростями движения пассажирских поездов должны иметь самую совершенную технику и передовую технологию, а поэтому должны быть запроектированы с наилучшими показателями трассы. Это позволит при больших размерах перевозок получить значительную экономию в расходах на эксплуатацию дороги, а значит и в более короткие сроки окупить затраты на её строительство. Железные дороги местного значения с относительно небольшими размерами грузовых перевозок и более низкими скоростями движения

поездов можно проектировать по более облегченным нормам, сократив тем самым объем первоначальных капитальных вложений.

В соответствии с указанными положениями в части норм проектирования все вновь **проектируемые железные дороги** подразделяются на две внекатегорийные и четыре категорийные [29].

К в н е к а т е г о р и й н ы м относятся скоростные железнодорожные магистрали, предназначенные для движения пассажирских поездов со скоростями свыше 160 км/ч (независимо от грузонапряженности), а также особогрузонапряженные магистрали, на которых расчетная годовая приведенная* грузонапряженность нетто в грузовом направлении на десятый год эксплуатации составляет свыше 50 млн т·км/км.

К к а т е г о р и й н ы м относятся железнодорожные магистральные линии, на которых расчетная годовая приведенная грузонапряженность нетто в грузовом направлении на десятый год эксплуатации составляет: *I категория* – 30–50, *II* – 15–30, *III* – 8–15, *IV* – до 8 млн т·км/км, а также внутростанционные соединительные и подъездные пути (независимо от грузонапряженности).

Максимальные скорости движения пассажирских поездов допускаются: на скоростных магистралях – до 200 км/ч, на особогрузонапряженных линиях – до 120 (при соответствующем обосновании – до 160), на линиях *I* и *II* категории – до 160, *III* – до 120, *IV* – до 80 км/ч.

Следует иметь в виду, что достаточно наличия хотя бы одного показателя, соответствующего более высокой категории, чтобы проектируемую железную дорогу отнести именно к этой категории. Например, если на железной дороге с приведенной годовой грузонапряженностью нетто в 35 млн т·км/км (*I* категория) предполагается обращение пассажирских поездов со скоростями до 200 км/ч, то эту дорогу следует проектировать по нормам скоростных магистралей.

* Приведенная грузонапряженность определяется с учетом количества и массы пассажирских поездов.

3

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

3.1 Общие положения

Экологическая проблема – это любые явления, связанные с воздействием человека на окружающую его природу и влиянием природы на человека и его жизненно важные процессы. Среда обитания человека включает в себя неживую природную среду (рельеф, климат, воду) и живую среду (растительный, животный мир). Искусственно возникшую часть окружающей среды составляют созданные человеком промышленные предприятия, транспорт, жилые и производственные здания.

В условиях непрерывного роста промышленности, энергетики, строительства и развития транспорта проблема взаимодействия природы и общества вообще и природы и транспорта в частности является одной из важнейших социально-экономических проблем любого развитого государства. Охрана природы требует затрат не только больших усилий, но и немалых средств.

Конфликты между средой обитания человека и транспортными средствами в настоящее время достаточно серьезны, поскольку транспорт воздействует на окружающую среду через многомиллионный парк автомобилей, судов, самолетов, локомотивов; через транспортные заводы, морские и речные порты, аэродромы и аэропорты, локомотивные и вагонные депо, станции и вокзалы; через стационарные энергетические установки, гравийные, каменные, песчаные карьеры и многое другое.

Железные дороги, под которыми в настоящее время занято почти шесть тысяч квадратных километров земли, как в период строительства, так и в процессе эксплуатации неизбежно оказывают весьма существенное воздействие на природные системы всех климатических зон и географических поясов. Принимаемые при строительстве проектные решения не всегда соответствуют условиям той или иной природно-климатической среды. Поэтому в процессе эксплуатации будущей дороги может появиться большое количество деформаций земляного полотна, на ликвидацию которых придется затрачивать значительные средства. Чтобы в будущем при этом не наносить больших ран природе, необходимо заранее обеспечить такие проектные решения, которые в наименьшей степени нарушали бы природные системы.

Неблагоприятное воздействие железнодорожного транспорта на среду обитания по сравнению, например, с автомобильным значительно меньше,

т.к. железные дороги – наиболее экономичный вид транспорта по расходу энергии на единицу работы. Однако, учитывая, что на долю железных дорог приходится значительная часть грузо- и пассажирооборота всех видов транспорта, необходимость проведения комплекса природоохранных мероприятий непосредственно на объектах железнодорожного транспорта и в сфере транспортного строительства очевидна.

К этим мероприятиям в первую очередь относятся: экономное расходование природных ресурсов; создание технологий, обеспечивающих безотходное производство; сохранение нормальных условий обитания в зоне транспортных коммуникаций. Еще на стадии проектирования железных дорог необходимо учитывать целый ряд требований, невыполнение которых может оказать отрицательное воздействие на окружающую среду в процессе строительства и эксплуатации дороги. Важнейшими из них являются: сокращение земель, занимаемых под транспортное строительство; защита почвенно-растительного покрова с разработкой мероприятий по восстановлению (рекультивации) земельного участка и использованию природного слоя почвы; сохранение лесных ресурсов, богатств недр; охрана воздушного бассейна, водных ресурсов, животного мира; борьба с шумом; сохранение эстетических качеств ландшафта и природных систем.

3.2 Сохранность земельных фондов и недр

Железная дорога со всеми своими сооружениями и устройствами занимает значительные земельные площади. Так, магистральная железнодорожная линия в пределах одного полотна между промежуточными раздельными пунктами (с учетом устройства кюветов, водоотводных канав, резервов, кавальеров) требует полосы отвода шириной 100–150 м, что обуславливает необходимость отчуждения земельных угодий от 1 до 20 га на 1 км пути.

При этом под транспортные сооружения в силу производственной необходимости нередко приходится отводить участки с плодородными почвами, а почва – это главный фундамент жизни, из которого человек получает 99 % продуктов питания. От тонкого, покрывающего землю слоя – гумуса – зависит все живое на земле. Этот слой накапливается в течение многих тысяч лет, а разрушается слишком быстро (1 см за 3 года).

В этой связи актуальной является задача сокращения занимаемых транспортными сооружениями площадей и рационального расходования земель, в особенности ценных для сельского хозяйства. Размеры участков, представляемых железной дороге и отдельным ее предприятиям, учреждениям и организациям под постоянные и временные коммуникации, определяются нормами отвода земель для железных дорог и соответствующей проектно-технической

документацией. Земля, отводимая под постоянные железнодорожные сооружения, теряется для земледелия навечно, а под временные сооружения, коммуникации, карьеры и т.п. отводится только на период строительства, после чего подлежит восстановлению, т. е. рекультивации.

Рекультивация представляет серьезную не только техническую, но и экономическую проблему. Выработанные каменные, щебеночные и песчаные карьеры обезображивают природный ландшафт, усиливают запыление земли и атмосферы и служат источником водной и ветровой эрозии почв на прилегающих площадях.

Рекультивация выполняется, как правило, в два этапа: технический и биологический. На техническом этапе выполняются работы по снятию, транспортировке и складированию (при необходимости) плодородного слоя почвы; планировке выработанной поверхности, формированию откосов, отвалов, бортов карьеров; ликвидации послеусадочных явлений; устройству подъездных автомобильных дорог на рекультивируемых участках; нанесению на спланированную поверхность почвенного слоя и другие работы в зависимости от характера нарушенных земель и целевого использования рекультивируемых участков. На биологическом этапе выполняется комплекс работ, направленных на восстановление плодородия рекультивируемых почв для использования в сельском или лесном хозяйстве.

При производстве изыскательских работ участки в пригодное состояние приводятся в ходе работ, а при невозможности – не позднее месячного срока после завершения работ. Наиболее дешевым способом рекультивации является создание на обработанных площадях лесных насаждений. Это мероприятие особенно эффективно в безлесной зоне.

Трасса новой железной дороги, проходя по территориям, на которых залегают полезные ископаемые, оказывает большое влияние на их разработку. Правильный выбор направления прокладки ее в таких районах имеет очень важное значение, так как многие полезные ископаемые практически невозобновимы, и на их воспроизводство природа тратит миллиарды лет.

В этой связи заблаговременно, еще на стадии выбора направления трассирования, должны быть выполнены горно-геологические обследования и заранее оценен ущерб из-за вынужденной консервации полезных ископаемых в случае прокладки дороги по территории неиспользованных запасов недр. Размер ущерба должен сравниваться со стоимостью варианта прокладки трассы вне территории залегания полезных ископаемых, который допускает некоторое удлинение линии, но позволяет избежать существенных потерь запасов, а окончательное решение должно приниматься с учетом общего народнохозяйственного эффекта.

3.3 Охрана растительного и животного мира

Из ресурсов растительного мира наибольшую ценность с экологической точки зрения имеют леса и, в первую очередь, хвойные и широколиственные, обладающие высокой кислородообразующей способностью.

Лес препятствует эрозии почв, поглощает вредные газы, фильтрует аэрозольные примеси, выделяет фитонциды и отрицательные ионы, делает климат более мягким и влажным, а также способствует выпадению большего количества осадков, повышению урожайности, размножению животных и птиц, защищает путь от снега и снижает сопротивление движению поездов.

Конечно, лесные запасы планеты Земля огромны. Однако из-за неравномерности размещения лесных массивов по регионам, плановых лесозаготовок и имеющих место необоснованных вырубок намечается тенденция постепенного сокращения площади лесов. Выбрасываемый в воздух с продуктами сгорания при сжигании в транспортных установках угля, мазута, нефти и других видов топлива, содержащих серу, сернистый ангидрид, соединяясь с атмосферной влагой, образует серную и сернистую кислоту, которая затем попадает в воду и почву. Скапливаясь в воздухе, эти агрессивные вещества угрожают животному миру и человеку. Сокращение площадей лесных массивов – это не только уменьшение поступления в атмосферу кислорода, но и даже возможное изменение климата.

В этой связи при проектировании новых железнодорожных линий, сравнении и выборе вариантов, в зависимости от конкретных условий, должны выбираться такие проектные решения, которые способствовали бы охране, рациональному использованию, воспроизводству и улучшению лесных богатств.

При прокладке трассы железной дороги и притрассовых подъездных дорог, размещении отдельных пунктов и рабочих поселков, дорожных предприятий и организации строительных работ следует предусматривать максимально возможное сохранение естественных почв и древесно-кустарниковой растительности на незастраиваемых площадях.

Прокладка железной дороги через лесной массив может принести ощутимый ущерб растительному миру прилегающей территории, так как требует вырубки значительной по ширине просеки для размещения необходимого комплекса сооружений и устройств дороги. Ширина вырубки просеки должна назначаться минимальной с учетом установленных норм отвода земель.

Трасса железной дороги должна прокладываться по возможности в обход ценных лесных участков, чтобы уменьшить экономический ущерб, связанный с неизбежной в этом случае потерей значительной части охотничьего промысла и урожая грибов, ягод, орехов, а прокладка ее через заповедники и с пересечением небольших по площади лесов в средней их части, а не вдоль опушки леса или по его окраине, вообще не допускается.

С жизнью растительного мира вообще и лесов в особенности непосредственно связана жизнь тысяч живых организмов в сложном переплетении и соседстве друг с другом. Вырубка лесов для прокладки трассы железной дороги с сопутствующими ей сооружениями и устройствами и связанное с этим загрязнение воздуха, почвы и растительности оставляет все меньше места для нормального существования животных. Строительство железной дороги, как правило, нарушает привычные условия их обитания и миграции, создавая препятствие для свободного передвижения, условия для их распугивания, а иногда – даже гибели. Ухудшение условий жизни животных и возможное уменьшение их популяции в свою очередь вызывает прямые или опосредованные негативные последствия как для самого человека, так и для общества в целом.

Для предотвращения названных последствий в будущем необходимо еще на стадии выбора направления прокладки трассы тщательно проработать вопросы обитания и миграции животных и птиц в регионе, а при проектировании и строительстве дороги следует предусмотреть дополнительные искусственные сооружения, обеспечивающие свободный проход животных под или над железнодорожным полотном в районе их обитания.

При необходимости в исключительных случаях прокладки трассы по заповедным местам должна быть полностью гарантирована безопасность животных. В частности, для предотвращения попадания животных на железную дорогу должно предусматриваться устройство ограждений полотна высокопрочной сеткой высотой 2–2,5 м или создание живой изгороди путем посадки в несколько рядов колючих кустарников.

При выборе места пересечения железной дорогой водотока с промысловой рыбой необходимо заранее установить виды рыб, условия и места нереста, нагула и отлова, контуры зимовальных ям, пути миграции. При этом может оказаться целесообразным устройство мостового перехода не только на главном русле реки, но и на ее притоках. С целью предотвращения нарушения естественного режима функционирования нерестилищ из-за неизбежного повышения уровня воды выше мостового перехода и понижения его ниже перехода при перекрытии пойм реки подходными насыпями следует в качестве конкурентоспособного рассмотреть и вариант полного перекрытия пойм эстакадами.

3.4 Шумовое загрязнение атмосферы

Одной из основных экологических проблем железнодорожного транспорта является борьба с шумом. Интенсивный и продолжительный шум от транспортных средств вызывает негативные последствия, выражающиеся в ухудшении самочувствия людей, находящихся в пределах досягаемости

шума, снижении работоспособности, нарушении сна, а иногда даже бывает причиной расстройства нервной системы.

Основными источниками внешнего шума на железной дороге являются движущиеся поезда, путевые машины и производственное оборудование транспортных предприятий. Усредненное значение интенсивности шума от движущегося поезда составляет 90–130 дБА.

От шума, вызываемого движущимся поездом, страдают, прежде всего, жители близлежащих населенных пунктов. Еще более ощутимым, чем шум от обычного поезда, является шум от круглосуточной работы крупных сортировочных, пассажирских, технических станций и вокзалов, расположенных, как правило, в окружении плотной городской застройки; вагонных и локомотивных депо; вагоно- и локомотиворемонтных заводов; заводов железобетонных конструкций; щебеночных заводов; ремонтных мастерских; рельсосварочных поездов.

Шум поезда складывается из шума локомотива и вагонов. Общий шум от электропоезда практически не превышает шума, создаваемого вагонами, а шум, производимый дизельным двигателем тепловоза на расстоянии 0,5 м от его корпуса, и аэродинамический шум выхлопа на расстоянии 1 м от выхлопного патрубка достигает 120 дБА. Источником шума вагонов являются удары колес на стыках и неровностях рельсов, а также трение поверхности катания гребня колеса о головку рельса.

Уровень шумового загрязнения значительно возрастает при движении поездов по мостам, особенно металлическим. С увеличением массы поездов, их длины и скорости движения интенсивность шума на мостах возрастает гораздо быстрее, чем на участках пути вне моста.

При движении колеса по рельсу производит шум и верхнее строение пути, включая рельс. Выбоины и волнообразный износ поверхности катания рельса приводят к повышению шума на величину до 25 дБА, а наличие стыков – до 10 дБА.

Для защиты от шума на железных дорогах рекомендуется применять следующие меры:

1 Проектирование линии, предназначенной преимущественно для пропуска транзитных грузовых поездов, в обход крупных населенных пунктов и размещение сортировочных, грузовых и технических пассажирских станций на расстоянии не менее 300 м от жилой застройки.

2 Отделение жилой застройки от железной дороги санитарно-защитной зоной не менее 100 м; сооружение звукопоглощающих экранов по типу метрополитена; использование в качестве экранов естественных рельефных условий местности (устройство пути в выемке); посадка полос искусственных зеленых насаждений с высотой деревьев не менее 7–8 м и кустарников 1,5–2 м.

3 Строительство вдоль железной дороги, проходящей в зоне жилой застройки, объектов промышленного и хозяйственного назначения (производственных зданий, заводских корпусов, складов, гаражей ленточного типа).

4 Совершенствование подвижного состава и, прежде всего, конструкции ходовых частей локомотивов и вагонов. Применение локомотивов и вагонов обтекаемой формы.

5 Применение более пологих радиусов кривых в плане; использование вместо звеньевого пути бесстыкового с устройством упругих резиновых прокладок, на которые опирается рельс; улучшение качества содержания верхнего строения пути; устранение выбоин и предотвращение волнообразного износа поверхности катания рельсов; совершенствование конструкции скрепления пути.

6 Строительство вместо переездов путепроводов в разных уровнях; прокладка дороги на эстакадах, на которых все поверхности конструкций покрываются шумопоглощающими матами.

7 Применение на мостах железобетонных пролетных строений с ездой на балласте, а на металлических мостах – виброизолирующих прокладок под шпалами, снижающих уровень шума на 10–13 дБА.

3.5 Охрана воздушного бассейна

С наблюдающимся в последние десятилетия бурным ростом населения планеты и развитием экономики неизбежно происходит изменение состава атмосферного воздуха и загрязнение его вредными для человека веществами (окиси азота, сернистые соединения, несгоревшие углеводороды, твердые аэрозоли в виде пыли, золы, сажи). Это может привести к тому, что содержание в атмосфере, например, одного только углекислого газа через несколько десятков лет может достигнуть катастрофически высокого уровня.

Современной медициной доказано, что без пищи человек может прожить пять недель, без воды – пять дней, а без воздуха – всего пять минут. В этой связи борьба с загрязнениями атмосферного воздуха является в настоящее время одной из актуальнейших проблем.

Основными загрязнителями воздушной среды являются промышленность, теплоэнергетика и транспорт. Степень влияния различных видов транспорта на атмосферу различна. Так, при одинаковых размерах перевозок, на железнодорожном транспорте вредных веществ выделяется в 25–50 раз меньше, чем на автомобильном, и в 1,5 раза меньше, чем на водном.

Это достигнуто в основном благодаря замене в свое время паровой тяги тепловозной. Однако и современные тепловозы, на которых в качестве силовой установки используются дизельные двигатели, также являются источни-

ками загрязнения воздуха. Отработавшие газы дизелей содержат окись углерода, двуокись азота и различные углеводороды (сернистый ангидрид, сажа и др.). Внедрение на наиболее загруженных магистралях электрической тяги в значительной мере способствует повышению чистоты атмосферного воздуха в зоне, прилегающей к железной дороге.

Уровень выделяемых локомотивами вредных веществ тем выше, чем больше расход электрической энергии или условного топлива, потребляемого на тягу поездов. Снижение скорости на подходах к раздельным пунктам и последующая за этим остановка поезда сопровождаются потерей энергии на торможение и последующий его разгон. При неполном сгорании топлива летучие органические соединения образуют один из компонентов дыма, а при торможении образуется металлическая пыль от истирания тормозных колодок.

Однако следует отметить, что атмосфера загрязняется не только выбросами тяговых средств. Примерно сорок процентов от общего расхода топлива на железнодорожном транспорте составляет расход энергии на теплофикацию различных транспортных объектов (ремонтных заводов, локомотивных и вагонных депо и др.). Так, в пыли на территории локомотивных и вагонных депо содержится свинец и марганец; на шпалопропиточных заводах и промывочно-пропарочных станциях в атмосферу выбрасывается большое количество газообразных фенолов, бензола, ароматических углеводородов, паров нафталина; сильно загрязняют атмосферу заводы по изготовлению щебня и асфальтобетона; большое количество пыли попадает в атмосферу при выдувании сыпучих грузов, перевозимых на открытом подвижном составе.

В этой связи, с целью сокращения вредного воздействия на атмосферу железнодорожного транспорта, необходимо: на участках, проходящих в густонаселенных районах, вблизи медицинских учреждений, санаториев и домов отдыха, предусматривать преимущественно электрическую тягу; по возможности сокращать число остановок и улучшать режимы движения поездов по участку; внедрять тормозные колодки из синтетических и композиционных материалов, электрические и гидродинамические тормоза; расширять парк полувагонов со сплошным дном во избежание утечки сыпучих грузов; на щебеночных, асфальтобетонных, шпалопродиточных и ремонтных заводах шире применять процессы более полного сгорания топлива, а стационарные установки на них оборудовать более совершенными системами газо-, золо- и пылеулавливания.

3.6 Охрана водных ресурсов

Самой уязвимой частью планеты Земля является вода. Пригодная для питья пресная вода на планете составляет около 3 % от общих запасов. При этом

всего 1 % ее циркулирует в реках, озерах, болотах, а остальное – это подземные воды и льды Арктики и Антарктики. С ростом численности населения объем потребления пресной воды ежегодно увеличивается. Поэтому проблема рационального использования водных ресурсов при строительстве и эксплуатации железнодорожных объектов весьма актуальна.

Железнодорожный транспорт является одним из крупнейших потребителей пресной воды. Большое количество воды на железной дороге используется для различных технических и технологических целей (питьевая вода для заправки вагонов в пассажирских поездах; техническая вода для приготовления льда в вагонах-рефрижераторах; растворы для промывки, пропарки и дезинфекции подвижного состава и др.). При этом значительная часть этой воды после использования сбрасывается в ручьи, озера, реки и моря в виде производственных стоков, т.е. расходуется безвозвратно.

Основными загрязнителями производственных вод являются щелочи, кислоты, нефтепродукты и механические примеси. На локомотиво- и вагоностроительных и ремонтных заводах, в локомотивных и вагонных депо в результате промывки узлов от смазки и грязи, при обработке деталей в гальванических цехах и при реостатных испытаниях образуются стоки, загрязненные щелочами, кислотами, солями меди и никеля. На шпалопропиточных заводах используются растворимые и водорастворимые антисептики. В стоках промыочно-пропарочных станций содержатся различные химикаты, в том числе и ядовитые. Вместе со сточными водами этих и других железнодорожных производственных предприятий в водоемы попадают поверхностно-активные вещества, нефтепродукты, кислоты, щелочи, антисептики, фенолы, органические и неорганические взвешенные вещества.

С учетом всего вышесказанного, при разработке проекта любого железнодорожного объекта еще на стадии изысканий должны выявляться источники загрязнения ручьев и рек сточными водами и отходами моющих средств и предусматриваться действенные меры по предотвращению загрязнения этих водоемов.

К основным мероприятиям по сокращению общего расхода воды и снижению уровня ее загрязнения следует отнести: создание более совершенных и экономичных средств и методов очистки производственных и бытовых сточных вод; сокращение сброса неочищенных стоков; строительство на транспортных предприятиях собственных очистных сооружений и создание на них замкнутых (бессточных) оборотных систем водоснабжения, в которых вода после охлаждения, очистки от загрязнителей и отстоя передается на повторное использование в других технологических процессах.

3.7 Железная дорога и окружающий ландшафт

Увязка трассы будущей железной дороги с окружающим ландшафтом заключается в органическом вписывании ее в местный рельеф.

Формы взаимосвязи железной дороги с окружающей природой зависят от конкретных условий, особенностей и внутренних возможностей сложившейся планировочной структуры, которые проявляются при прохождении дороги через города и поселки, по доминирующим возвышенностям и склонам, речным долинам и берегам водохранилищ, плотинам гидроэлектростанций и скальным прижизмам в горах, вдоль крупных природных лесных массивов и полос искусственных зеленых насаждений или по заповедным местам.

При выборе направления для прокладки трассы железной дороги проектировщику следует стремиться к максимально возможному сохранению природной привлекательности сложившегося в этом регионе ландшафта. Не разрушая важных памятников истории и культуры, а, напротив, дополняя их архитектурной выразительностью предполагаемых к строительству крупных железнодорожных сооружений (мостовых переходов, виадуков, эстакад, путепроводов, порталов тоннелей), которые гармонично вписывались бы в окружающий пейзаж.

При использовании для прокладки железной дороги ландшафта, не обладающего какими-то индивидуальными особенностями, может встать вопрос о его искусственном преобразовании. В этом случае красоту существующего ландшафта могут подчеркнуть рациональное сочетание открытых и закрытых пространств и искусственные зеленые насаждения, предназначенные для предохранения пути от песчаных и снежных заносов и снижения шумового воздействия на окружающую среду проходящих поездов. При этом сплошные лесные массивы могут чередоваться с разомкнутыми полосами, расположенными параллельно полотну железной дороги или под углом к нему.

4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА И ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА ПЕРЕГОНЕ

4.1 Элементы плана железных дорог

Планом железной дороги называется проекция оси пути на горизонтальную плоскость. Железная дорога в плане представляет собой сочетание чередующихся прямолинейных и криволинейных участков.

Прямолинейные участки характеризуются их длиной и направленностью (азимутом). С эксплуатационной точки зрения желательно иметь прямые участки как можно большей длины. В мировой практике строительства железных дорог есть прямые участки достаточно большого протяжения (528 км в Австралии, 330 км в Аргентине, 95 км в России и др.). Однако такие примеры являются исключением из общего правила.

Сопряжение прямолинейных участков между собой осуществляется при помощи кривых. Наличие в плане железной дороги кривых обусловлено необходимостью отклонения трассы от кратчайшего направления с целью лучшего вписывания в существующий рельеф местности и обхода различного рода препятствий (рисунок 4.1).

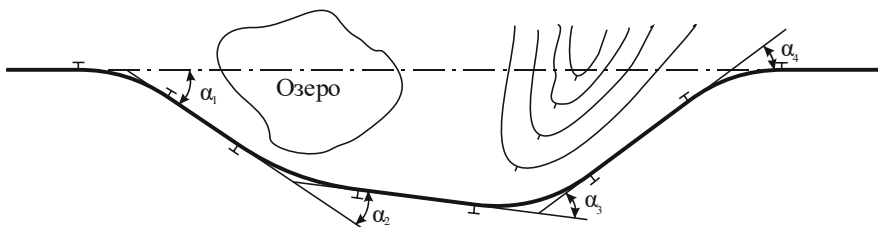


Рисунок 4.1 – Участок плана железной дороги

Удельный вес криволинейных участков пути на железных дорогах любой страны зависит от рельефа местности (в горной Швейцарии 37 % всей длины железнодорожной сети, во Франции и Германии – 31, в России и Беларуси – 25).

Круговые кривые. Кривые в плане железнодорожной линии (рисунок 4.2) характеризуются параметрами: углом поворота α , радиусом R ,

длиной кривой K , тангенсом T^* , биссектрисой B , домером D и направлением поворота. На рисунке 4.2 показан поворот на величину угла α° вправо по ходу линии.

Угол поворота и радиус кривой при трассировании новой железной дороги назначаются исходя из целесообразности и экономичности плана линии, диктуемыми топографическими или геологическими условиями рельефа местности. Остальные параметры в зависимости от принятых к проектированию значений α и R либо для сокращения трудоемких вычислений при разбивке кривых на местности принимаются по специальным таблицам [4], либо рассчитываются по известным

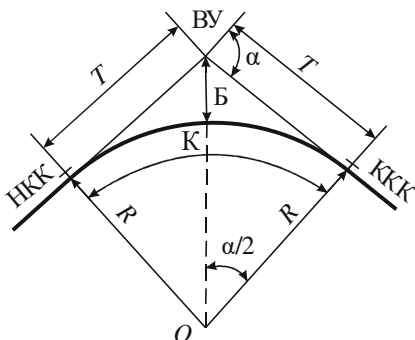


Рисунок 4.2 – Круговая кривая

формулам: $T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$; $K = \frac{\pi R \alpha^\circ}{180}$; $B = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right)$; $D = 2T - K$.

С точки зрения уменьшения длины кривой желательно применять малые углы поворота. Но минимальное значение угла поворота ограничивается необходимостью устройства переходной кривой, т. е. условием $K \geq l_{\text{нк}} + 50$, где $l_{\text{нк}}$ – длина переходной кривой, м; 50 – длина двух пассажирских вагонов, м. Максимальное значение угла поворота теоретически не ограничивается и может быть, например при спиральном развитии линии, больше 360° (см. подразд. 5.6).

От величины радиуса в значительной степени зависит положение железнодорожной линии в пределах кривой. Со строительной точки зрения целесообразнее назначать кривые малых радиусов, так как в общем случае, чем меньше радиус кривой, тем меньше объемы земляных работ и работ по возведению водопропускных сооружений (рисунок 4.3).

Однако применение криволинейных участков по сравнению с прямолинейными сопряжено с рядом существенных недостатков, которые в зависимости от места размещения кривой в плане и профиле железной дороги являются более или менее ощутимы.

К основным недостаткам кривых малых радиусов относятся: необходимость ограничения скорости движения поездов; удлинение проектируемой линии; повышенный износ рельсов; увеличение расходов

* Параметры тангенс T и биссектриса B не имеют ничего общего с одноименными математическими понятиями, а являются в данном случае всего лишь условными обозначениями, принятыми в практике проектирования путей сообщения.

на текущее содержание верхнего строения пути и ремонт подвижного состава; усиление контактной сети на электрифицированных линиях; снижение коэффициента сцепления колес локомотива с рельсами.

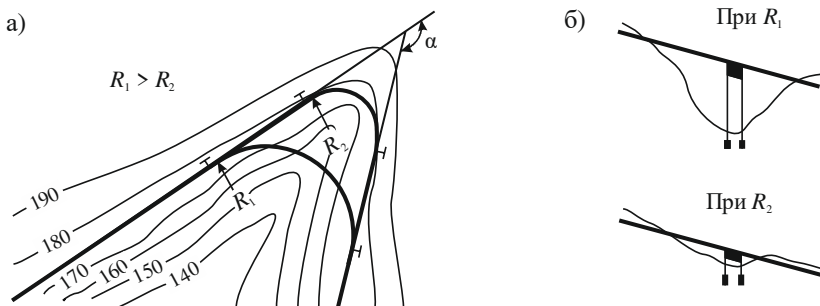


Рисунок 4.3 – Влияние величины радиуса кривой на объемы работ:
а – план; б – продольный профиль

Ограничение (снижение) скорости движения обусловлено требованиями обеспечения безопасности движения поездов, создания комфортных условий поездки для пассажиров, уменьшения износа рельсов в таких кривых под действием боковых сил. Дело в том, что на поезд массы m , движущийся в любой кривой, (а в кривой радиуса $R < 500$ м в особенности), действует сила $F_{цб}$, пропорциональная квадрату скорости $F_{цб} = mv^2/R$ и направленная от центра наружу кривой (рисунок 4.4). Под действием этой силы имеет место значительная перегрузка наружного рельса, а при больших значениях скорости кроме того создается угроза опрокидывания подвижного состава.

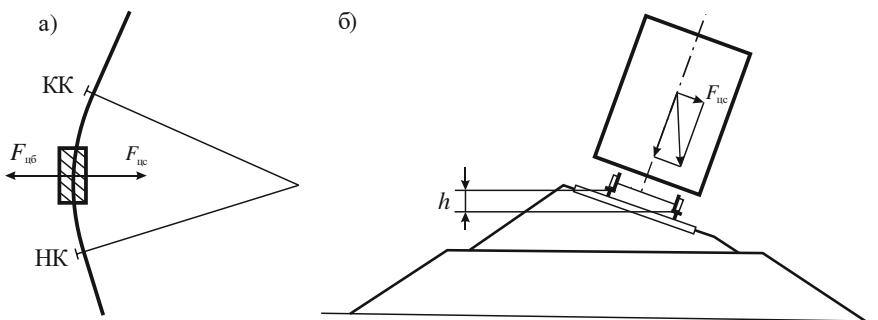


Рисунок 4.4 – Движение вагона в кривой:
а – в плане; б – в профиле

Для того, чтобы этого избежать, в кривых малых радиусов устраивается возвышение наружного рельса h по отношению к внутреннему. Благодаря

возвышению возникает сила $F_{цс}$, стремящаяся к центру (центростремительная), которая несколько уменьшает вредное воздействие центробежной силы. Однако даже при максимально допустимом нормативными документами возвышении 150 мм центробежная сила полностью не уравновешивается центростремительной.

Поэтому, чтобы перегрузка наружного рельса не превысила допускаемой величины, требуется дополнительное уменьшение центробежной силы, что возможно только за счет снижения скорости движения. Максимально допустимая в кривых малых радиусов скорость может быть определена из выражения $v_{доп} = 4,6\sqrt{R}$.

Снижение скорости является едва ли не самым существенным недостатком кривых малых радиусов, так как влечет за собой увеличение времени хода поезда по ограничивающему перегону, а на линиях с плотным графиком движения – еще и к уменьшению пропускной способности. Кроме того, вынужденное торможение при снижении скорости и последующий разгон ведут к увеличению энергетических затрат на тягу поезда и к безвозвратной потере кинетической энергии, накопленной поездом на участке пути, предшествующем кривой.

Удлинение линии ΔL при увеличении величины радиуса кривой в плане с R_2 до R_1 и неизменном угле поворота α (рисунок 4.5) можно ориентировочно определить из выражения

$$\Delta L = 2(T_1 - T_2) + K_2 - K_1,$$

где T_1 и T_2 – тангенсы кривых радиусов соответственно R_1 и R_2 , м;

K_1 и K_2 – длины этих кривых, м.

При увеличении угла поворота увеличивается и удлинение линии, причем оно тем больше, чем больше угол поворота. Например, при уменьшении радиуса кривой с 1000 до 600 м и угле поворота 60° удлинение линии в 4 раза меньше, чем при угле поворота 90° , и почти в 13 раз меньше, чем при 120° .

Удлинение линии, кроме того, влечет за собой рост строительной стоимости и ежегодных эксплуатационных расходов, а также увеличение времени хода поезда и общего пробега локомотивов и вагонов по проектируемой железной дороге.

Повышенный износ рельсов и общее расстройство пути в значительной степени зависит от радиуса кривой. Это является следствием прижатия реборды колеса подвижного состава к боковой грани наружного рельса под действием поперечных сил (боковой износ) и проскальзыванием колес, жестко насаженных на одну ось (вертикальный износ). Причем износ особенно интенсивно возрастает в кривых радиусом менее 600 м.

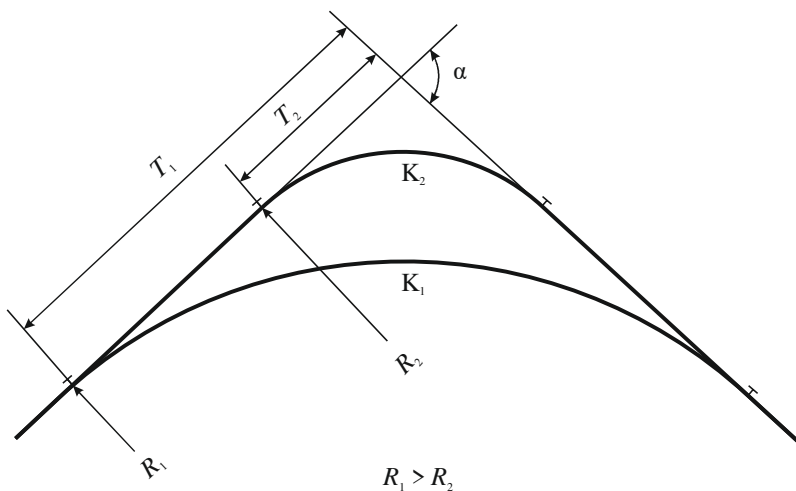


Рисунок 4.5 – Удлинение линии при уменьшении радиуса кривой и неизменном угле поворота

Это может привести к механическому износу и сокращению сроков службы шпал в кривых, уширению балластной призмы с наружной стороны кривой, увеличению расхода балласта, увеличению случаев повреждаемости и одиночного выхода рельсов и потребовать более частой рихтовки пути. Все это значительно повышает расходы по текущему содержанию и ремонту пути, которые в кривых возрастают практически обратно пропорционально квадрату радиуса.

Увеличение расходов на ремонт подвижного состава обусловлено повышенным износом бандажей колес и расстройством ходовых частей локомотивов и вагонов под действием возрастающих в кривых боковых сил. Этот износ находится примерно в такой же зависимости, как и износ рельсов.

Уменьшение коэффициента сцепления с рельсами ведущих колес локомотива вызывается увеличением проскальзывания их по внутреннему рельсу из-за неравенства пути, проходимого одновременно по наружной и внутренней рельсовой нити колесами каждой движущей оси. Оно становится особенно ощутимым в кривых радиусом менее 800 м на железнодорожных линиях с тепловозной тягой и менее 500 м – на электрифицированных линиях.

На участках с ограничивающими подъемами уменьшение коэффициента сцепления приводит к уменьшению силы тяги, ограниченной по сцеплению, по сравнению с ее расчетным значением. В этой связи может потребоваться либо снижение скорости движения (при небольшой длине нескольких разрозненно размещенных кривых), либо дополнительное смягчение ограничивающего уклона (в длинных кривых и кривых, близко расположенных друг от

друга). Причем смягчение потребуется не только в самой кривой, но и перед ней с низовой стороны на длине, равной длине поезда (см. подразд. 4.4).

Усиление контактной сети в кривых малых радиусов на электрифицированных линиях выражается в увеличении числа опор на один километр пути. Это обусловлено необходимостью обеспечения надежного токосъема пантографом электровоза с контактного провода на довольно крутом повороте трассы.

В то же время, хотя описанные выше недостатки вызывают увеличение отдельных составляющих строительной стоимости и ухудшение некоторых эксплуатационных показателей, в сложных топографических условиях уменьшение радиусов кривых может привести к существенному снижению общих строительных затрат.

С учетом всего вышесказанного, для удобства полевой разбивки и эксплуатации пути в кривых нормами проектирования новых железнодорожных линий [29] установлены округленные до 10 м стандартные величины радиусов круговых кривых в диапазоне от 4000 до 200 м в зависимости от категории линии, скорости движения поездов и рельефа местности (таблица 4.1). При этом радиусы подразделяются на рекомендуемые (большие), допускаемые в трудных условиях (средние) и допускаемые в особо трудных условиях при технико-экономическом обосновании (малые).

Т а б л и ц а 4.1 – Радиусы кривых в плане

В метрах

Категория железнодорожной линии	Рекомендуемые	Допускаемые	
		в трудных условиях	в особо трудных условиях при технико-экономическом обосновании
Скоростные	4000–3000	2500	1200
Пассажирские	4000–2500	2000	1000
Особогрузонапряженные	4000–2000	1500	1000
I	4000–2500	2000	1000
II	4000–2000	1500	800
III	4000–1200	800	600
IV	2000–1000	600	350
<p><i>Примечание</i> – Для развязок в железнодорожных узлах допускается применять кривые радиусом от 300 до 350 м для любой категории железнодорожной линии. В особо трудных условиях при обосновании технико-экономическими и тяговыми расчетами допускается применять радиусы кривых менее 350 м.</p>			

Для сокращения длины проектируемой линии и стоимости ее строительства, улучшения условий вписывания подвижного состава и увеличения скорости движения поездов, а также уменьшения пробега поездов и снижения

эксплуатационных расходов желателно назначать кривые возможно большего радиуса, если это не влечет за собой существенного увеличения объемов работ.

Однако при проектировании новых железных дорог в странах СНГ кривые радиусом более 4000 м, как правило, не назначаются. Это обусловлено определенными трудностями в их разбивке и текущем содержании (они под действием поездной нагрузки легко теряют свое правильное геометрическое очертание, т. е. сбиваются, превращаясь в отрезки прямых и кривых), а также довольно значительным общим удлинением кривых даже при малых углах поворота. Например, при угле поворота 8° и радиусе кривой 1000 м длина ее составляет всего 139,63 м, а при радиусе 4000 м – уже 558,52 м.

Следует, однако, отметить, что в отдельных случаях применяются и радиусы значительно большей величины (например, в России на линиях Москва – Нижний Новгород – 6400 м, Москва – Санкт-Петербург – 7240 м, а в США – даже 10000 м).

Величина минимально допустимого радиуса кривой в плане определяется условиями гарантии безопасного вписывания в нее подвижного состава, предполагаемого к обращению на проектируемой линии. Современные локомотивы вписываются в кривые радиусом 125–140 м. Практика, однако, показывает, что содержание пути в устойчивом состоянии при столь малых радиусах связано с очень большими трудностями, особенно при мощных локомотивах и тяжеловесных грузовых поездах. Поэтому с учетом необходимости некоторого запаса и возможных неточностей в разбивке и содержании таких кривых минимально допустимая величина радиуса на новых линиях по нормам проектирования увеличена до 200 м. Однако применение кривых такого радиуса даже в особо трудных условиях требует соответствующего технико-экономического обоснования.

Обоснование радиусов кривых заключается в сопоставлении экономии в объемах строительных работ при использовании кривых меньшего радиуса с увеличением годовых эксплуатационных расходов, вызываемых потерями времени хода и энергии при снижении скорости движения поездов и другими недостатками, присущими кривым малых радиусов. Однако установление оптимального значения радиуса кривой является достаточно сложной задачей и потому производится только в очень сложных случаях.

Смежные кривые. При проектировании новых железных дорог, особенно в условиях сложного рельефа местности, число кривых в плане увеличивается. При этом нередко расстояния между этими кривыми оказываются настолько малыми (меньше длины поезда), что одна кривая может оказывать влияние на условия движения поезда в другой, близко расположенной от нее кривой, в результате чего движение поезда становится неплавным. Такие кривые принято называть *смежными*, или *зависимыми*. Они могут быть направлены в одну или в разные стороны.

Т а б л и ц а 4.2 – Длина прямой вставки

В метрах

Категория железнодорожной линии	В нормальных условиях между кривыми, направленными		В трудных условиях между кривыми, направленными	
	в разные стороны	в одну сторону	в разные стороны	в одну сторону
Скоростные	150	150	100	100
Пассажирские	150	150	50	75
Особогрузонапряженные	75	100	50	50
I и II	150	150	50	75
III	75	100	50	50
IV	50	50	30	30

Примечание – В случаях, когда на особогрузонапряженных линиях предусматривается максимальная скорость движения пассажирских поездов свыше 120 км/ч, прямые вставки на указанных линиях следует принимать по нормам, предусмотренным для железнодорожных линий I категории.

При камеральном трассировании переходные кривые на профильной схеме плана не указываются. Поэтому, проектируя смежные кривые, для обеспечения требуемого расстояния между двумя круговыми кривыми с учетом устройства переходной кривой предусматривается так называемая фиктивная, или строительная прямая вставка b (рисунок 4.7). Длина этой вставки измеряется между конечными точками несдвинутых круговых кривых $b = l_{пк1}/2 + a + l_{пк2}/2$.

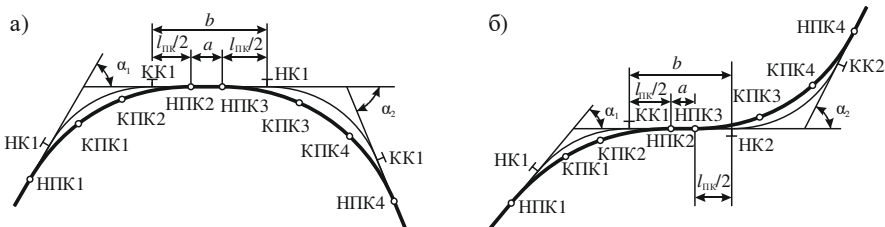


Рисунок 4.7 – Смежные кривые, направленные:
 a – в одну сторону; b – в разные стороны

Переходные кривые. При входе в круговую кривую в начальной точке сопряжения ее с прямым участком подвижной состав испытывает боковой удар, происхождение которого объясняется внезапным появлением центробежной силы. Эта сила действует по всей длине круговой кривой и исчезает в конечной ее точке так же внезапно, как и появилась в начальной точке. Такое внезапное появление и исчезновение центробежной силы вызвало бы нарушение плавности движения поезда. Для того чтобы этого не произошло, т. е. для

обеспечения плавного перехода поезда из прямой в круговую кривую, а затем – из кривой обратно на следующую прямую, устраивается переходная кривая переменной кривизны (рисунок 4.8). В пределах этой кривой обеспечивается постепенное изменение радиуса от бесконечности на прямой до известного конечного значения его в круговой кривой; плавный отвод возвышения наружного рельса, устраиваемого в круговой кривой; а в кривых радиуса менее 350 м еще и переход от ширины колеи 1520 мм на прямом участке к увеличенной ширине колеи в кривой.

В качестве переходной кривой в станях СНГ применяют радиоидальную спираль (клотоиду), кривизна которой изменяется обратно пропорционально ее текущей длине.

Для удобства разбивки и содержания длину переходной кривой принимают равной длине участка отвода возвышения наружного рельса. Возвышение принято отводить по прямой наклонной линии (см. рисунок 4.8). В этом случае длина переходной кривой $l_{пк}$ зависит от возвышения наружного рельса h и уклона отвода возвышения i : $l_{пк} = h / i$.

Уклон отвода возвышения в расчетах не должен превышать 1 ‰, а в затруднительных случаях разрешается увеличивать его до 2 ‰.

Полученные в результате расчета длины переходных кривых в практике проектирования округляются в большую сторону до значений, кратных 10.

При проектировании новых скоростных железных дорог и линий I и II категорий длины переходных кривых определяются в зависимости от возвышения наружного рельса h , мм, и максимально допустимой на линии скорости движения, v_{max} , км/ч, из выражений:

$$\text{– в обычных (нормальных) условиях – } l_{пк} = \frac{hv_{max}}{100}, \quad (4.1)$$

$$\text{– в трудных и особотрудных условиях – } l_{пк} = \frac{hv_{max}}{125}. \quad (4.2)$$

Согласно Своду правил [29] длины переходных кривых на особогрузонапряженных линиях и линиях III и IV категорий, проектируемых в среднеестественных условиях, принимаются по таблице 4.3 в зависимости от радиуса кривой, категории линии, а также зоны скоростей движения.

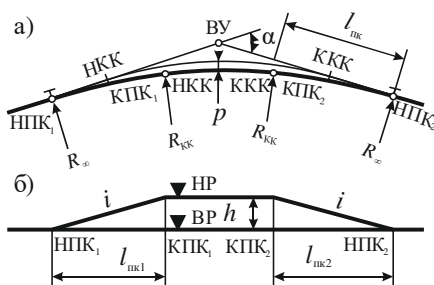


Рисунок 4.8 – Сопряжение прямых участков с помощью переходных и круговой кривой:
а – план; б – профиль

Т а б л и ц а 4.3 – Длины переходных кривых

В метрах

Радиус кривой	На железнодорожных линиях и подъездных путях								
	особогрузонапряженных			III категории			IV категории		
	Зоны скоростей движения								
	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я
4000	40	30	20	30	20	20	–	–	–
3000	60–40	40–30	20	40–30	30–20	20	–	–	–
2500	80–60	50–30	20	60–40	40–30	20	–	–	–
2000	100–80	60–40	30	60–50	50–30	20	40–30	30	20
1300	100–80	60–40	40–30	80–60	50–40	30–20	50–30	30	20
1500	120–100	80–60	50–40	80–60	60–50	40–30	60–40	40–30	30
1200	140–120	100–80	60–50	100–80	80–60	40–30	60–50	50–30	30
1000	140–120	120–100	70–50	120–100	80–60	50–40	80–60	50–40	30
800	160–140	140–100	80–50	140–100	100–80	50–40	90–60	60–50	40–30
700	160–140	140–120	80–60	160–120	110–90	60–50	120–80	60–50	40–30
600	160–130	140–120	100–60	160–120	120–100	60–50	120–80	80–60	50–40
500	160–120	140–120	120–70	160–120	130–100	80–60	120–100	90–70	60–40
400	160–120	140–120	140–80	140–100	140–100	80–60	120–100	110–80	60–50
350	140–100	140–100	140–80	140–100	130–100	100–60	120–100	120–80	80–50
300	140–100	140–100	120–80	140–100	120–100	120–80	120–80	120–80	80–60
250	120–90	120–80	120–80	120–80	120–80	120–80	120–80	120–80	80–60
200	–	–	–	–	–	–	100–80	100–80	80–60

Примечания

1 При двух значениях длин переходных кривых меньшие значения допускается применять в трудных условиях.

2 Деление участков на зоны скоростей движения поездов следует производить в зависимости от конфигурации продольного профиля на основании тяговых расчетов.

Скоростные зоны характеризуют очертание продольного профиля на участке пути, где располагается рассматриваемая кривая (рисунок 4.9).

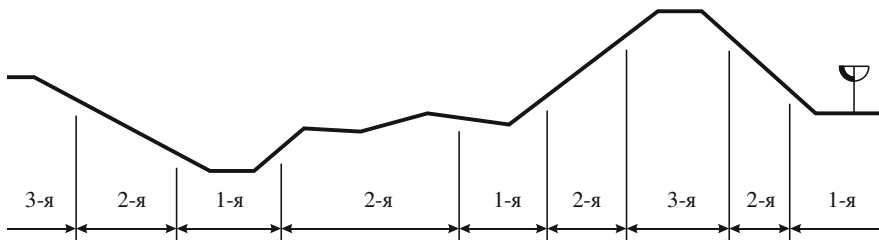


Рисунок 4.9 – Скоростные зоны

К первой зоне относятся углубления профиля (ямы), уступы (ступени) продольного профиля и примыкающие к ним участки затяжных подъемов, а также другие участки, проходимые грузовыми поездами в обоих направле-

ниях с максимальными или близкими к ним скоростями; ко *второй* зоне – горизонтальные площадки, уступы, углубления и возвышения профиля с нетормозными, незатяжными подъемами, которые поезда проходят в режиме тяги и на которых средневзвешенная квадратическая скорость близка к средним значениям скорости движения грузовых поездов; к *третьей* – возвышения профиля и примыкающие к ним участки затяжных подъемов (горбов), по которым грузовые поезда в обоих направлениях следуют со скоростями, близкими к расчетно-максимальным на руководящем подъеме.

Вместе с тем Свод правил предусматривает в технико-экономически обоснованных случаях возможность для отдельных участков железных дорог особогрузонапряженных, III и IV категорий длину переходных кривых устанавливать также непосредственным расчетом, если эти участки расположены в трудных условиях и на них не может быть реализована допускаемая принятым радиусом кривой скорость движения поездов.

4.2 Элементы продольного профиля железных дорог

Продольным профилем железнодорожной линии принято называть проекцию по ее оси на вертикальную поверхность, развернутую затем на плоскость.

С точки зрения эксплуатации железных дорог в известной мере идеалом продольного профиля является горизонтальная линия (площадка), которой соответствуют наименьшие расходы по тяге и движению поездов, зависящие на таком профиле только лишь от величины основного сопротивления движению.

Но другой не менее важный фактор – строительные расходы, на размеры которых оказывает огромное влияние топография района проложения трассы, вынуждает отказаться от такого, на первый взгляд, идеального эксплуатационного профиля, и проектировать его такими элементами, которые дали бы возможность снизить строительную стоимость за счет проложения линии применительно к топографии местности.

В этой связи, для преодоления железной дорогой различного рода высотных препятствий в вертикальной плоскости и уменьшения при этом объемов земляных работ линия в продольном профиле проектируется площадками и уклонами, которые в зависимости от направления движения поезда являются спусками или подъемами (рисунок 4.10).

Участок профиля однообразной крутизны называется *элементом продольного профиля* (участок *аб* на рисунке 4.10). Главнейшими характеристиками продольного профиля служат крутизна уклона, длина отдельных его элементов и сопряжение этих элементов в местах их пересечений.

Крутизна уклона измеряется отношением высоты подъема (спуска) h в метрах к горизонтальной проекции его длины (заложению) l в километрах (см. рисунок 4.10) и выражается в промилле (в практике проектирования железных

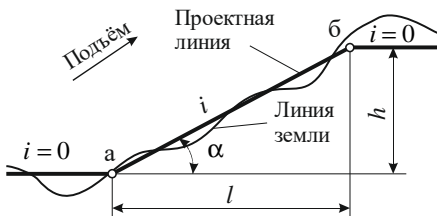


Рисунок 4.10 – Уклон и длина элемента продольного профиля

дорог эту единицу принято называть «тысячная»). Таким образом, уклон элемента есть тангенс угла наклона элемента к горизонту: если $\text{tg } \alpha = 0,010$, то уклон $i = 10 \text{ ‰}$, т. е. на протяжении 1 км длины линии преодолевается (теряется) высота 10 м.

Уклон элемента, по которому поезд движется на подъем, считается положительным, а на спуск – отрицательным. Элемент профиля с уклоном $i = 0$ называется *горизонтальной площадкой*, или просто *площадкой*. Площадка называется *разделительной*, если к ней с обеих сторон примыкают подъемы или спуски (рисунок 4.11).

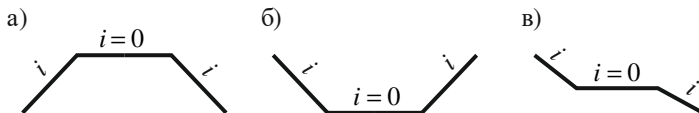


Рисунок 4.11 – Разделительные площадки:
а – на «горбе»; б – в «яме»; в – на уступе

Точка сопряжения двух соседних элементов называется *точкой перелома профиля*. Перелом профиля характеризуется алгебраической разностью уклонов $\Delta i = i_2 - i_1$, которая принимается обычно по модулю $\Delta i = |i_2 - i_1|$.

Расстояние между двумя смежными точками перелома называется *длиной элемента*. Длину элемента профиля принято измерять не по гипотенузе (см. ab на рисунке 4.10), а по катету, т. е. по проекции ее длины l на горизонтальную ось. Допускаемая при этом погрешность весьма незначительна. Так, даже при уклоне 30 ‰, максимальном для линии самой низкой IV категории, угол наклона элемента профиля к его горизонту $\alpha = 1^\circ 43'$, а разница между фактической длиной элемента и его горизонтальной проекцией составляет всего 4 см на 100 м длины.

Классификация уклонов продольного профиля. Уклоны, используемые в практике проектирования продольного профиля железных дорог, можно (условно) поделить на две группы:

1) *уклоны, ограничивающие* наибольшую допускаемую крутизну элементов профиля и определяющие все основные нормы и условия проектирования

и эксплуатации железной дороги в целом (руководящий уклон, уравновешенный уклон, уклон усиленной тяги, инерционный уклон);

2) *уклоны проектирования*, оказывающие различное влияние на баланс энергии движущегося поезда и на технико-экономические характеристики отдельных участков продольного профиля (вредный и безвредный уклоны), а также уклоны, используемые в различных расчетах (действительный, средний, приведенный и уклон, эквивалентный дополнительному сопротивлению от кривой).

Руководящий уклон (i_p) – наибольший на данном направлении уклон неограниченного протяжения, при движении по которому в сторону подъема поезд, ведомый одним локомотивом, достигает постоянной скорости, равной расчетно-минимальной. Этот уклон в совокупности с заданным типом локомотива и с заданной скоростью движения определяет наибольшую массу основной рабочей единицы эксплуатируемой железной дороги – грузового поезда.

При заданной на участке массе грузового поезда и данном типе локомотива расчетная величина руководящего уклона i_p для проектируемой железной дороги может быть получена из условия равномерного движения по нему поезда расчетной массы Q , с расчетной скоростью v_p , при котором сила тяги локомотива $F_{кр}$ равна суммарному (общему) сопротивлению движению поезда W , т. е.

$$F_{кр} = W \text{ или } F_{кр} = P g (w_0' + i_p) + Q g (w_0'' + i_p), \quad (4.3)$$

где P – расчетная масса локомотива, т;

Q – масса состава вагонов, т;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

w_0' – основное удельное сопротивление движению локомотива в режиме тяги, Н/кН;

w_0'' – средневзвешенное основное удельное сопротивление движению состава вагонов, Н/кН.

Таким образом, значение руководящего уклона определится из выражения

$$i_p = \frac{F_{кр} - (P w_0' + Q w_0'') g}{(P + Q) g}. \quad (4.4)$$

Крутизна руководящего уклона является одним из важнейших технических параметров проектируемой железнодорожной линии. От принятого значения руководящего уклона зависят как размеры капитальных вложений в строительство этой линии, так и будущие расходы по ее эксплуатации.

Действительно, в том случае, когда линия прокладывается в условиях, где приходится преодолевать высотные препятствия и пересекать водоразделы, с увеличением крутизны уклона i будет происходить уменьшение длины линии

L , так как известно, что $L = H / i$, где H – высота, на которую требуется подняться. Вместе с уменьшением длины линии будут уменьшаться и расходы, пропорциональные этой длине. Кроме того, увеличение крутизны руководящего уклона приведет к уменьшению строительной стоимости благодаря лучшему вписыванию в рельеф местности и уменьшению объемов земляных работ и работ по возведению искусственных сооружений. Это особенно ощутимо при электрической тяге, так как затраты на строительство электрифицированных железных дорог на 25–30 % выше, чем дорог с тепловозной тягой (за счет необходимости устройства контактной сети и тяговых подстанций).

В то же время, как известно из тяговых расчетов, чем круче уклон, тем меньше масса поезда. Уменьшение массы поездов на проектируемой линии повлечет за собой необходимость увеличения их числа для обеспечения заданных размеров перевозок. А последнее обстоятельство связано с увеличением числа разъездов для скрещения этих поездов и затрат времени на стоянки их при скрещениях, а также со снижением участковой скорости и в целом с некоторым ухудшением эксплуатационных показателей работы дороги.

Другим серьезным недостатком крутых уклонов является необходимость ограничения скорости движения поездов на спусках по условиям торможения. Чем круче уклон (спуск), тем ниже максимально допускаемая на нем скорость поезда.

Таким образом, *выбор наибольшей величины руководящего уклона* представляет достаточно сложную технико-экономическую задачу, при решении которой обязательно должны учитываться все конкретные условия и особенности каждой вновь проектируемой железной дороги, а именно: топографические условия района проектирования, характер, размеры и темпы роста планируемых на ней перевозок на перспективу с учетом величины руководящих уклонов, весовых норм поездов и полезной длины путей на отдельных пунктах, принятых на линиях примыкания к существующей железнодорожной сети.

Учитывая вышесказанное, современные нормы проектирования устанавливают следующие максимальные значения руководящего уклона: для особо-грузонапряженных линий – 9 ‰, для линий I категории – 12, II – 15, III – 20, IV – 30 ‰. На скоростных магистральных линиях руководящий уклон не должен превышать 20 ‰ [29].

На сети стран СНГ большинство железнодорожных линий имеют максимальную величину руководящего уклона в пределах от 6 до 12 ‰. Наибольшее распространение получил руководящий уклон 9 ‰ (в том числе и на Белорусской железной дороге). В горных районах на отдельных линиях применимы уклоны 15–17 ‰ и более.

В благоприятных условиях равнинного рельефа эффективно применение более пологих уклонов. Минимальное значение руководящего уклона нормами проектирования не фиксируется. Но при очень малом i_p масса состава Q по условиям равномерного движения на руководящем подъеме может превысить наибольшую массу состава по условиям трогания поезда с места, что недопустимо, так как условие $Q \leq Q_{тр}$ должно соблюдаться неукоснительно. С учетом этого условия, наименьшим теоретически возможным является руководящий уклон, при котором $Q = Q_{тр}$.

Расчеты, выполненные И. И. Кантором для площадочного профиля на отдельных пунктах, показали, что наименьшее значение руководящего уклона может быть принято 2‰ [19]. Это заключение подтверждается и мировой железнодорожной практикой. В России на направлении Москва – Санкт-Петербург минимальное значение руководящего уклона 3‰, а на участке Иртышское – Карбышево (под Омском) – 2‰. Руководящие уклоны от 2 до 3‰ имеет и ряд железных дорог США.

Масса состава, т, которая может быть тронута локомотивом с места, определяется по формуле

$$Q_{тр} = \frac{F_{к(тр)}}{(w_{тр} + i_{к(тр)})g} - P, \quad (4.5)$$

где $F_{к(тр)}$ – сила тяги локомотива при трогании с места, Н, приводится в ПТР [27];

$w_{тр}$ – средневзвешенное удельное сопротивление при трогании, Н/кН;

$i_{к(тр)}$ – приведенный уклон под поездом при трогании, ‰.

Уравновешенный уклон ($i_{уп}$) – подъем круче руководящего, применяемый в качестве расчетного в негрузовом направлении, т. е. в направлении с меньшими размерами перевозок (рисунок 4.12).

Поскольку размеры перевозок по направлениям в данном случае различаются, то при одном и том же числе поездов в грузовом и негрузовом (обратном) направлениях масса поезда в направлении с меньшими размерами перевозок будет меньше, так как часть вагонов в этом направлении будет следовать неполногрузными или даже порожними. Состав меньшей массы ($Q_{обр}$) локомотив сможет вести по более крутому уклону, на котором уменьшение массы состава «уравновешивается» дополнительным сопротивлением от уклона.

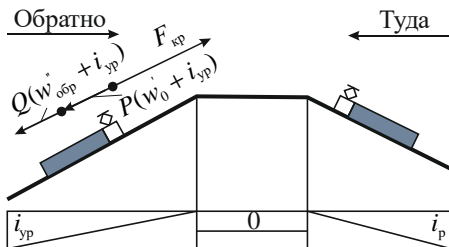


Рисунок 4.12 – Уравновешенный уклон

Из условия равенства полного сопротивления движению поезда в грузовом и обратном направлении

$$i_{yp} = \frac{F_{кр} - (Pw_0^i + Q_{обр} w_{0(обр)}^{\prime\prime})g}{(P + Q_{обр})g}, \quad (4.6)$$

где $w_{0(обр)}^{\prime\prime}$ – основное удельное сопротивление движению вагонного состава в обратном направлении, учитывающее наличие в составе обратного направления неполногрузных и порожних вагонов.

Обязательным условием применения уравновешенного уклона является неравномерность структуры или размеров перевозок, ярко выраженная по направлениям движения и гарантированно устойчивая на перспективу. Кроме того, эффективность уравновешенного уклона будет особенно ощутимой, если в обратном направлении имеет место значительное высотное препятствие, так как только в этом случае будет обеспечиваться существенное сокращение длины линии, уменьшение объемов работ за счет лучшего вписывания в местный рельеф и, как следствие, снижение строительной стоимости.

Принимаемое на конкретном направлении значение уравновешенного уклона не должно, как правило, превышать наибольшего значения руководящего уклона, установленного нормами проектирования для линий данной категории, а максимальная крутизна i_{yp} не должна превышать уклона двойной тяги для грузового направления. Например, на линии Москва – Санкт-Петербург $i_{yp} = 5,5 \text{ ‰}$ при $i_p = 3 \text{ ‰}$.

Уклон усиленной тяги (i_{yc}) – подъем, круче руководящего, по которому движение поезда расчетной массы осуществляется двумя и более локомотивами.

При проектировании железной дороги в районе с резко меняющейся топографией в отдельных случаях возникает необходимость для преодоления значительных высотных препятствий (высоких водоразделов, горных седел) на небольших по протяжению участках менять как величину руководящего уклона, так и массу поезда.

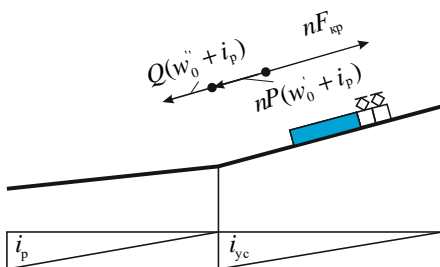


Рисунок 4.13 – Уклон усиленной тяги

В этих случаях за основной уклон принимается руководящий уклон, отвечающий топографии линии на большом ее протяжении, по которому и рассчитывается масса поезда. Преодоление более крутых подъемов достигается путем применения уклона усиленной тяги при условии сохранения массы поезда, рассчитанной для заданного руководящего уклона (рисунок 4.13). При одинаковых основ-

ном и дополнительных локомотивах в поезде уклон усиленной тяги называют *уклоном кратной тяги*. При этом появляется возможность избежать

необходимости сооружения дорогостоящего тоннеля и в то же время существенно уменьшить строительную стоимость линии за счет сокращения ее длины.

Назначая такой уклон, следует однако иметь в виду значительное увеличение затрат на приобретение дополнительных локомотивов. Поэтому окончательное решение должно приниматься только на основании технико-экономического сравнения вариантов.

Величина наибольшего уклона усиленной тяги определяется из условия равенства суммарной силы тяги локомотивов полному общему сопротивлению движению поезда:

$$i_{yc} = \frac{nF_{кр} - (nPw_0' + Qw_0'')g}{(nP + Q)g}, \quad (4.7)$$

где n – число локомотивов в поезде с учетом основного и дополнительных.

Рассчитанные исходя из этого условия наибольшие значения уклона усиленной тяги приводятся в Своде правил. Как правило, они не должны превышать 18 ‰ – на линиях особогруженонапряженных и I категории; 20 ‰ – на линиях II категории; 30 ‰ – на линиях III категории и 40 ‰ – на линиях IV категории.

На некоторых железных дорогах европейских стран (Австрии, Испании, Италии, Франции, Швейцарии) при пересечении горных хребтов были использованы уклоны усиленной тяги в пределах 25–30 ‰, а на магистральных железных дорогах США – до 22 ‰. Наибольшее значение i_{yc} в 46 ‰ было допущено на Поти-Тифлисской железной дороге в 1872 г. при бестоннельном пересечении Сурамского хребта.

Инерционный (скоростной) уклон ($i_{ин}$) – подъем, круче руководящего, преодолеваемый поездом с разгона за счет работы силы тяги локомотива и накопленной на подходах к этому подъему кинетической энергии.

Использование инерционного уклон дает технически и экономически обоснованную возможность пройти некоторый (относительно небольшой) участок уклоном, круче заданного руководящего, при условии сохранения массы поезда, рассчитанного по руководящему уклону. Это в свою очередь позволяет существенно уменьшить потребное развитие линии, приблизить проектную линию к естественной поверхности земли и тем самым сократить объемы работ и снизить стоимость строительства проектируемой железной дороги (рисунок 4.14).

Очевидно, что применение инерционного уклона может дать ожидаемый эффект только в том случае, если участок, предшествующий подъему, представляет собой спуск, на котором поезд успеет развить большую скорость и накопить значительную кинетическую энергию, достаточную для преодоления этого подъема, при условии, что в конце подъема скорость движения поезда будет не ниже расчетной для данного типа локомотива.

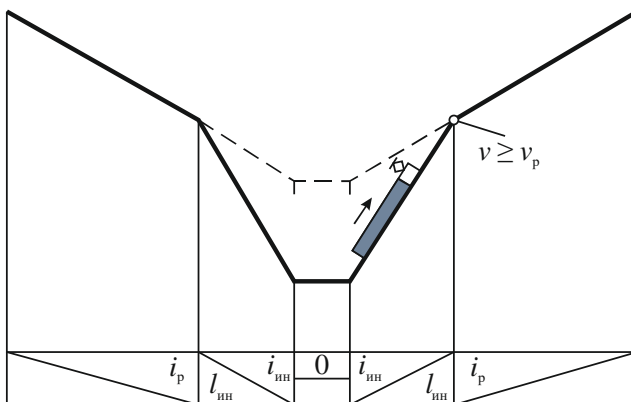


Рисунок 4.14 – Инерционный уклон

Но инерционный уклон не может быть применен на участке большого протяжения. Так как поезд движется по инерционному подъему, замедленно, то между длиной этого уклона и его крутизной существует определенная зависимость: чем длиннее элемент профиля, тем меньше должен быть его уклон, и наоборот, чем круче уклон, тем короче должен быть элемент. С учетом этого условия, при проектировании инерционных уклонов либо задаются величиной уклона и с помощью тяговых расчетов аналитически или графически находят его длину, либо, наоборот, задавшись длиной элемента с инерционным уклоном, определяют его крутизну.

Следует также иметь в виду, что участок железнодорожной линии с инерционным уклоном в отдельные периоды его эксплуатации может испытывать достаточно серьезные затруднения в работе, если по каким-либо причинам скорость поезда при подходе к этому участку окажется меньше скорости, положенной в основу расчета. Такими причинами могут являться: неблагоприятные погодные условия в виде внезапного снежного заноса, гололеда или сильного лобового или бокового ветра; наличие у машиниста локомотива предупреждения о необходимости снижения скорости в связи с проведением ремонтных путевых работ и др. Действие этих причин может привести либо к значительному увеличению времени хода поезда по участку, либо вообще к остановке поезда на подъеме, что крайне нежелательно.

Ввиду большой вероятности возникновения перечисленных выше, трудно поддающихся прогнозированию и учету, факторов в настоящее время при проектировании новых магистральных железных дорог инерционные уклоны, как правило, применяются крайне редко.

В р е д н ы й у к л о н ($i_{вр}$). Так условно принято называть спуск, на протяжении которого требуется применять торможение для поддержания скорости на уровне, не превышающем наибольшую допустимую на данном участке

величину. «Вредным» спуск назван потому, что при интенсивном торможении имеет место расстройство пути, повышенный износ тормозных колодок подвижного состава и безвозвратная потеря накопленной поездом на предыдущем спуску участка энергии. Кроме того, при торможении на спуске сцепные приборы поезда приходят в сжатое состояние, а при переходе на горизонтальную площадку или подъем, следующие за затяжным спуском, включается тяга, вследствие чего может произойти внезапное резкое увеличение усилий в сцепных приборах. Уклоны, при движении по которым в сторону спуска торможение не требуется, принято называть *безвредными*.

Крутизну предельно безвредного уклона ($i_{пбв}$) можно определить аналитически из условия равномерного движения поезда по спуску с максимально допустимой на этом участке скоростью в режиме холостого хода, т. е. когда сила тяги F_k равна нулю:

$$F_k = Pw'_{ок} + Q_k w''_0 + (P+Q)i_{пбв} = 0,$$

откуда

$$i_{пбв} = -\frac{Pw'_{ок} + Q_k w''_0}{P+Q}. \quad (4.8)$$

Как видно из формулы, значение предельно безвредного уклона зависит только от типа вагонного состава, мощности локомотива и скорости движения поезда (так как от скорости зависит величина основного средневзвешенного сопротивления w_0).

В настоящее время для среднесетевых условий при использовании вагонов с роликовыми подшипниками значение $i_{пбв}$ принято в пределах 2–2,5 ‰. На электрифицированных линиях при использовании на спусках рекуперативного торможения крутизна предельно безвредного уклона может превышать эти значения и будет тем больше, чем мощнее локомотив, круче руководящий уклон, а значит, меньше зависящая от него масса состава.

Следует однако отметить, что не всякий спуск, запроектированный уклоном, круче предельно безвредного, обязательно будет вредным. Если спуск короткий, то скорость движения поезда по нему может не достигнуть максимально допустимой для данного спуска величины и торможения не потребуются. Но и не все длинные спуски относятся к тем, где может потребоваться торможение. Все зависит от того, какова протяженность элемента с таким уклоном и с какой скоростью поезд подошел к этому элементу. То есть при оценке «вредности» того или иного спуска его следует рассматривать в совокупности со смежными с ним элементами, а ни в коем случае не изолированно.

Наиболее точно определить, является ли рассматриваемый спуск вредным, и установить момент начала торможения можно и графически – путем построения кривой скорости $v = f(s)$ по способу Липеца или Унрейна, как это показано на рисунке 4.15.

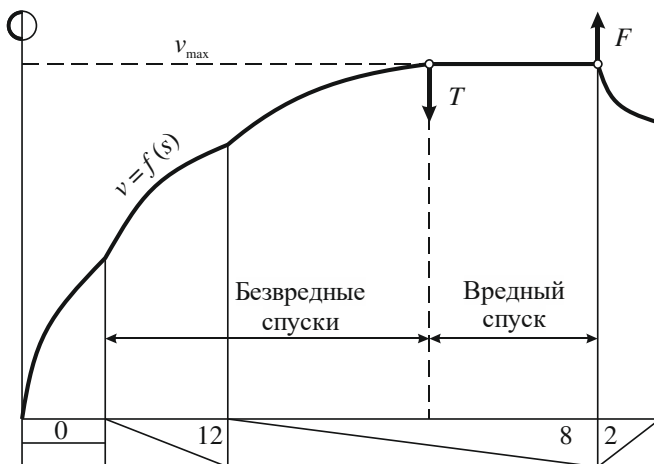


Рисунок 4.15 – Установление вредного и безвредного уклонов по кривой скорости

Как видно из рисунка 4.15, в момент, когда поезд входит на спуск, его скорость начинает возрастать, а когда скорость достигает максимально допустимого на данном спуске предела, включаются тормоза с целью предотвращения дальнейшего роста скорости. Это и есть начало вредного спуска (знак T на рисунке 4.15).

Однако в условиях реального проектирования проектировщику еще на стадии нанесения проектной линии, т. е. не производя тяговых расчетов, необходимо знать, является этот участок профиля вредным или нет. Поэтому в практике проектирования железных дорог принято считать, что спуск будет вредным, если он круче 4‰ и при этом теряемая на спуске высота более 10 м. Исходя из этого условия, различают вредные и безвредные ямы, вредные и безвредные уступы. При этом следует иметь в виду, что яма считается вредной, если хотя бы один из спусков, образующих ее, является вредным (рисунок 4.16).

Действительный уклон (i) – это любой уклон, фактически существующий на рассматриваемом элементе профиля длиной l , между двумя смежными его переломами, имеющими отметки H_1 и H_2 , $i = (H_2 - H_1) / l$.

Средний или спрямленный уклон (i_{cp}) – это усредненный уклон между двумя конечными точками определенного участка профиля, состоящего из нескольких элементов, без учета отметок промежуточных точек. Необходимость в установлении величины такого уклона чаще всего возникает при проверке возможности трогания с места поезда определенной длины, расположенного сразу на нескольких элементах продольного профиля в пределах раздельного пункта (рисунок 4.17).

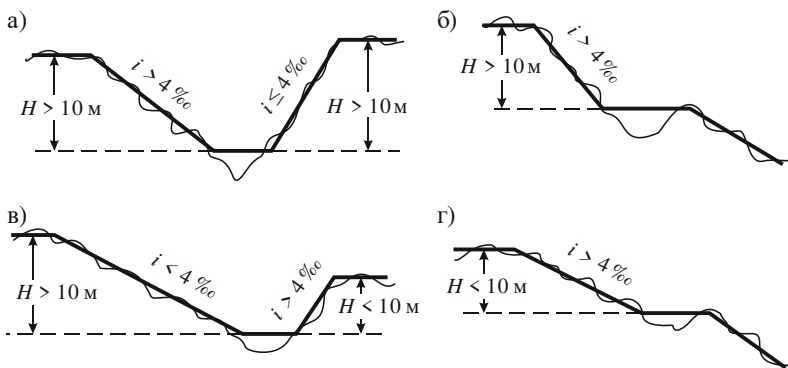


Рисунок 4.16 – Примеры вредных и безвредных уклонов:
 а – вредная яма; б – вредный уступ; в – безвредная яма; г – безвредный уступ

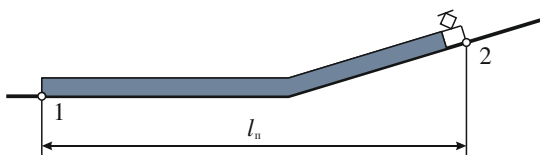


Рисунок 4.17 – Границы установления величины среднего уклона

Эквивалентный уклон ($i_{эк}$) – уклон в ‰, сопротивление которого по абсолютной величине равно дополнительному сопротивлению, возникающему при движении поезда по круговой кривой в Н/кН, $i_{эк} = w_r$.

Приведенный или фиктивный уклон (i_k) – это уклон, дополнительное сопротивление от которого равно суммарному сопротивлению от действительного уклона i и уклона $i_{эк}$, эквивалентного дополнительному сопротивлению от кривой, если эта кривая совпадает с данным элементом профиля $i_k = \pm i + i_{эк}$.

Из формулы видно, что приведенный уклон одного и того же элемента профиля неодинаков при движении на подъем и на спуск, так как при изменении направления движения поезда знак фактического уклона меняется на обратный, а эквивалентный уклон всегда положителен.

Длина элементов профиля. Условия проектирования продольного профиля в значительной мере зависят от длины его элементов. Вопрос о рациональной длине элемента профиля связан с необходимостью решения двух, до некоторой степени противоречивых, положений.

С одной стороны, со строительной точки зрения, чем короче элементы профиля, тем лучше проектная линия вписывается в очертание рельефа местности (особенно в холмистых и горных условиях) и тем меньше объемы работ по сооружению земляного полотна и возведению водопропускных сооружений (рисунок 4.18).

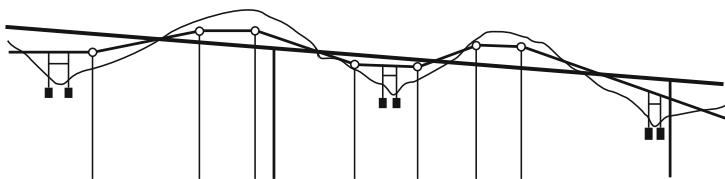


Рисунок 4.18 – Проектирование профиля при различных длинах элементов

С другой стороны, длина элементов профиля в значительной мере влияет на условия движения поезда. Очевидно, чем короче элемент, тем больше под поездом одновременно может находиться переломов профиля (рисунок 4.19). Каждый перелом под движущимся поездом вызывает необходимость изменения режима работы локомотива (включение тяги или отключение ее), а также изменение напряжений в межвагонных сцепных приборах (в силу изменения на переломе профиля величины дополнительного сопротивления от уклона), что приводит к нарушению плавности движения поезда. Поэтому для обеспечения более благоприятных условий эксплуатации короткие элементы продольного профиля нежелательны.

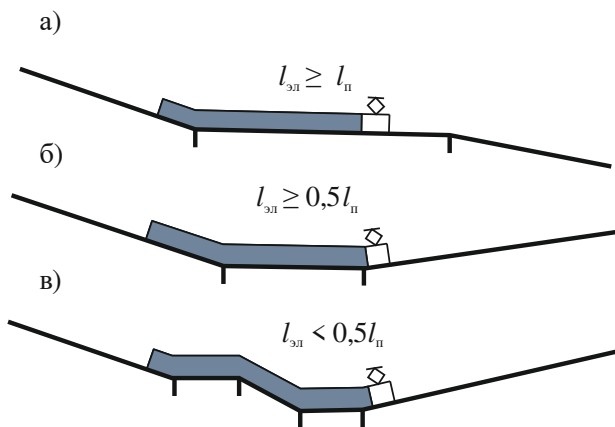


Рисунок 4.19 – Расположение поезда при различной длине элементов профиля

Чтобы не иметь под поездом более одного перелома, за нормальную длину элемента продольного профиля принимается расчетная длина поезда (полезная длина приемо-отправочных путей на отдельных пунктах). Однако при широко распространенной в настоящее время практике вождения длиннооставных и сдвоенных грузовых поездов, проектирование профиля прямолинейными элементами такой длины привело бы в ряде случаев к резкому увеличению объемов земляных работ. Поэтому современными нормами

проектирования железных дорог предусматривается возможность уменьшения длины элементов до половины полезной длины приемо-отправочных путей, принятой на перспективу. В этом случае под поездом может одновременно оказаться не более двух переломов профиля (см. рисунок 4.19).

В отдельных случаях длина элементов профиля может приниматься и меньшей, чем половина полезной длины приемо-отправочных путей. Например, при сопряжении элементов со значительной алгебраической разностью уклонов в целях обеспечения большей плавности движения (см. подразд. 4.3).

Во всех случаях наименьшая длина прямолинейного элемента продольного профиля на вновь проектируемых железных дорогах не должна быть менее 200 м. Элементы длиной в 200 м разрешается назначать во всех случаях вне зависимости от категории проектируемой дороги и полезной длины путей только при смягчении ограничивающих уклонов в кривых (рисунок 4.20) и при проектировании профиля на участках, где по условиям обеспечения продольного водоотвода в выемках длиной более 400 м требуется замена горизонтальной площадки обратными уклонами крутизной не менее 2‰ (рисунок 4.21).

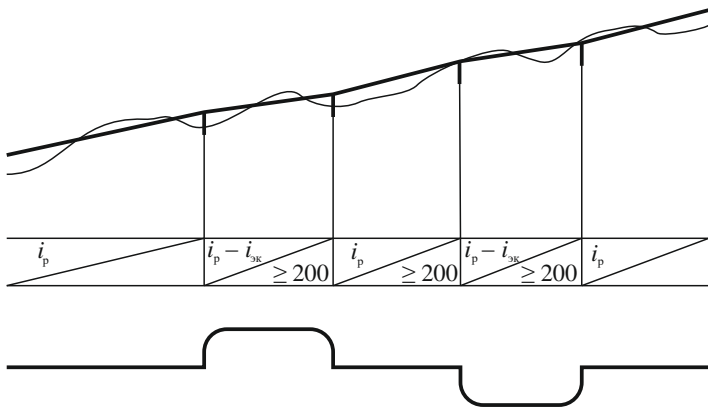


Рисунок 4.20 – Смягчение руководящего уклона в кривых

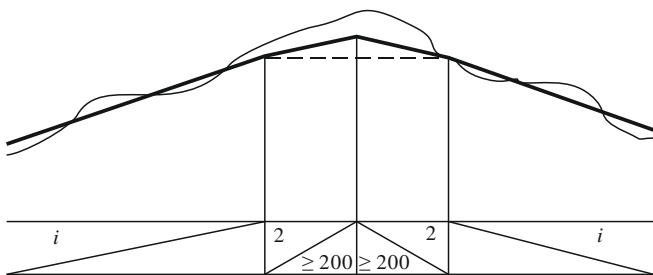


Рисунок 4.21 – Замена горизонтальной площадки в выемке

Ограничение длины элементов в 200 м обусловлено в основном тем, что дальнейшее ее уменьшение не даст ощутимой экономии в объемах работ, значительно усложняя в то же время условия содержания пути.

Сопряжение элементов профиля. Очертание проектной линии продольного профиля зависит от допускаемой алгебраической разности уклонов, длины сопрягаемых элементов и способов их сопряжения между собой.

При большой разности в крутизне смежных элементов происходит резкое изменение тяговых усилий в автоматической сцепке между соседними вагонами, первый из которых уже вступил на следующий уклон, а вагон, следующий за ним, находится еще на предыдущем уклоне. Кроме того, в этом случае будет иметь место кратковременная недогрузка передних осей вагона или локомотива и перегрузка задних, что не исключает возможности самопроизвольного расцепа приборов автосцепки. Нарушение плавности движения поезда особенно ощутимо, когда он проходит перелом с большой скоростью.

Для обеспечения плавного перехода поезда через переломы профиля со значительной алгебраической разностью уклонов производится сопряжение смежных элементов одним из следующих способов:

- а) круговой кривой в вертикальной плоскости (рисунок 4.22);
- б) профилем криволинейного очертания («цепочный профиль», рисунок 4.23).

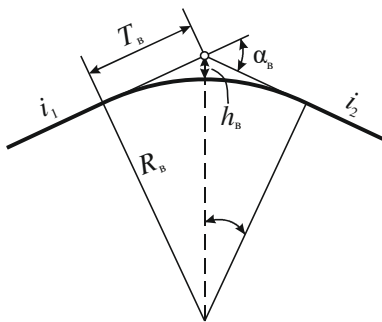


Рисунок 4.22 – Сопряжение элементов профиля круговой кривой

При первом способе смежные прямолинейные элементы профиля сопрягаются в вертикальной плоскости кривой радиусом R_b , м: 20000 – на скоростных линиях, 15000 – на линиях пассажирских и I, II категории, 10000 – на особогрузонапряженных линиях и линиях III категории, 5000 – на линиях IV категории.

Величина тангенса этой кривой T_b , м, выводится из следующих соображений: $T_b = R_b \operatorname{tg} \alpha_b / 2$. Из-за малости уклонов, а следовательно, и угла поворота α_b (даже при $i_1 - i_2 = 20 \text{‰}$ $\alpha_b = 1^\circ 09'$), можно принять $\operatorname{tg} \alpha_b / 2 = 1/2 \operatorname{tg} \alpha_b$.

Имея в виду, что $\operatorname{tg} \alpha_b \approx (i_1 - i_2) / 1000$ (при условии, когда уклон выражается числом тысячных), получим

$$T_b = \frac{R_b}{2} \cdot \frac{i_1 - i_2}{1000} = \frac{R_b}{2000} \Delta i. \quad (4.9)$$

На схематическом продольном профиле проектная линия показывается без учета сопрягающей кривой. Изменение отметок пути на переломах профиля

достигается: на выпуклых – за счет уменьшения толщины балласта, а на вогнутых – за счет увеличения его. Наибольшая величина поправки (h_b на рисунке 4.22), соответствующая точке перелома профиля, вычисляется как эвольвента $h_b = T_b^2 / 2R_b$.

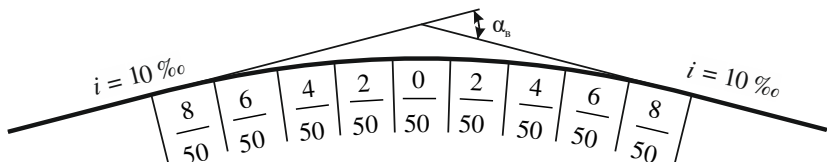


Рисунок 4.23 – Сопряжение элементов профилем криволинейного очертания на линии IV категории

При очень малых значениях алгебраической разности сопрягаемых уклонов (например, $\Delta i < 2 \text{ ‰}$) максимальная поправка не превышает 0,01 м. В этом случае устройство кривой в вертикальной плоскости не имеет смысла, так как во-первых, кривую радиусом более 20000 м очень трудно содержать, а во-вторых, требуемая плавность движения поездов обеспечивается в достаточной мере и без нее.

Но в соответствии со Сводом правил устройство сопрягающей кривой обязательно в тех случаях, когда разность уклонов более 2 ‰ на скоростных линиях, 2,3 ‰ – на линиях пассажирских и I, II категории, 2,8 ‰ – на линиях III категории, 4 ‰ – на линиях IV категории.

Преимуществом этого способа сопряжения является относительная простота в разбивке и содержании пути.

Второй способ предусматривает сопряжение смежных уклонов короткими элементами плавно изменяющейся крутизны, сопрягающимися с примыкающими к ним по краям цепочки прямолинейными элементами профиля, благодаря чему участок сопряжения приобретает криволинейное очертание (см. рисунок 4.23).

При таком сопряжении длина отрезков цепочки принимается как правило, не менее 50 м и во всех случаях не менее 25 м (длина рельса), а алгебраическая разность уклонов смежных элементов не должна превышать 1,5–2 ‰. Общая длина «цепочного» сопряжения должна быть не менее минимально возможной приведенной длины соответствующего участка профиля, запроектированного прямолинейными элементами. Постоянная для данного способа сопряжения разность уклонов должна быть обеспечена не только на всех переломах внутри цепочки, но и в начале и в конце ее.

Этот способ обеспечивает большую плавность движения поезда, чем при сопряжении вертикальными кривыми радиусами 20000–5000 м, однако из-за частого изменения уклона на небольшую величину он требует более мощного верхнего строения пути, при котором деформации такого профиля будут минимальными. Поэтому в настоящее время сфера его применения крайне ограничена.

4.3 Обеспечение условий безопасности и плавности движения поездов при проектировании плана и продольного профиля

Общие положения. Наряду с выбором наиболее рационального с экономической и технической точек зрения направления линии и ее основных технических параметров (число главных путей на перегоне, род тяги, тип локомотива, величина руководящего уклона, полезная длина приемо-отправочных путей на отдельных пунктах) проектирование плана и профиля железной дороги является одним из самых важных и ответственных процессов проектирования железной дороги в целом. Это объясняется тем, что в процессе последующей ее эксплуатации изменение положения линии как в плане, так и в профиле весьма затруднительно, а иногда и просто невозможно без нарушения движения поездов. Кроме того, от положения линии в плане и профиле зависят не только объемы работ по строительству железной дороги, но и затраты на ее эксплуатацию в течение многих десятков и даже сотен лет.

Поэтому проектировщик должен стремиться к получению профиля, возможно, более плавного очертания, уменьшая, насколько это возможно, разность крутизны сопрягаемых уклонов.

Очертание плана и продольного профиля проектируемой железнодорожной линии прежде всего должно обеспечивать безопасность и плавность движения поезда, для чего должна быть исключена возможность схода подвижного состава с рельсов и разрыва сцепных приборов в нем. Кроме того, очертание профиля не должно вызывать частого и резкого изменения в составе поезда продольных и поперечных сил, усиливающего износ пути и подвижного состава и снижающего уровень комфорта пассажира.

Обеспечение допустимой величины и скорости изменения продольных усилий в поезде. Как известно из тяговых расчетов, в движущемся поезде возникают продольные усилия: тяговые (растягивающие) и тормозные (сжимающие). При прохождении переломов профиля в поезде помимо тяговых и тормозных усилий возникают дополнительные продольные усилия, величина которых зависит от массы поезда, скорости его движения, алгебраической разности уклонов смежных элементов, образующих перелом, а также от скорости распространения усилий в поезде. Величина этих дополнительных усилий должна удовлетворять следующему условию:

$$S = \frac{v}{c} (P + Q) \Delta i, \quad (4.10)$$

где v/c – отношение скорости движения поезда к скорости распространения в нем упругой волны деформации; иными словами – коэффициент одновременности действия усилий;

$P + Q$ – масса поезда, т;

Δi – алгебраическая разность уклонов профиля на переломе, ‰.

При наличии под поездом одновременно нескольких переломов профиля, особенно разных знаков (рисунок 4.24), находящихся в непосредственной близости друг от друга, знакопеременные продольные усилия от этих переломов, распространяющихся от головной части поезда к хвостовой затухающими волнами, складываются между собой, вызывая тем самым продольные толчки и подергивания в вагонном составе.

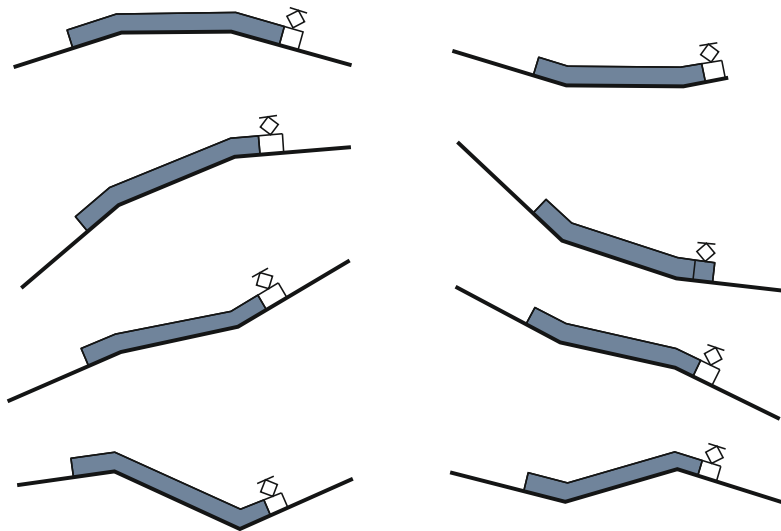


Рисунок 4.24 – Расположение поезда на нескольких переломах профиля

Многолетний опыт эксплуатации отечественных и зарубежных железных дорог показывает, что эти толчки и подергивания, суммируясь с тяговыми и тормозными усилиями (в зависимости от режима, в котором движется поезд), составляют полное усилие, которое в определенных условиях может вызвать обрыв сцепных приборов. Обрывы в первую очередь происходят из-за резких изменений режимов вождения поездов машинистами локомотивов, но при определенном сочетании элементов профиля вероятность их возникновения увеличивается.

Чтобы этого не произошло, требуется регламентировать минимальное расстояние между переломами профиля, которое должно быть тем больше, чем выше скорость движения поезда. Это требование учитывается при установлении норм проектирования продольного профиля. При разработке этих норм выделены две наиболее характерные группы профиля.

П е р в а я г р у п п а – участки профиля, на которых поезда движутся с достаточно высокими скоростями, но в режиме холостого хода или в режиме тяги при малых усилиях в растянутых сцепных приборах (безвредные ямы и

уступы и горбы с незатяжными подъемами к ним); либо участки, на которых реализуются большие тяговые усилия при малых скоростях движения (горбы, ограниченные затяжными подъемами (рисунок 4.25). Обрывы на таких участках невозможны не только практически, но даже и теоретически, так как состояние сцепных приборов между вагонами длительное время сохраняется установившимся (сцепные приборы либо растянуты при движении в режиме тяги, либо сжаты при движении в режиме торможения), и поэтому возникающие в них напряжения значительно ниже допускаемых*.

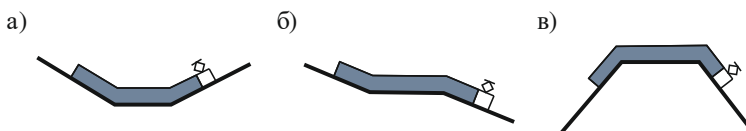


Рисунок 4.25 – Участки профиля, благоприятные по условиям плавности движения поезда:

a – безвредная яма; *б* – безвредный уступ; *в* – горб, ограниченный затяжными подъемами

В т о р а я г р у п п а – участки профиля, на которых поезда движутся с высокими скоростями в режиме торможения и большими усилиями в сжатых сцепных приборах (вредные ямы, вредные уступы, возвышения профиля, расположенные на расстоянии менее удвоенной расчетной длины поезда от подошвы вредного спуска (рисунок 4.26). Обрывы на таких участках становятся возможными, так как на них в короткие промежутки времени происходит резкий переход сцепных приборов из одного состояния в другое (из сжатого в растянутое и наоборот). Такие участки профиля следует проектировать элементами как можно большей длины при наименьших значениях алгебраической разности уклонов сопрягаемых элементов (рекомендуемые нормы).

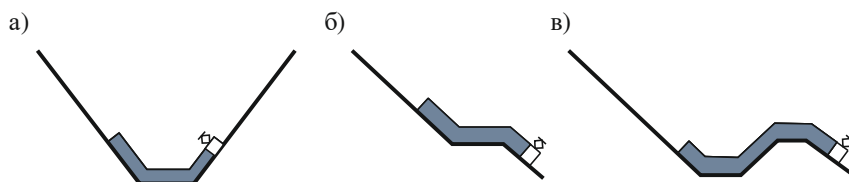


Рисунок 4.26 – Участки профиля, неблагоприятные по условиям плавности движения поезда:

a – вредная яма; *б* – вредный уступ; *в* – горб у подножия вредного уступа

* Современный подвижной состав, оборудованный автоматической сцепкой, при нормальном режиме движения способен выдерживать продольные усилия, равные 1000 кН.

С учетом этих особенностей Свод правил устанавливает дифференцированные нормы в части алгебраической разности уклонов смежных элементов профиля и длин разделительных площадок и элементов переходной крутизны (таблица 4.4) и регламентирует сферы применения этих норм.

Т а б л и ц а 4.4 – Нормы сопряжения элементов продольного профиля

Категория железнодорожной линии, подъездного пути	Наибольшая алгебраическая разность уклонов смежных элементов профиля Δi_n , ‰, (числитель) и наименьшая длина разделительных площадок и элементов переходной крутизны l_n , м (знаменатель), при полезной длине прямо-отправочных путей, м			
	850	1050	2·850 = 1700	2·1050 = 2100
<i>Рекомендуемые нормы</i>				
Скоростные	6/250	4/300	–	–
Пассажирские	6/200	4/250	–	–
Особогрузонапряженные	–	3/250	3/250	3/400
I	6/200	4/250	3/250	3/300
II	8/200	5/250	4/250	3/300
III	13/200	7/200	7/250	4/253
IV	13/200	3/200	3/250	–
<i>Допускаемые нормы</i>				
Скоростные	10/250	9/300	–	–
Пассажирские	13/200	10/200	–	–
Особогрузонапряженные	–	10/200	5/250	4/300
I	13/200	10/200	5/250	4/300
II	13/200	10/200	6/250	4/250
III	13/200	10/200	8/250	6/250
IV	20/200	10/200	10/200	–

Разделительной площадкой принято называть элемент профиля, имеющий уклон, равный нулю и расположенный на горбе или в яме при переходе от уклона одного направления к уклону противоположного (рисунок 4.26). Такие площадки, запроектированные между уклонами разных знаков, уменьшают в среднем вдвое алгебраическую разность между этими уклонами, снижая тем самым и все вредные последствия, вызываемые этой разностью.

Элементом переходной крутизны называется элемент профиля с уклоном, не равным нулю, расположенный между уклонами одного или разных знаков, либо между горизонтальной площадкой и элементом с каким-то уклоном i (рисунок 4.27). Такие элементы должны проектироваться в тех случаях, когда алгебраическая разность смежных уклонов превышает установленную нормами проектирования величину.

На рисунке 4.27 для иллюстрации принятых в Своде правил норм приведены примеры сопряжения элементов продольного профиля (проектируемая линия II категории, руководящий уклон 14 ‰, полезная длина прямо-отправочных путей 850 м).

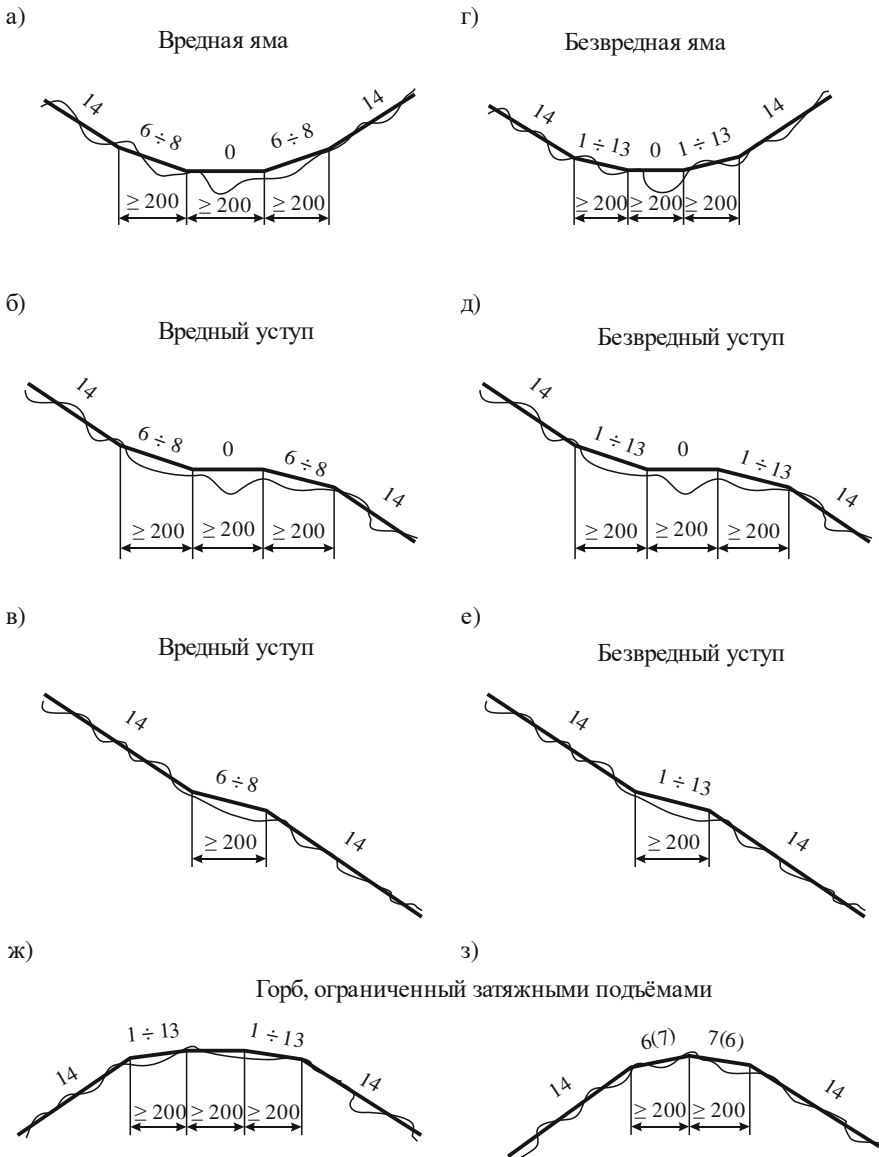


Рисунок 4.27 – Примеры сопряжения смежных элементов профиля

В данном случае рекомендуемые нормы алгебраической разности уклонов и длин разделительных площадок и элементов переходной крутизны составляют соответственно 8 ‰ и 200 м, а допускаемые – 13 ‰ и 200 м. При этих нормах возможны следующие варианты сопряжения смежных элементов профиля:

1) при проектировании профиля в яме, ограниченной спусками, хотя бы один из которых требует торможения, применены рекомендуемые нормы (см. рисунок 4.27, *а*). Это потребовало при переходе от спуска $i = -14 ‰$ к подъему $i = 14 ‰$ устройства трех промежуточных элементов (разделительной площадки и двух элементов переходной крутизны), на которых могут использоваться уклоны в пределах от 6 до 8 ‰;

2) при проектировании вредного уступа на тормозном спуске (см. рисунок 4.27, *б* и *в*) также применены рекомендуемые нормы ($\Delta i = 6 \dots 8 ‰$);

3) при сопряжении уклонов в безвредной яме и на безвредном уступе (см. рисунок 4.27, *г*, *д*, и *е*) применены допускаемые нормы ($\Delta i = 1 \dots 13 ‰$);

4) при проектировании горба, ограниченного затяжными подъемами (см. рисунок 4.27, *ж* и *з*), тоже применены допускаемые нормы. При этом принимаемое решение в зависимости от профиля земли может быть двояким: либо устройство разделительной площадки и двух элементов переходной крутизны с уклонами от 1 до 13 ‰, либо сопряжение двумя элементами с уклонами, например, 6 ‰ на одном и 7 ‰ на другом (или наоборот).

Соблюдение приведенных выше правил проектирования профиля предотвратит обрывы сцепных приборов и создаст наиболее благоприятные условия для безопасного и плавного движения поездов, обеспечения сохранности грузов и повышения комфорта поездки пассажиров.

Длину разделительных площадок и элементов переходной крутизны можно пропорционально уменьшать по сравнению с нормативной (l_n), если алгебраическая разность уклонов по концам данного элемента (Δi_1 и Δi_2) меньше нормируемой (Δi_n). В этом случае длину уменьшаемого элемента ($l_{ум}$) можно вычислить по формуле

$$l_{ум} = \frac{l_n (\Delta i_1 + \Delta i_2)}{2\Delta i_n}. \quad (4.11)$$

В любом случае минимальная длина элемента профиля, полученная в результате такого расчета, должна быть не менее 25 м, т. е. длины одного рельса.

Предохранение проектируемой линии от размыва и затопления. Для предотвращения затопления и размыва железной дороги на подтопляемых ее участках, т. е. в тех местах, где трасса пересекает водоток или проходит вдоль него (морские побережья, заливы, проливы, каналы, водохранилища, большие реки, озера), продольный профиль должен быть запроектирован таким образом, чтобы отметка бровки земляного полотна насыпи возвышалась не менее 0,5 м над наивысшим уровнем (УВВ) воды с учётом подпора, ветрового

нагона, высоты волны, набегающей на откос насыпи, и приливных явлений (рисунок 4.28).

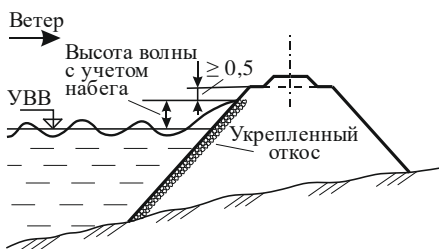


Рисунок 4.28 – Минимальное возвышение бровки полотна в пределах водотока

В соответствии со Сводом правил наивысший расчётный уровень следует определять исходя из вероятности превышения 1:300 (0,33 %) на железнодорожных линиях скоростных, пассажирских, особогрузонапряженных, I, II и III категорий и 1:100 (1 %) – на линиях IV категории общей сети, а высоту наката волны и ветрового нагона для этих наивысших уровней – по СНиП 2.06.04-82.

Такие жёсткие требования обусловлены тем обстоятельством, что, в случае возможного перелива воды через насыпь, земляное полотно может быть размыто, в результате чего создастся угроза безопасности движения поездов.

Обеспечение продольного водоотвода в выемках. Отвод поверхностных вод в выемках обеспечивается системой нагорных или забанкетных канав, а также кюветами. Обычно дно кюветов повторяет профиль выемки по бровке земляного полотна, так как глубина кювета, как правило, одинакова на всем протяжении выемки и составляет 0,60 м.

Для обеспечения беспрепятственного стока воды по кюветам необходимо, чтобы продольный профиль выемки и дно ее кюветов были запроектированы уклонами не менее 2 ‰. Учитывая это обстоятельство, следует в случае острой необходимости устройства в выемке, расположенной на возвышении профиля (горбе), горизонтальной площадки, проектировать эту площадку длиной не более 400 м (рисунок 4.29, а).

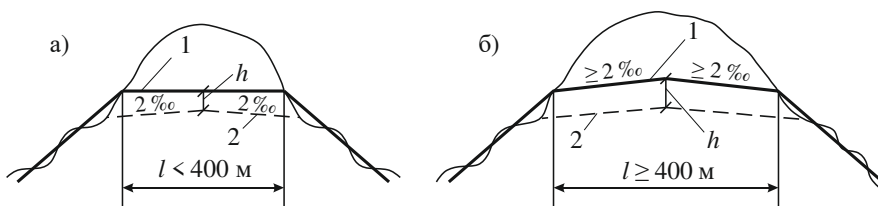


Рисунок 4.29 – Проектирование продольного профиля в выемке:
 а – длина выемки менее 400 м; б – длина выемки 400 м и более;
 1 – проектная линия; 2 – профиль дна кювета; h – глубина кювета

При длине выемки более 400 м нулевую площадку согласно нормативным требованиям [29] следует заменить двумя уклонами крутизной в обыкновен-

ных грунтах не менее 2 ‰ либо одного направления, либо выпуклого очертания с глубиной кюветов в водораздельной точке 0,20 м и спусками в обе стороны к концам выемки (рисунок 4.29, б).

Невыполнение этого требования приведет к существенному увеличению объемов земляных работ, связанных с потребностью более широкого раскрытия сомой выемки и с неизбежным углублением дна кюветов по ее концам (рисунок 4.30).

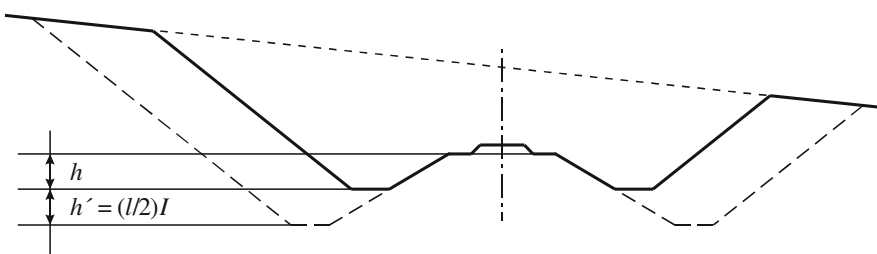


Рисунок 4.30 – Поперечный профиль в начале (конце) выемки, расположенной на площадке:

h – глубина кювета нормативная; h' – потребное углубление дна кювета

Взаимное расположение переломов продольного профиля и кривых в плане. Железнодорожный путь в процессе длительной эксплуатации неизбежно отклоняется от своего проектного положения, вызывая тем самым нежелательные изменения в продольном профиле и плане линии. Причем эти изменения в кривых возникают гораздо чаще, чем на прямых участках.

Для обеспечения плавности движения поезда в плане круговые кривые сопрягаются с прямолинейными участками с помощью переходных кривых, в пределах которых осуществляется постепенный отвод возвышения наружного рельса. Для выполнения этого условия в профиле смежные его элементы сопрягаются между собой посредством вертикальной кривой определенного радиуса (см. подразд. 4.2).

Если железную дорогу запроектировать так, что переходная кривая в плане будет совпадать с сопрягающей кривой в вертикальной плоскости, то положение наружного рельса по высоте должно будет одновременно подчиняться обоим указанным условиям. В этом случае наружный рельс пришлось бы разводить по довольно сложному профилю, что значительно затруднило бы содержание и ремонт пути.

Чтобы этого избежать, вертикальные кривые следует размещать вне переходных кривых [29]. С учетом этого требования расстояние от начала или конца круговой кривой до точки перелома при проектировании схематического продольного профиля должно быть не менее $L = T_B + l_{пк} / 2$. Здесь T_B – тангенс кривой в вертикальной плоскости, м; $l_{пк}$ – длина переходной кривой, м (рисунок 4.31).

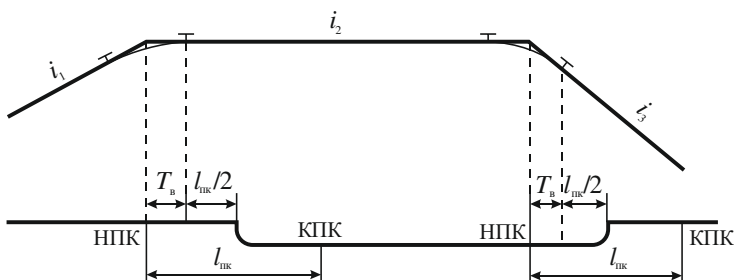


Рисунок 4.31 – Взаимное положение элементов профиля и плана (продольный профиль и план линии при несдвинутых круговых кривых)

Это требование необходимо учитывать только при тех значениях алгебраической разности уклонов смежных элементов профиля (Δi), при которых требуется устраивать сопрягающую кривую в вертикальной плоскости, т.е. при алгебраической разности уклонов смежных элементов менее 2,0 ‰ при $R_в = 20$ км; 2,3 ‰ – при $R_в = 15$ км; 2,8 ‰ – при $R_в = 10$ км; 4,0 ‰ – при $R_в = 5$ км и 5,2 ‰ – при $R_в = 3$ км вертикальные кривые допускается не предусматривать.

При значениях Δi , меньше указанных, переломы продольного профиля могут располагаться на границах круговых кривых, т.е. вне зависимости от плана линии. Это имеет место, в частности, при смягчении руководящего уклона в кривых, так как наибольшая алгебраическая разность сопрягаемых уклонов в этих случаях, как правило, не превышает 2 ‰.

При проектировании внутристанционных соединительных и подъездных путей IV категории в трудных условиях допускается располагать переломы профиля вне зависимости от размещения переходных кривых [29].

Перелом продольного профиля в пределах несдвинутых круговых кривых допускается устраивать беспрепятственно, поскольку возвышение наружного рельса в пределах круговых кривых постоянно.

Проектирование продольного профиля и плана в пределах искусственных сооружений. В пределах искусственных сооружений продольный профиль и план железной дороги должен быть запроектирован так, чтобы обеспечить безопасное и бесперебойное движение поездов, беспрепятственный пропуск вод при наивысшем их уровне, создать благоприятные условия эксплуатации самих искусственных сооружений.

Названным требованиям в наибольшей степени отвечает расположение этих сооружений на горизонтальных площадках в продольном профиле и на прямых в плане. Вместе с тем нормативными документами предусматривается возможность проектирования мостов с проезжей частью на балласте, а также труб всех типов на любых сочетаниях профиля и плана, принятых для

линии данной категории. Это обусловлено возможностью устройства в пределах таких искусственных сооружений уширения балластной призмы, возвышения наружного рельса и сопрягающих кривых в вертикальной плоскости за счет изменения высоты балластной призмы.

Если же путь предусматривается укладывать не на балласте (например, на мосту с металлическим пролетным строением), то в пределах моста устроить вертикальную сопрягающую кривую будет крайне затруднительно по конструктивным соображениям. Поэтому мосты с безбалластной проезжей частью (в том числе с ездой по железобетонным плитам) следует располагать на прямых в плане и, как правило, на нулевых площадках или на уклонах, не круче 4 ‰ в профиле. Расположение таких мостов на уклонах круче 4 ‰, но не более 10 ‰, допускается только при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Пролетные строения мостов с проезжей частью не на балласте требуется располагать только на одном элементе профиля. В связи с этим переломы продольного профиля должны размещаться вне пролетных строений таких мостов. При этом наименьшее расстояние от переломов профиля до концов пролетных строений должно быть не менее тангенса вертикальной кривой (рисунок 4.32), величина которого зависит от радиуса кривой и алгебраической разности сопрягаемых уклонов (см. подразд. 4.2).

Продольный профиль пути в тоннеле следует проектировать односкатным или двускатным с подъемом к середине тоннеля. По условиям водоотвода расположение тоннелей на горизонтальной площадке не допускается. Поэтому на всем протяжении тоннеля крутизна продольного уклона должна быть, как правило, не менее 3 ‰, а в исключительных случаях – не менее 2 ‰. Горизонтальные участки длиной от 200 до 400 м допускается предусматривать в двускатных тоннелях лишь в качестве разделительных элементов между двумя обратными уклонами (рисунок 4.33).

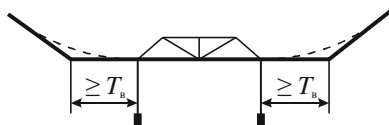


Рисунок 4.32 – Расположение перелома продольного профиля относительно пролётного строения металлического моста

Что касается плана железнодорожных путей в тоннелях, то предпочтение следует отдавать расположению их на прямых участках, поскольку кривые значительно затрудняют проходку тоннеля, усложняют его конструкцию и ухудшают условия видимости и вентиляции в тоннеле. Однако Сводом правил допускается в случае необходимости расположение тоннелей в кривых. В этом случае к криволинейным участкам в тоннеле предъявляются такие же требования, как и к открытым участкам трассы.

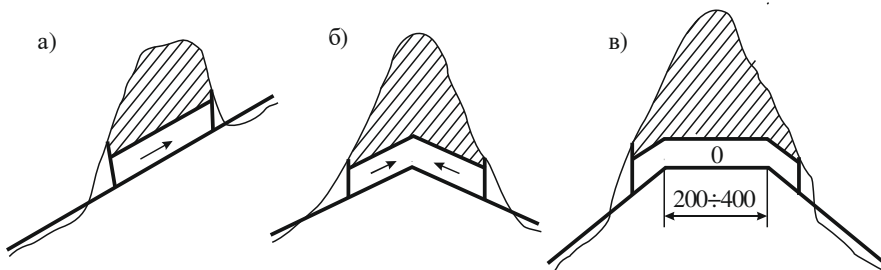


Рисунок 4.33 – Примеры проектирования продольного профиля в тоннеле:
а – односкатного; *б* – двускатного; *в* – двускатного с разделительной площадкой

Проектирование пересечений железных дорог с другими путями сообщения. В соответствии со Сводом правил пересечение вновь проектируемых железных дорог и подъездных путей с существующими железнодорожными линиями и подъездными путями, скоростными городскими дорогами, магистральными улицами общегородского значения, автомобильными дорогами I–II категорий, а также с трамвайными и троллейбусными линиями требуется устраивать в разных уровнях. Кроме того, пересечения в разных уровнях следует также предусматривать в случаях, когда:

- существующая автомобильная дорога пересекает три и более главных железнодорожных путей;
- в месте пересечения предусматривается интенсивность движения более 100 поездов в сутки или скорость движения пассажирских поездов более 120 км/ч;
- проектируемая железная дорога прокладывается в выемке и на пересечении в одном уровне (переезде) не могут быть обеспечены нормы видимости, требуемые СНиП 2.02.85 «Автомобильные дороги».

Такие пересечения обычно устраиваются в виде путепроводов. При выборе конструкции путепровода крайне важно по условиям габарита обеспечить минимальную разность отметок проектной линии существующей и вновь проектируемой дорог. Эта разность зависит от категорий пересекающихся дорог и от того, планируется прокладывать новую дорогу над или под существующей. Например, чем выше категория существующей дороги, тем более оснований располагать проектируемую дорогу над существующей, чтобы не закрывать движение поездов по ней на период строительства путепровода и чтобы дешевле обошлось строительство путепровода под новую линию более низкой категории.

На принятие окончательного решения оказывают влияние расположение существующей и проектируемой дорог на высокой насыпи или в глубокой

выемке, стоимость устройства подходов к путепроводу, а также другие факторы, которые должны обязательно учитываться при сравнении вариантов пересечения.

Если проектируемая железная дорога будет прокладываться под существующей железнодорожной линией (рисунок 4.34, а), то максимальная отметка бровки земляного полотна нижней линии

$$H_{\max} = H_{\text{гр}} - h_{\text{ср}} - c - h_{\text{г}} - h_{\text{пр}} - d, \quad (4.12)$$

где $H_{\text{гр}}$ – отметка головки рельса существующего пути, м;

$h_{\text{ср}}, h_{\text{пр}}$ – высота рельса соответственно существующего и проектируемого путей, м;

c – строительная высота пролетного строения путепровода, измеряемая от низа его конструкции до подошвы рельса, м;

$h_{\text{г}}$ – габаритное возвышение низа пролетного строения проектируемого путепровода над головкой рельса существующего пути, зависящее от характера пересекающихся дорог и типа пролетного строения, м;

d – расстояние от бровки земляного полотна до подошвы рельса проектируемого пути (толщина балластного слоя на проектируемой линии, м).

Если проектируемая железная дорога будет проходить над существующей линией (рисунок 4.34, б) то минимальная проектная отметка

$$H_{\min} = H_{\text{гр}} + h_2 + c - d. \quad (4.13)$$

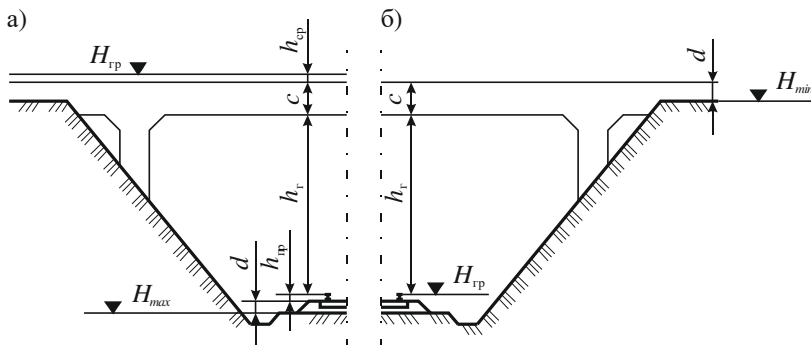


Рисунок 4.34 – Схема путепроводного пересечения существующей и проектируемой железных дорог:

а – проектируемая линия под существующей; б – проектируемая линия над существующей

Если пересечение осуществляется с существующей автомобильной дорогой, то начальной точкой для установления контрольных отметок проектируемой железной дороги является отметка проезжей части пересекаемой автомобильной дороги.

В плане пересечение желательно проектировать под прямым углом, что упрощает конструкцию путепровода, сокращает его длину, а следовательно,

и стоимость строительства. Если по объективным причинам такое решение осуществить затруднительно, то разрешается устраивать пересечение под стандартным углом 60 или 45°. Это позволит использовать типовые проекты путепроводов.

4.4 Обеспечение бесперебойности движения поездов

Смягчение ограничивающих уклонов в кривых. Для обеспечения выполнения условий бесперебойности движения поездов продольный профиль и план проектируемой железной дороги на всем ее протяжении должны быть запроектированы таким образом, чтобы фактическое сопротивление движению поезда не превышало тех значений, которые заложены в расчет массы состава.

Из ПТР известно, что масса состава грузового поезда (Q , т) рассчитывается из условия равномерного движения с расчетной для данного локомотива скоростью по руководящему подъему, расположенному в плане на прямой:

$$Q = \frac{F_k - P(w'_0 + i_p)}{w''_0 + i_p}. \quad (4.14)$$

В этой формуле учтены величины основных удельных сопротивлений движению локомотива (w'_0), вагонного состава (w''_0), а также дополнительного от уклона (i_p). А поезд, следуя по ограничивающему (руководящему) подъему, совпадающему в плане с кривой, испытывает кроме названных сопротивлений еще и дополнительное сопротивление от кривой, которое зачастую бывает довольно значительным, но в расчетной формуле не учтено. Если в кривых не уменьшать ограничивающий уклон, то увеличение фактического сопротивления может вызвать падение скорости движения ниже расчетной, что приведет к увеличению времени хода, а следовательно, к снижению пропускной способности линии, что недопустимо.

Чтобы этого не произошло, крутизну ограничивающих уклонов (руководящего, уравновешенного и усиленной тяги) в пределах кривых в плане следует смягчать (уменьшать) на величину, эквивалентную дополнительному сопротивлению от кривой, т. е. на $i_{\text{эк}} = w_r$ (рисунок 4.35).

Эквивалентный уклон вычисляется в зависимости от соотношения длины кривой по формулам:

- а) $i_{\text{эк}} = 700/R$ – при длине поезда менее или равной длине кривой;
- б) $i_{\text{эк}} = 12,2\alpha^\circ/l_{\text{п}}$ – при длине поезда более длины кривой;
- в) $i_{\text{эк}} = 12,2\sum\alpha^\circ/l_{\text{п}}$ – при расположении на рассматриваемом элементе профиля под поездом одновременно нескольких кривых.

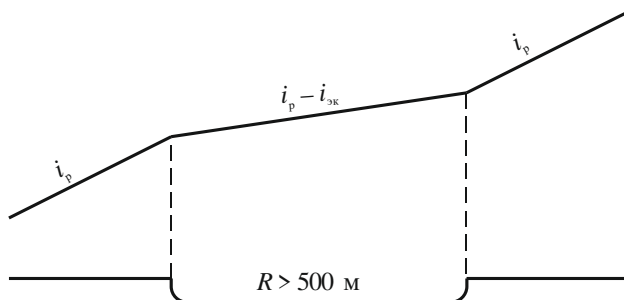


Рисунок 4.35 – Смягчение руководящего уклона в кривой

При совпадении кривых с уклонами, меньше руководящего, но близкими к нему по величине, необходимо следить за тем, чтобы действительный уклон и на этих элементах тоже не превышал значения $i = i_p - i_{эк}$. Это требование в равной мере касается и других ограничивающих уклонов на тех участках продольного профиля, где они используются*.

В кривых малых радиусов ($R \leq 500$ м), расположенных на участках затяжных ограничивающих подъемов, помимо действия рассмотренного выше сопротивления, наблюдается существенное снижение коэффициента сцепления ведущих колес локомотива с рельсами, что приводит к уменьшению силы тяги, ограниченной по сцеплению, по сравнению с расчетной. Чтобы компенсировать снижение силы тяги, необходимо на затяжных подъемах, совпадающих в плане с такими кривыми, смягчать руководящий уклон (равно, как и уклон усиленной тяги и уравновешенный) дополнительно (помимо величины $i_{эк}$) на величину i_{ψ} (рисунок 4.36), которую можно рассчитать по формуле

$$i_{\psi} = (w_0 + i_p) \left(1 - \frac{250 + 1,55R}{500 + 1,10R} \right). \quad (4.15)$$

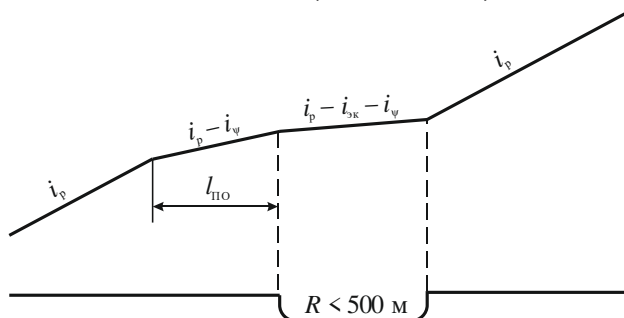


Рисунок 4.36 – Смягчение уклона на участке расположения кривой малого радиуса

* Условные обозначения к этим формулам приведены ранее в подразд. 4.2.

В итоге смягчения действительный уклон проектирования в пределах кривых малых радиусов определяется как $i = i_p - i_{\text{эк}} - i_{\psi}$. При этом смягчение на величину i_{ψ} следует предусматривать не только в самой кривой $R \leq 500$ м, но и перед ней с низовой стороны на расстоянии, равном длине приемо-отправочных путей (см. рисунок 4.36). Необходимость выполнения этого требования объясняется тем обстоятельством, что коэффициент сцепления начинает уменьшаться сразу же, как только в кривую вступит локомотив, а весь вагонный состав еще находится перед кривой.

В соответствии с нормами проектирования целесообразность принятия решения о необходимости смягчения ограничивающих уклонов из-за снижения коэффициента сцепления должна быть обязательно обоснована в проекте.

Смягчение ограничивающих уклонов в тоннеле. Необходимость уположения ограничивающего уклона в тоннеле объясняется тем, что в тоннелях, особенно большого протяжения, движущийся поезд работает как поршень в цилиндре, выдавливая воздух перед собой. В результате этого перед поездом создаётся избыточное давление, а позади него – разрежение. Перепад давления вызывает протекание воздуха во встречном движении поезда направления, что увеличивает сопротивление воздушной среды. Кроме этого, в тоннеле из-за высокой влажности, пониженного содержания кислорода и недостаточной вентиляции также имеет место уменьшение коэффициента сцепления колёс локомотива с рельсами. Сила тяги локомотива в результате уменьшается.

Чтобы компенсировать уменьшение силы тяги из-за увеличения дополнительного сопротивления и снижения коэффициента сцепления, в тоннелях длиной 300 м и более необходимо производить смягчение ограничивающих уклонов. Величина, на которую должен быть уменьшен ограничивающий уклон, определяется расчётом в зависимости от длины тоннеля и рода тяги.

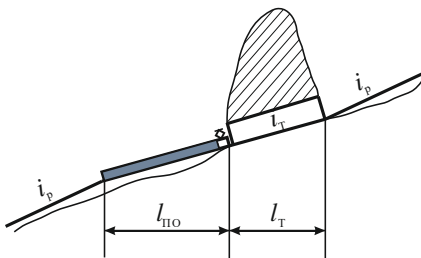


Рисунок 4.37 – Смягчение руководящего уклона в тоннеле и на подходах к нему

достаточно одному только локомотиву войти в тоннель, как будет иметь место и увеличение дополнительного сопротивления воздушной среды, и падение

В соответствии с требованиями нормативных документов, смягчать ограничивающие уклоны следует не только в самих тоннелях, но и на подходах к ним со стороны подъёма на протяжении, равном расчётной для данной линии длине приемо-отправочных путей (длине поезда), как показано на рисунке 4.37.

Последнее требование обуславливается тем обстоятельством, что достаточно одному только локомотиву войти в тоннель, как будет иметь место и увеличение дополнительного сопротивления воздушной среды, и падение

коэффициента сцепления, и уменьшение силы тяги. Выполнение этого требования обеспечит повышение скорости движения поезда перед входом его в тоннель, что немаловажно для бесперебойности движения поездов.

В тоннелях длиной менее 300 м уклон, принятый для открытых участков трассы, обычно не смягчают, так как влияние указанных факторов на условия движения поезда в таких коротких тоннелях незначительно.

4.5 Предохранение земляного полотна от снежных заносов

В зимних условиях снежные заносы намного осложняют условия движения поездов и содержания железнодорожного пути. Учитывая это обстоятельство, необходимо ещё на стадии проектирования продольного профиля железнодорожной линии предусмотреть все возможные мероприятия, позволяющие предотвращать заносы её снегом в течение всего периода эксплуатации.

Как показывает многолетний отечественный и зарубежный опыт эксплуатации железных дорог, наиболее заносимыми снегом местами являются выемки. Причем мелкие выемки заносятся быстрее и чаще, а глубокие – медленнее и реже. Заноситься снегом могут и нулевые места и даже насыпи при высоте их меньше максимальной толщины снежного покрова, если при проектировании линии не учтены следующие основные требования.

1 При выборе вариантов прокладки трассы в малопересеченной местности, подверженной снежным заносам, необходимо учитывать направление господствующих зимних ветров и, по возможности, максимально использовать естественные природные препятствия и лесонасаждения (рисунок 4.38).

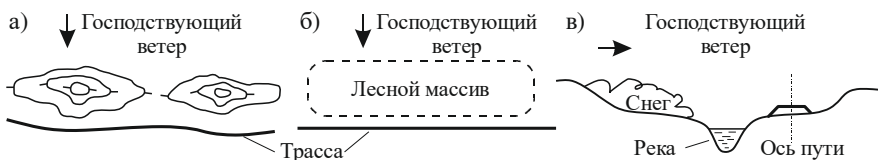


Рисунок 4.38 – Примеры укладки трассы железной дороги на снегозаносимых участках местности:

а – за возвышенностью; б – за лесным массивом; в – на речной пойме

2 При проектировании железной дороги в открытой равнинной и слабопересеченной незалесенной местности следует, по возможности, избегать выемок вообще, а длинных, расположенных на крутых поворотах трассы (и поэтому плохо продуваемых), – в особенности. На таких участках целесообразнее проектировать профиль насыпями. В соответствии с требованиями Свода правил бровка земляного полотна таких насыпей на однопутных линиях должна

возвышаться над уровнем расчётной высоты снежного покрова не менее чем на 0,70 м (рисунок 4.39).

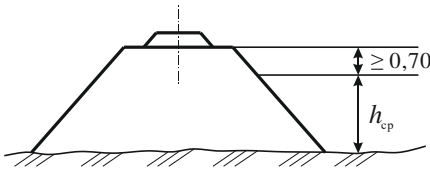


Рисунок 4.39 – Минимальное возвышение бровки полотна над расчетной толщиной снежного покрова

На основе данных, полученных в результате многолетних наблюдений метеорологических станций, за расчётную принимается толщина снежного покрова, имеющая вероятность превышения 1:50 (2 %) для линий скоростных, пассажирских, особо грузонапряженных, I и II категорий; 1:33 (3 %) – для линий III категории; 1:20 (5 %) – для линий IV категории.

Для участков трассы, не удовлетворяющих этим требованиям, в проекте должно быть предусмотрено создание защитных лесонасаждений или постоянных снегозадерживающих устройств.

5

ТРАССИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

5.1 Понятие о трассе. Факторы, влияющие на выбор направления линии. Этапы трассирования железной дороги

Трасса – это линия, проложенная на карте или закреплённая на местности, которая определяет положение оси железной дороги как в плане, так и в профиле.

Трасса является важнейшим элементом проекта железной дороги, так как положение трассы и её очертание определяют строительную стоимость дороги и условия её будущей эксплуатации. На трассе размещаются дорогостоящие и, как правило, не подлежащие перемещению капитальные сооружения: земляное полотно, опоры больших мостов, тоннели, отдельные пункты и др.

Поэтому отыскание наиболее целесообразного положения трассы на местности представляет собой очень ответственную и сложную комплексную проектно-изыскательскую задачу, решение которой требует совместного учёта транспортно-экономических и природных условий района проектирования железной дороги, а также строительных и эксплуатационных факторов, определяющих мощность и категорию проектируемой линии. Правильное решение этой задачи невозможно без всестороннего обследования и сопоставления всех конкурентоспособных вариантов.

На выбор положения проектируемой железной дороги оказывают влияние многочисленные и разнообразные факторы, наиболее значимые из которых кратко описываются ниже:

- 1) значение дороги;
- 2) характер и размеры ожидаемых перевозок и планируемые темпы их роста;
- 3) условия примыкания к существующей транспортной сети региона;
- 4) топографические, геологические, гидрологические и другие природные условия района проектирования;
- 5) величина руководящего уклона;
- 6) род тяги и тип локомотива.

Назначение железной дороги в обеспечении потребностей народного хозяйства и населения района проектирования в перевозках. Если проектируемая железная дорога призвана обеспечивать межрайонные связи, то целесообразно трассу прокладывать по кратчайшему направлению. Если же проектируемая дорога призвана улучшить условия развития экономики

конкретного местного района, то предпочтение следует отдавать такому решению, при котором дорога пройдёт через основные экономические центры этого района и максимально обеспечит его транспортное обслуживание.

Объёмы и характер предстоящих перевозок по направлениям. Чем больше размеры ожидаемых грузовых и пассажирских перевозок, тем целесообразнее такое направление дороги, которое позволило бы запроектировать её более пологим руководящим уклоном, с меньшей суммой преодолеваемых высот, с кривыми большего радиуса в плане. Если при этом в общем потоке преобладают транзитные перевозки, то предпочтительнее то направление дороги, при котором длина линии получается меньшей. Если имеет место ярко выраженная по размерам и устойчивая во времени неравномерность перевозок по направлениям, то в этом случае целесообразен такой вариант направления дороги, при котором в грузовом направлении можно было бы применить менее крутой расчётный подъём.

Природные условия оказывают значительное влияние на количество и режим поверхностных вод, интенсивность осадков, условия пересечения водотоков, условия производства строительных работ, особенности работы железной дороги в зимних условиях. Чем сложнее рельеф местности, тем в большей степени от него зависит длина линии, стоимость её постройки и будущие расходы по эксплуатации. Кроме того, чем сложнее топографические условия, тем, при прочих равных условиях, целесообразнее назначать такие варианты направления, по которым трассу можно уложить более пологим руководящим уклоном. Так, например, геологические характеристики местности обуславливают устойчивость оснований всех сооружений на дороге. Наличие же в районе прокладки трассы неустойчивых косогоров, оползневых участков, заболоченных мест может потребовать либо укладки трассы с применением особых мер по обеспечению устойчивости земляного полотна на таких участках, либо обхода таких мест.

Гидрологические условия влияют на мощность водоносных слоёв, число и конструкцию водопропускных сооружений.

Направление господствующих ветров определяет снегозаносимость будущей железной дороги, а в песчаных районах и заносимость её песком.

Условия примыкания. В ряде случаев в задании на разработку проекта новой линии указывается не конкретная станция примыкания, а только направление существующей железной дороги, к которому следует примкнуть новый участок. В таких случаях число возможных вариантов увеличивается из-за необходимости рассмотрения вариантов примыкания к различным отдельным пунктам и оценки влияния друг на друга существующей транспортной сети и проектируемой железной дороги.

Руководящий уклон. В тех случаях, когда руководящий уклон не указан в проектном задании, а его требуется выбрать, по каждому из намеченных

направлений, как правило, трассируется не менее трёх вариантов с различными значениями руководящего уклона. При этом одно из этих значений должно обязательно соответствовать расчётному уклону на линии примыкания к существующей железнодорожной сети.

Род тяги. Электрическая тяга менее чувствительна к более крутым руководящим уклонам, чем тепловозная, т. е. с увеличением крутизны уклона эксплуатационные расходы при электротяге возрастают менее интенсивно и меньше по своей абсолютной величине. Следовательно, на электрифицированных участках возможно использование таких направлений железной дороги, которые позволят применить более крутые руководящие уклоны. В то же время электрифицированная железная дорога требует значительных затрат на устройство энергоснабжения, и поэтому может оказаться целесообразным проложить её по возможно более короткому направлению.

Установление наиболее целесообразного с экономической и технической точек зрения положения трассы требует обязательного комплексного учета всех перечисленных, нередко взаимно противоречивых, факторов, так или иначе влияющих на длину линии, стоимость строительства и условия её эксплуатации.

Таким образом, трассирование осуществляется в три этапа. На первом этапе выявляются и предварительно обследуются возможные принципиальные направления и выбирается наиболее целесообразное. На втором – по выбранному направлению устанавливаются конкурентные варианты и каждый из них трассируется. На третьем – трасса принятого варианта корректируется, переносится на местность и геодезически закрепляется.

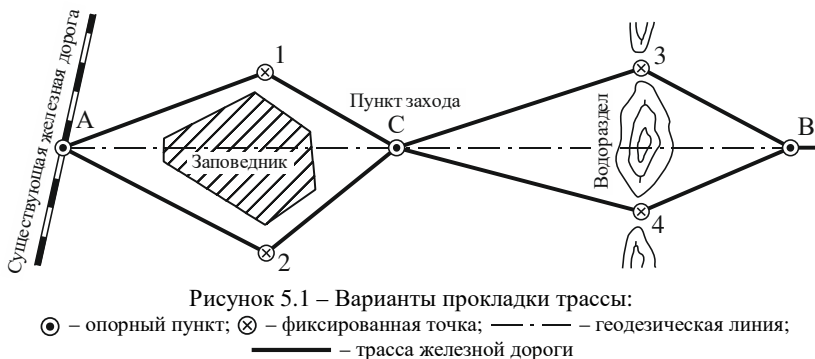
Такая этапность соблюдается при разработке проектов железных дорог большого протяжения и проходящих в сложных природных условиях.

5.2 Опорные пункты, геодезическая линия и фиксированные точки трассы

Оговоренные в проектном задании начальный и конечный пункты трассы, а также установленные в процессе экономических изысканий пункты обязательного захода, то есть крупные населённые пункты, наиболее важные грузообразующие или грузопотребляющие центры, а также пункты взаимодействия с другими путями сообщения, через которые или вблизи которых прохождение проектируемой железной дороги диктуется социальными, экономическими или общетранспортными соображениями, являются *опорными пунктами* трассы (рисунок 5.1).

В целях сокращения длины линии необходимо стремиться уложить трассу между смежными опорными пунктами, по возможности, по более короткому

направлению. Линия, соединяющая ключевые точки проектируемой железной дороги по кратчайшему направлению, называется *геодезической линией* (линия АВ на рисунке 5.1).



Отклонение трассы от кратчайшего направления может быть оправдано только наличием препятствий естественного характера или вызванных хозяйственной деятельностью человека, среди которых различают контурные и высотные препятствия.

Контурные, или *ситуационные*, препятствия – это препятствия, обход которых вызывает изменение положения проектируемой линии в плане, не приводя к существенным изменениям в профиле (населённые пункты, крупные озера, водохранилища, излуцины больших рек, заповедники, заказники, особоценные сельскохозяйственные земли, районы горных выработок, а также неблагоприятные в инженерно-геологическом отношении глубокие болота, неустойчивые овраги, зоны распространения карстов, слабых грунтов, осыпей, оползней, конусы выноса селевых потоков, лавиноопасные места и т. п.).

Высотными являются такие препятствия, пересечение или обход которых вызывает изменение положения линии как в плане, так и в продольном профиле (гряды холмов, горные хребты, высокие водоразделы, крутые склоны местности, ущелья, скальные прижимы на реках и др.).

Большинство названных препятствий при современном уровне развития строительной техники может быть преодолено, но экономически, т. е. с точки зрения затрат на строительство, это может оказаться далеко не всегда целесообразным. Например, заведомо нецелесообразно тройное пересечение реки (рисунок 5.2).

Поэтому проектировщик обязан искать пути, упрощающие технические решения и снижающие строительные расходы. Для этой цели на местности или на карте намечаются места возможного обхода контурных или пересечения высотных препятствий. Такие места, через которые или вблизи которых

желательно проложить трассу проектируемой железной дороги по техническим или экономическим соображениям, называются *фиксированными точками* (см. точки 1, 2, 3, 4 на рисунке 5.1 и 1, 2, 3 – на рисунке 5.2).

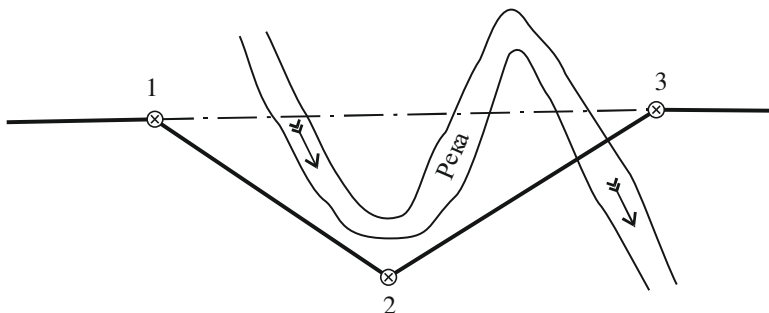


Рисунок 5.2 – Пример обхода излучины реки вместо тройного пересечения её русла

При пересечении рек такими точками являются места, наиболее удобные для устройства мостовых переходов. При наличии геологически неблагоприятных территорий такими точками являются места возможного обхода или пересечения их на наиболее устойчивых или наиболее узких участках.

При пересечении горных перевалов и водоразделов такими точками являются наиболее пониженные места, или седла, позволяющие уложить трассу в обход вершин и тем самым избежать необходимости устройства тоннелей или уменьшить их длину.

Опорные пункты трассы в совокупности с фиксированными точками могут быть сгруппированы в различных комбинациях в несколько вариантов возможных направлений (на рисунке 5.1 таких вариантов 4). При выборе направления укладки трассы в первую очередь следует обращать внимание на фиксированные точки, расположенные вблизи геодезической линии, так как при прокладке линии через них удлинение её будет наименьшим. Намеченные варианты анализируются и технико-экономически сравниваются, чтобы исключить неконкурентоспособные решения.

5.3 Классификация трассировочных ходов

Трассировочным ходом вообще называется участок трассы, запроектированный в определённых условиях местности с использованием конфигурации естественного рельефа. Трассировочные ходы, используемые в практике проектирования железных дорог, принято классифицировать по двум признакам: топографическим условиям местности и условиям использования руководящего или какого-либо другого ограничивающего уклона.

По первому признаку, т. е. по условиям использования существующего рельефа местности, различают: долинный, водораздельный, косогорный и поперечно-водораздельный ход.

Долинный ход – это такой трассировочный ход, когда оба конца некоторого участка трассы расположены в долине одной и той же реки (рисунок 5.3). Такой ход чаще всего применяется при прокладке трассы железной дороги в холмистой и горной местности.

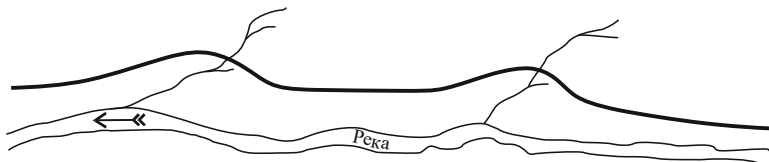


Рисунок 5.3 – Укладка трассы по долине реки

К числу наиболее характерных достоинств долинных ходов относятся: сравнительно небольшие естественные уклоны речных долин; минимальные суммы преодолеваемых высот при пересечении трассой боковых притоков в их устьевой части; возможность вписывания трассы в боковые долины при относительно небольших величинах искусственного развития линии.

Основными недостатками долинных ходов являются: потребность в отклонении трассы от кратчайшего направления из-за извилистости долины основной реки и необходимости пересечения боковых притоков; большое количество водопропускных сооружений на пересечениях многочисленных притоков, оврагов, балок; наличие не всегда благоприятных геологических условий, угрожающих устойчивости земляного полотна, и заносимых снегом отдельных его участков.

При выборе берега для укладки трассы предпочтение (при прочих равных условиях) следует отдавать тому берегу, по которому расположены большинство крупных населённых пунктов и промышленных предприятий. Но с учётом топографических и геологических условий иногда может потребоваться переход трассы на противоположный берег. Кроме того, должны учитываться количество и характер боковых притоков, направление господствующих ветров в зимнее время и другие влияющие факторы.

Водораздельным ходом называется определённый участок трассы, уложенный непосредственно на водоразделе (рисунок 5.4). Этот ход в отличие от долинного имеет, как правило, благоприятный план линии, хорошие геологические и гидрологические условия, относительно малые колебания высотных отметок и соответственно небольшие объёмы земляных работ. Водораздельные ходы практически не пересекают водотоков, что удешевляет строительство дороги за счёт значительного сокращения количества водопропускных сооружений.

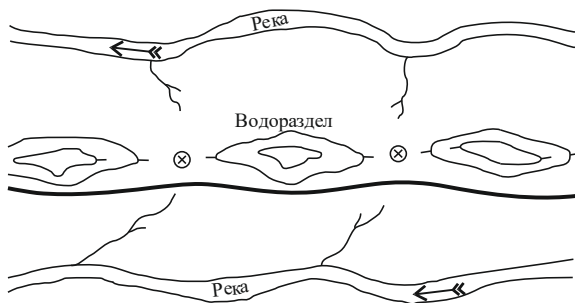


Рисунок 5.4 – Укладка трассы на водоразделе

В то же время на водоразделах более сложный, чем в долинах, рельеф, бóльшая сумма преодолеваемых высот из-за наличия обратных уклонов на чередующихся спусках и подъемах, а также менее благоприятные условия для водоснабжения раздельных пунктов и жителей пристанционных поселков.

Водораздельные ходы наиболее часто применяются в равнинных и слабохолмистых районах, на широких водоразделах, имеющих благоприятное для укладки трассы очертание.

Под **косогорным ходом** подразумевается участок трассы, уложенный на косогоре (склоне) между долиной реки и водоразделом (рисунок 5.5). Косогорные ходы значительно труднее долинных и водораздельных, так как склоны косогоров часто имеют менее спокойный рельеф, бóльшую крутизну и бывают пересечены балками, оврагами, логами. На таких склонах сложнее уложить трассу, особенно если при этом приходится пересекать узкие водоразделы с большими поперечными уклонами склонов и глубокие боковые поперечные долины.

На косогорных ходах довольно сложно подобрать место для расположения станционных площадок раздельных пунктов на прямой в плане и горизонтальной площадке в профиле. Кроме того, на этих ходах требуется устраивать больше водопропускных сооружений, чем на долинных ходах, проходящих у подошвы косогора, так как по мере подъема линии выше по косогору лога обычно разветвляются. Поэтому при укладке трассы на косогоре следует выбирать менее изрезанный его склон, если, конечно, он благоприятен в геологическом отношении.

В то же время при трассировании на склонах больше возможности для выбора величины руководящего уклона, так как благодаря поперечному уклону склонов проще подбирать отметки земли для благоприятной укладки трассы.

Поперечно-водораздельным ходом принято называть такой трассировочный ход, когда трасса из долины одной реки переходит в долину другой реки, пересекая при этом водораздел (рисунок 5.6). Трассирование на таких

ходах является наиболее сложным по сравнению с долинными и водораздельными ходами, так как нередко связано с необходимостью пересечения не только одного, но и последовательно нескольких водоразделов, что, естественно, приводит к значительному искусственному развитию линии с устройством петель и спиралей в долинах боковых притоков, увеличению суммы преодолеваемых высот, объёмов земляных работ и высокой стоимости искусственных сооружений в местах пересечения долин и водоразделов.

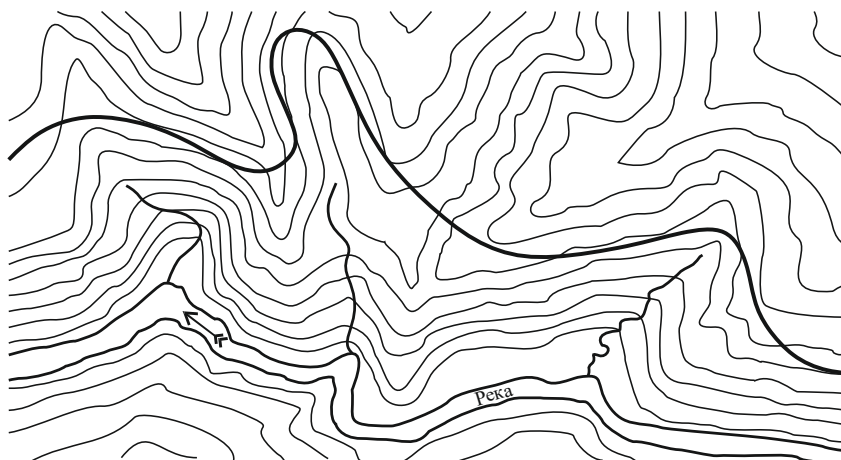


Рисунок 5.5 – Трасса на косогорном участке



Рисунок 5.6 – Трасса на поперечно-водораздельном участке

Очевидно, что самым благоприятным местом для пересечения водораздела с устройством перевальной выемки является попутное и наиболее низкое седло, удобное в геологическом отношении и обеспечивающее достаточно хорошие условия для укладки трассы на подходах. Тоннельные пересечения

наиболее рационально устраивать на самых узких участках водораздела. При этом также должны учитываться геологические условия, определяющие технологию и стоимость строительства тоннеля.

Необходимость подъёма на водораздел и спуска с него в долину реки при большой разности их отметок приводит к довольно значительному увеличению энергетических затрат на движение поездов. Поэтому с точки зрения укладки трассы поперечно-водораздельный ход является самым неблагоприятным из всех, перечисленных выше, и применяется только в том случае, если его использование обеспечивает значительное сокращение длины линии.

По второму признаку трассировочные ходы делятся на вольный и напряжённый ход.

Вольный (свободный) ход – это такой трассировочный ход, на котором средние естественные уклоны местности по кратчайшему направлению меньше уклона трассирования, т. е. $i_{\text{ест(ср)}} < i_{\text{тр}}$, где $i_{\text{ест(ср)}}$ – средний естественный уклон, определяемый между фиксированными точками на характерных участках местности более или менее значительного протяжения (не менее 3–5 км). При этом колебания промежуточных отметок в пределах этого участка не учитываются, а берутся только начальная и конечная отметки. На вольных ходах могут иногда встречаться отдельные небольшие высотные препятствия небольшого протяжения, для преодоления которых используется руководящий уклон, но положение всей трассы преимущественно определяется не высотными, а именно контурными препятствиями.

Напряжённый (стеснённый) ход – это такой трассировочный ход, на котором средние естественные уклоны местности больше, чем уклон трассирования, т. е. $i_{\text{ест(ср)}} \geq i_{\text{тр}}$.

Продольный профиль напряжённого хода в отличие от вольного хода характеризуется наличием значительных высотных препятствий, затяжных подъёмов и спусков и вынужденным искусственным развитием линии.

Уклоном трассирования в обоих вышеописанных случаях является любой ограничивающий уклон (руководящий, уравновешенный, усиленной тяги) за вычетом величины уклона, эквивалентного дополнительному сопротивлению от кривой: $i_{\text{тр}} = i_{\text{огр}} - i_{\text{эк}}$.

Перед началом трассирования, когда ещё не известны ни количество кривых на будущей трассе, ни величины углов её поворота, рекомендуется задаваться следующими средними значениями эквивалентного уклона: на сравнительно лёгких с точки зрения топографии местностях участках (когда сумма углов поворота на 1 км длины линии $\sum \alpha \leq 40^\circ$) $i_{\text{эк}} = 0,5 \%$, на участках средней сложности ($\sum \alpha \leq 85^\circ$) $i_{\text{эк}} = 1,0 \%$, на очень сложных участках ($\sum \alpha \leq 125^\circ$) $i_{\text{эк}} = 1,5 \%$.

5.4 Принципы трассирования на участках вольных ходов

Вольные хода, как правило, применяются в равнинной или слабохолмистой местности, а в горной – только при укладке трассы по долинам рек, на плато и плоских водоразделах. На этих ходах длина прямых участков может достигать десятков и даже сотен километров и процесс трассирования в большинстве случаев не связан со значительными затруднениями. Поэтому главной задачей проектирования линий на таких участках является укладка трассы между опорными пунктами или фиксированными точками с минимальным отклонением от кратчайшего направления.

Наличие на вольных ходах контурных или ситуационных препятствий вынуждает отклонять трассу от кратчайшего направления, т. е. удлинять (развивать) линию. Встречающиеся изредка на таких участках незначительные и небольшие по протяжению высотные препятствия (мыс, лог, отдельные возвышения местности) могут преодолеваются уклонами меньше руководящего или руководящим уклоном небольшой длины. Обход этих препятствий обеспечит уменьшение объёмов земляных работ, но также приведёт к некоторому удлинению линии.

С учётом этого план трассы на участках вольного хода характеризуется наличием криволинейных участков, которые предусматриваются, как правило, для обхода контурных или преодоления местных высотных препятствий. Продольный профиль на участках вольного хода характеризуется тем или иным сочетанием горизонтальных площадок с уклонами различной крутизны вплоть до руководящего. Но протяжение участков с руководящим уклоном незначительно, так как он назначается на этих участках только для уменьшения объёмов земляных работ.

Практика проектирования железных дорог выработала следующие **основные требования к укладке трассы на участках вольных ходов**:

1) *трассу следует укладывать по кратчайшему направлению (по прямой), с одной фиксированной точки на другую, т. е. с препятствия на препятствие.* Фиксированные точки в этом случае являются вершинами углов поворота трассы (рисунок 5.7);

2) с целью сокращения удлинения линии *обход препятствия следует начинать заранее* (см. рисунок 5.7), как можно дальше от препятствия, назна-



Рисунок 5.7 – Варианты обхода препятствия на участке вольного хода

чая при этом углы поворота, как правило, не более 15–20°. Это объясняется тем, что при увеличении угла поворота, например, в 2 раза процент удлинения линии увеличивается в 4,3 раза;

3) любое отклонение трассы от кратчайшего её направления допускается только для обхода контурных или преодоления местных высотных препятствий, т. е. *каждый угол поворота должен быть оправдан необходимостью* или заведомой целесообразностью (рисунок 5.8). Исходя из этих соображений, в лог (тальвег) надо вписаться, а мыс (уступ) надо опisać (рисунок 5.9);

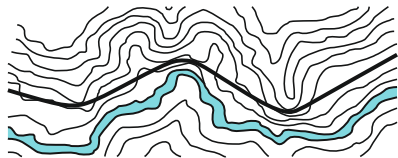


Рисунок 5.8 – Углы поворота трассы, обоснованные излучинами реки

4) *вершина угла поворота должна располагаться против препятствия с таким расчётом, чтобы само препятствие находилось внутри угла поворота* (см. рисунки 5.7 и 5.8). Такое решение позволит сократить объёмы земляных работ, связанных с обходом, и уменьшить удлинение линии. Углы поворота без препятствий внутри них, как правило не должны допускаться;

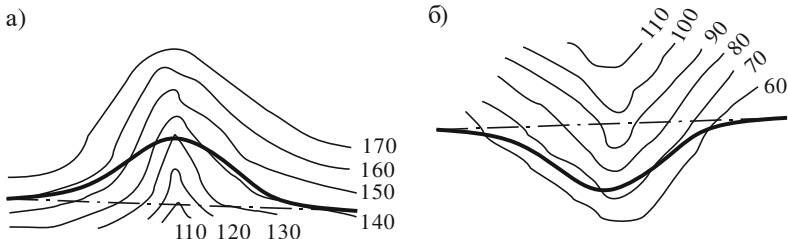


Рисунок 5.9 – Проектирование трассы в пределах лога (а) и мыса (б)

5) при необходимости обхода нескольких препятствий, близко расположенных друг от друга, *следует обходить всю группу препятствий вместе*. Этим обеспечится минимальное удлинение линии и уменьшится число углов поворота (рисунок 5.10);

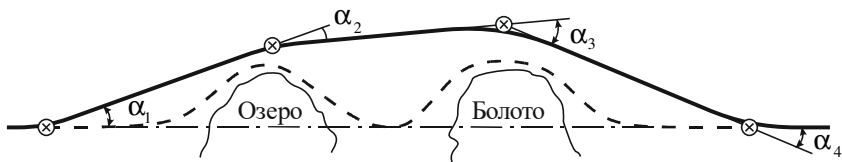


Рисунок 5.10 – Варианты обхода контурных препятствий, расположенных близко друг от друга:
 — — — — — правильное решение; - - - - - неправильное решение

6) *радиусы кривых в плане должны быть по возможности бóльшими* (обычно 2000–4000 м);

7) *площадки раздельных пунктов следует, как правило, располагать попутно направлению линии, обеспечивая при этом минимальное её отклонение*

от кратчайшего направления. При этом необходимо стремиться располагать раздельные пункты на «горбах» продольного профиля, а самому продольному профилю перегона придавать вогнутое очертание. Такие перегоны обеспечивают лучшие эксплуатационные показатели, в том числе меньшие эксплуатационные расходы, зависящие от размеров движения.

5.5 Принципы трассирования на участках напряжённых ходов

Трассирование на напряжённых ходах, т. е. на участках, где средние естественные уклоны местности по своей величине больше принятых для проектирования ограничивающих уклонов, сопряжено с целым рядом трудностей и особенностей и в силу этого существенно отличается от условий трассирования на участках вольных ходов.

Главной задачей укладки трассы на участках напряжённого хода является минимальное искусственное развитие линии для преодоления высотных препятствий при обеспечении наиболее полного использования уклонов трассирования и сведения к минимуму потерянных высот, т. е. участков обратного уклона (рисунок 5.11). Наличие на участке напряжённого хода уклонов меньше уклона трассирования говорит чаще всего об излишнем удлинении линии.

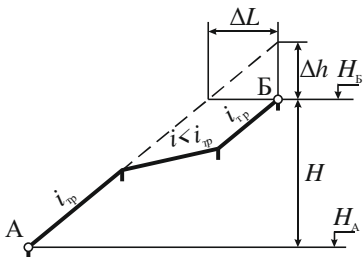


Рисунок 5.11 – Потерянная высота Δh и удлинение линии ΔL при недоиспользовании уклона трассирования на участке напряжённого хода

Различают напряжённый ход *без дополнительного развития трассы* и напряжённый ход с применением в необходимых местах *искусственного развития трассы*, т. е. её удлинения.

Первый случай имеет место, когда среднеестественный уклон равен уклону трассирования или приближается к нему по абсолютной величине. На таком участке трасса укладывается по кратчайшему направлению за счёт использования, например, руководящего или другого ограничивающего уклона.

Второй случай имеет место, когда среднеестественный уклон значительно больше уклона трассирования (рисунок 5.12).

В этом случае укладка трассы на значительном протяжении (3–5 км и более) по кратчайшему направлению невозможна, так как это приведёт к возникновению необоснованных затяжных насыпей и выемок. Чтобы избежать чрезмерно больших объёмов земляных работ, необходимо отклонить трассу

от кратчайшего направления и дополнительно развить линию для увеличения расстояния по трассе между точками *a* и *b* (см. рисунок 5.12).

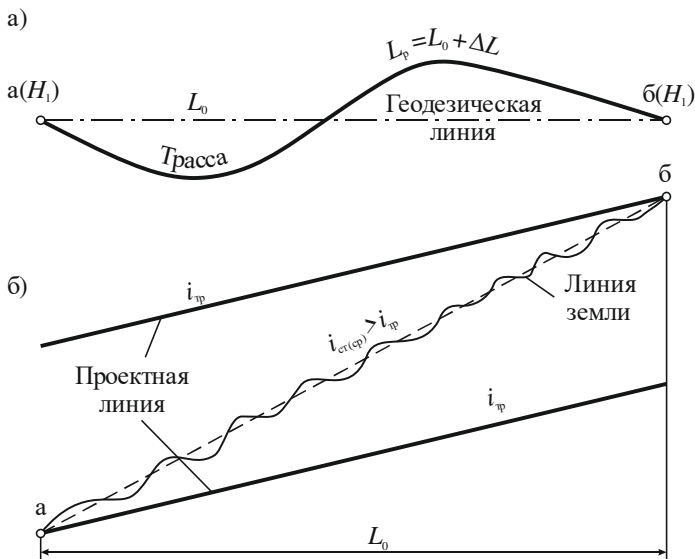


Рисунок 5.12 – Преодоление высотного препятствия на участке напряжённого хода: *a* – схема плана трассы; *б* – варианты проложения проектной линии при прокладке трассы без дополнительного её развития

Потребное развитие линии, необходимое для преодоления высоты H уклоном трассирования $i_{тр}$,

$$L_p = \frac{H}{i_p}. \quad (5.1)$$

В целях уменьшения развития линии (сокращения длины трассы) можно начало подъёма у подошвы напряжённого хода пройти насыпью высотой h_n , а конец подъёма на водоразделе – выемкой глубиной h_b , уменьшив тем самым преодолеваемую высоту H (рисунок 5.13).

На стадии первой пробной трассировки значениями этих величин задаются в каждом конкретном случае в зависимости от протяжения насыпи и выемки. Необходимое развитие в этом случае

$$L_p = \frac{H - (h_n + h_b)}{i_{тр}}. \quad (5.2)$$

При расчёте следует иметь в виду, что искусственное развитие линии всегда связано с использованием кривых, в пределах которых крутизна уклона

трассирования будет обязательно смягчаться на величину $i_{\text{эк}}$, а также учитывать необходимость размещения на трассе отдельных пунктов, на которых в соответствии с требованиями продольный уклон должен быть нулевым или, как правило, не более 2,5 ‰. С учётом этих обстоятельств окончательная величина расчётного развития

$$L_p = \frac{H - (h_n + h_b) + \sum h_{\text{кр}} + \sum h_{\text{ст}}}{i_{\text{тр}}}, \quad (5.3)$$

где $\sum h_{\text{кр}}$ – сумма потерь преодолеваемой высоты из-за необходимости смягчения ограничивающего уклона в кривых (рисунок 5.14 а);

$\sum h_{\text{ст}}$ – сумма потерь высоты из-за необходимости размещения станционных площадок отдельных пунктов на нулевых или близких к ним уклонах (рисунок 5.14 б).

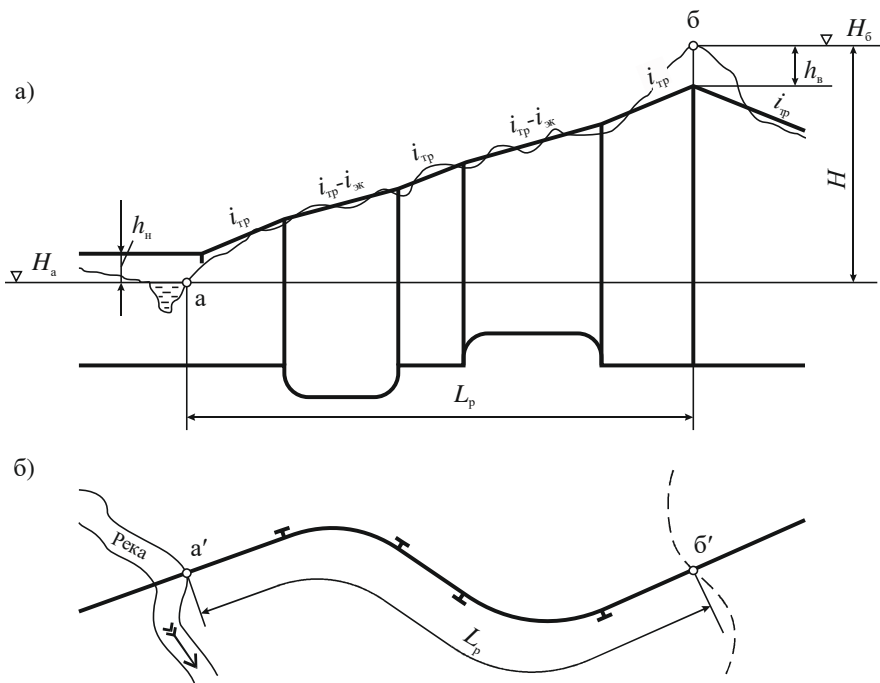


Рисунок 5.13 – Схема профиля (а) и плана (б) при напряжённом ходе

На основе опыта трассирования железных дорог суммарные потери высоты из-за наличия на трассе кривых и отдельных пунктов принимаются равными соответственно

$$\sum h_{кр} = \alpha_1 H ; \sum h_{ст} = \alpha_2 H , \quad (5.4)$$

где α_1 – расчётный коэффициент, зависящий от топографических условий местности ($\alpha_1 = 0,05$ для равнинных условий; $\alpha_1 = 0,08$ для холмистых условий; $\alpha_1 = 0,10$ для горных условий);

α_2 – расчётный коэффициент, зависящий от продольного уклона станционной площадки и длины приёмо-отправочных путей и принимаемый равным 0,10–0,15 (большее значение относится к линиям с большей длиной приёмо-отправочных путей на отдельных пунктах).

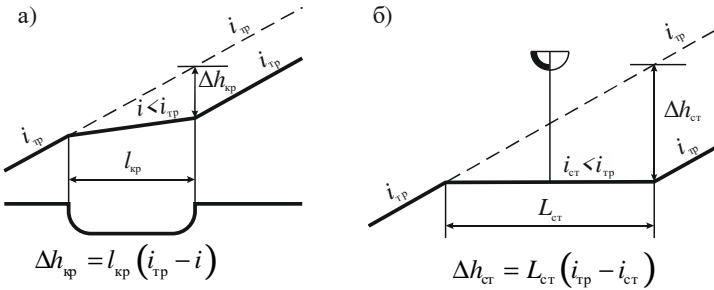


Рисунок 5.14 – Потерянная высота в пределах:
а – кривой в плане; б – станционной площадки

Таким образом, главная задача трассирования на участках напряжённого хода заключается в преодолении высотных препятствий с применением в необходимых местах расчётного развития трассы.

К трассированию на участках напряжённого хода предъявляются следующие основные требования:

1) *стремление к минимальному искусственному удлинению линии;*

2) *подбор плана трассы и отметок земли применительно к заранее составленному так называемому теоретическому профилю (рисунок 5.15);*

3) *укладка трассы при минимальных объёмах земляных работ и правильном (рациональном) сочетании объёмов насыпей и выемок;*

4) *назначение положения углов поворота трассы и величин этих углов исходя из условия обеспечения удачного подбора отметок земли и расчётного развития линии;*

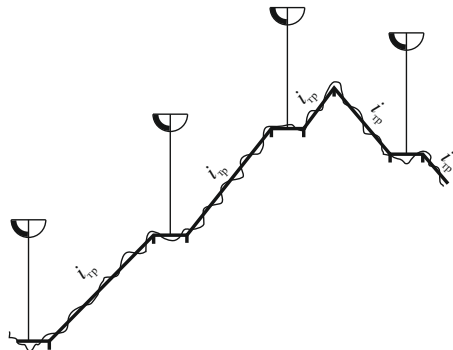


Рисунок 5.15 – Продольный профиль участка напряжённого хода с использованием только уклона трассирования («теоретический» профиль)

5) возможно более полное использование уклона трассирования, уменьшаемого только в пределах кривых, тоннелей и площадок раздельных пунктов;

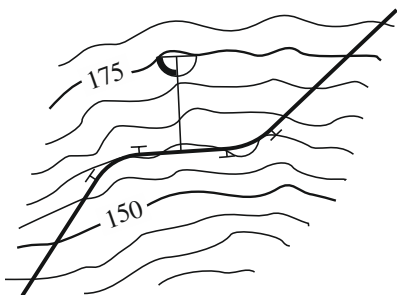


Рисунок 5.16 – Расположение станционной площадки попутно направлению линии

6) расположение раздельных пунктов с подбором попутного направления, для которого среднеестественный уклон местности примерно равен нулю или близок к допусжаемому нормами проектирования уклону на раздельных пунктах (рисунок 5.16).

Каждый случай вынужденного развития линии, недоиспользования руководящего уклона на отдельных её участках и допущения потерь высот должен быть обоснован технико-экономическими расчётами.

5.6 Приёмы развития линии

В зависимости от разности отметок начального и конечного пунктов трассы, крутизны уклона трассирования и других влияющих факторов, в процессе проектирования железной дороги может появиться потребность в том или ином искусственном развитии линии.

Исходя из топографических условий района прокладки трассы и степени потребного её развития в практике проектирования железных дорог используются различные приёмы, которые можно разделить на приёмы простого и сложного развития.

Простое развитие линии применяется с целью уменьшения объёмов земляных работ и при обходе контурных препятствий на участках вольного хода, а также для обеспечения относительно небольшого её развития на участках напряжённого хода. Оно заключается в укладке двух или нескольких обратных кривых с углами поворота, как правило, не более 90° . Наиболее распространёнными схемами простого развития линии является *извилина* ($\alpha \leq 90^\circ$) и *вписывание в поперечный лог* ($\alpha \leq 180^\circ$) (рисунок 5.17 а).

Сложное развитие используется в наиболее трудных топографических условиях при необходимости большого искусственного развития линии на участках напряжённого хода и заключается в укладке потребного количества кривых с углами поворота до 180° и более. Примерами сложного развития является *заход трассы в боковую долину*, *петли*, *спирали*, *зигзаги*, *улитки*.

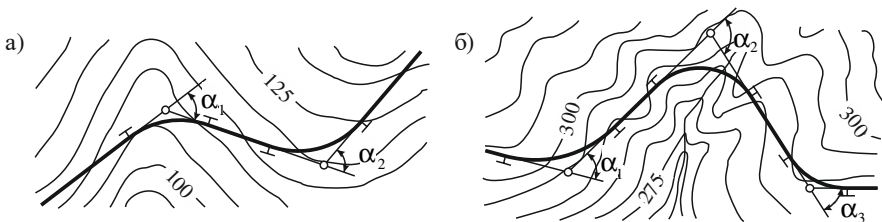


Рисунок 5.17 – Схемы простого развития линии:
 а – извилина; б – вписывание в поперечный лог

Заход в боковую долину назначается в тех случаях, когда трасса с обеих сторон прижата крутыми склонами к реке, и проложить линию можно только по долине этой реки с использованием её притоков. Этот приём отличается от вписывания в лог тем, что с целью развития линии трасса на некотором участке переходит из долины основной реки на склоны боковой долины, разворачивается в ней углом, достигающим 180° и более, и вновь выходит в основную долину, но уже на более высоких отметках (рисунок 5.18).

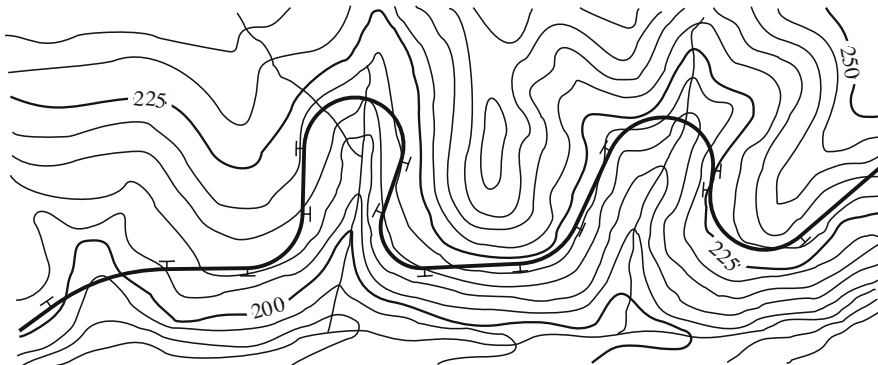


Рисунок 5.18 – Заходы трассы в боковые долины

Описанный приём искусственного развития линии используется для того, чтобы при естественном уклоне реки, большем, чем уклон трассирования, бровка земляного полотна железной дороги на каком-то её отрезке не оказалась ниже уровня воды в реке, что могло бы произойти при прокладке трассы по берегу основной реки без захода в долину её притока.

При необходимости значительного развития линии без существенного увеличения объёмов работ укладываются кривые с углами поворота, достигающими 180° и более. Характерными примерами такого развития являются *петли в попутных долинах и на косогорах*.

С помощью **петли в долине** трасса развивается, когда, следуя по долине основной реки, она, поднимаясь все время руководящим уклоном, сначала отворачивает в боковую долину, разворачивается на одном из её склонов углом 180° и более, а затем по этому же или другому склону опять выходит в основную долину (рисунок 5.19). При этом на входе трассы в узкую боковую долину, выходе из неё, а также на развороте может потребоваться устройство искусственных сооружений в виде тоннелей, а в местах пересечения боковой долины – виадука или высокого моста.

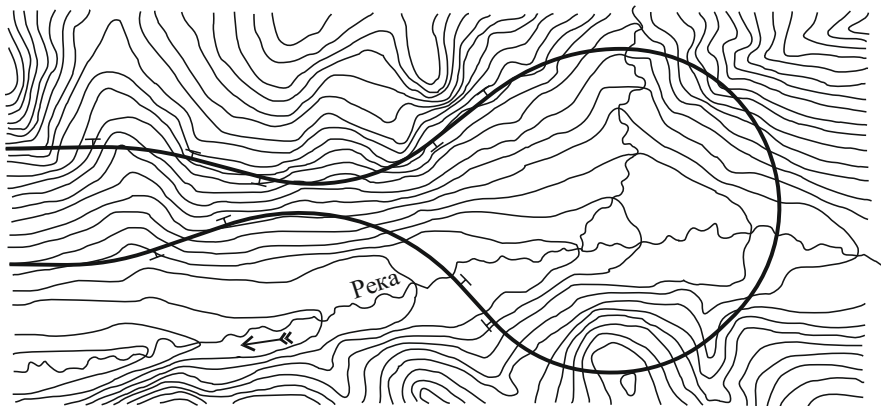


Рисунок 5.19 – Петля в долине

При отсутствии боковых долин трасса для искусственного развития может быть уложена с помощью **петли на склонах** косогоров основной долины. В этом случае трасса, следуя на подъём или на спуск по косогору, вначале разворачивается на угол 180° и даже более, а затем по этому же или по противоположному склону продолжает набирать (на подъёме) или терять (на спуске) необходимую высоту.

Это решение, как правило, сопряжено с устройством глубоких выемок, а при значительной крутизне косогора с сооружением тоннелей на склонах. В случае необходимости перехода трассы с одного склона на другой также потребуется и сооружение виадука или моста. При изысканиях Кавказской перевальной в России на участке трассы от станции Казбек до разъезда Цинклаури трасса запроектирована с петлевым тоннелем в склоне реки Терек.

В сложных топографических условиях при необходимости осуществления двух или трёх обратных поворотов трассы с углами поворота около 180° каждый, устраиваются соответственно двойные или тройные петли. Такие петли характерны для долин горных рек, у которых уклон реки значительно превышает уклон трассирования, и в то же время долина этой реки является единственным местом, где возможно уложить трассу.

Развитие линии при помощи **спирали** характеризуется разворотом трассы на угол до 360° с обязательным пересечением в отдельных точках самой себя в разных уровнях с помощью тоннеля, путепровода или виадука. Спиральное развитие трассы применяется при укладке линии долинным ходом на участках, где уклон долины реки значительно круче уклона трассирования, но отсутствуют боковые долины, которые могли бы быть использованы для развития линии при помощи заходов в них или устройства петель. В этом случае трасса из долины реки поворачивает в сторону косогора, входит в тоннель и разворотом в 360° , а иногда и более, укладывается дальше по долине, но уже на гораздо более высоких отметках (рисунок 5.20).

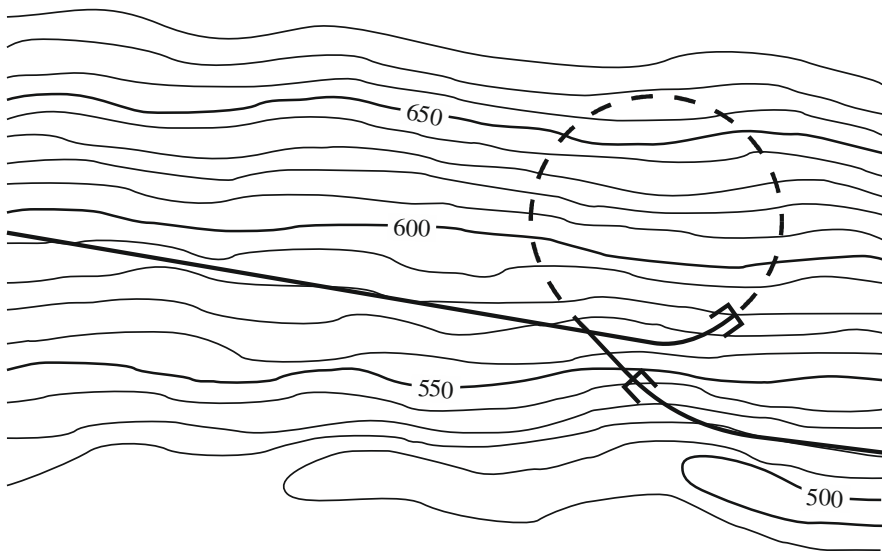


Рисунок 5.20 – Одиночная спираль

Спиральное развитие также может быть использовано на подходах к перевальному тоннелю. Это обеспечит максимально возможный подъём трассы, а следовательно, сокращение объёмов проходческих работ, уменьшение протяжённости тоннеля и снижение общей стоимости строительства.

В отдельных случаях в особо сложных топографических условиях может потребоваться устройство не одной, а нескольких спиралей. Примером такого решения может служить участок спуска трассы с хребта Большой Хинган на Китайско-Восточной железной дороге, а также линия Туапсе – Армавир, на которой устроена двойная спираль с тремя длинными тоннелями в ущелье р. Индюшка на участке подъёма к Армавиру со стороны Туапсе.

Из истории строительства железных дорог известен способ развития линии в виде **зигзагов с тупиковыми заездами** (рисунок 5.21). Этот способ заключается в том, что трасса железной дороги от какой-то исходной точки постепенно поднимается по крутому склону до первого тупикового разъезда, а затем по этому же склону, но в обратном направлении, поднимается до второго тупикового разъезда и т. д.

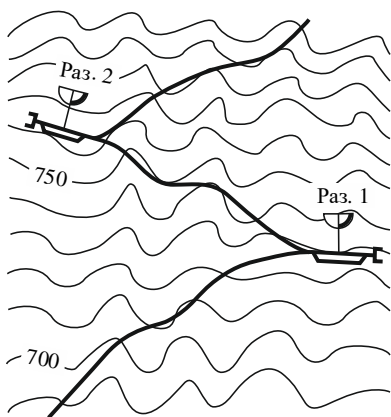


Рисунок 5.21 – Зигзаги с тупиковыми заездами

Такое решение обеспечивает некоторое снижение стоимости строительства линии, так как не требует устройства высоких насыпей, мостов и виадуков, глубоких выемок и тоннелей, но очень неудобно в эксплуатационном отношении. В частности, на тупиковых раздельных пунктах затрачивается много времени на выполнение операций по многократной смене направления движения, что ощутимо снижает скорость движения поездов по участку и пропускную способность линии.

Кроме того, резко возрастают расходы на строительство и эксплуатацию дополнительных разъездов. Поэтому такой приём развития используются крайне редко и только в очень сложных топографических условиях при сравнительно небольших объёмах перевозок или в качестве временного решения. Впервые он был применён в 1980 г. в Перу, в России на Китайско-Восточной железной дороге на перевале через Большой Хинганский хребет (Дасинанмин).

В сложных топографических условиях при необходимости трассирования тупиковой железнодорожной линии, конечная станция которой располагается на вершине возвышенности или вблизи неё, используется такой приём развития линии, как **тупиковая спираль**, получившая название **улитки**. Этот способ характерен в основном для временных горных рудниковых дорог или дорог, предназначенных для быстрой доставки туристов на обзорную площадку на вершине горы. Применяется он в тех случаях, когда вместо использования для подъёма на вершину одного из склонов с применением петли целесообразнее уложить трассу с постепенным подъёмом вокруг возвышенности. В конце XIX в. в горах Гарц (Германия) была сооружена узкоколейная железная дорога в форме улитки, которая от курортного местечка Ширке по склонам горы Броккен поднимается на 1100 м к её вершине (рисунок 5.22).

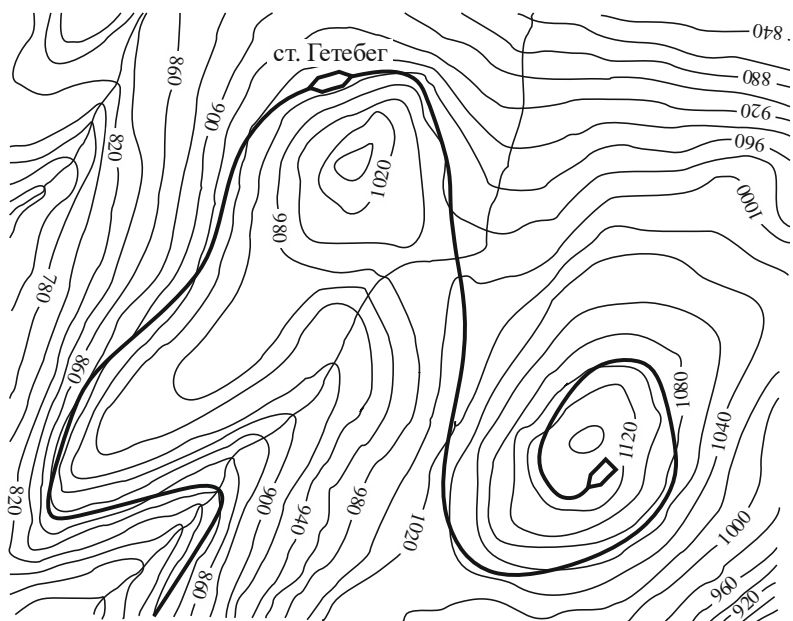


Рисунок 5.22 – Развитие трассы улиткой на подъёме к вершине Броккен в горах Гарц (Германия)

5.7 Особенности трассирования железных дорог в сложных природных условиях

Строительство железных дорог в некоторых случаях предусматривается в сложных климатических, топографических, физико-географических и других природных условиях. Многолетней практикой проектирования выявлены некоторые общие закономерности и разработаны методы прокладки трассы в таких условиях, основные из которых кратко описываются ниже.

Трассирование в заболоченных районах. Болота различаются по следующим основным признакам:

- *глубине*: мелкие (до 2 м), не представляющие особых затруднений при постройке и эксплуатации железной дороги; средние (2–4 м), вызывающие удорожание строительства, но без увеличения расходов по эксплуатации; глубокие (более 4 м), требующие увеличения как строительных, так и эксплуатационных затрат;
- *состоянию основания* (мерзлое, талое);
- *характеру дна* (площадочное, косогорное с уклоном 1:h);
- *местоположению* (расположенное в долинах рек, водораздельное).

В случае необходимости прокладки трассы железной дороги в районах распространения болот, должно быть выполнено тщательное обследование с целью установления границ и глубины болота, условий питания (атмосферные или грунтовые воды) и характера его дна, а также выявления толщины и характера торфяного покрова.

Как общее правило, пересечение любого болота следует производить в самой узкой и неглубокой его части с минимальным поперечным уклоном минерального дна. Мелкие болота с талым горизонтальным минеральным дном не являются препятствием для трассирования, практически не удлиняют линию и поэтому могут пересекаться насыпями (с полным или частичным удалением торфа) высотой 0,8–3,0 м в зависимости типа болота и вида грунта, из которого планируется отсыпать земляное полотно.

При больших поперечных уклонах минерального дна следует рассмотреть вариант, который предусматривал бы пересечение болота в наиболее узкой его части с заменой насыпи эстакадой.

При укладке трасы в районах распространения средних или глубоких пойменных болот значительной протяженности должны быть рассмотрены варианты обхода таких участков по водоразделам, склонам долин, по надпойменным террасам и т. д.

По всем вариантам, пересекающим болота, должны учитываться необходимость отсыпки земляного полотна из дренирующего грунта или устройства фильтрующей насыпи, а также дополнительные расходы по содержанию земляного полотна, в особенности расходы по ликвидации возможной осадки насыпи в первые годы эксплуатации путем досыпки балласта.

Трассирование в местностях, подверженных снежным заносам. При трассировании железной дороги в снегозаносимых районах должны сравниваться варианты, в которых незаносимость земляного полотна обеспечивается соответствующим проектированием трассы и связана с неизбежным увеличением земляных работ, а в отдельных случаях и удлинением линии, с вариантами, требующими той или иной активной защиты от заносов (лесопосадки, постоянные заборы, переносные щиты и т. п.) и значительных ежегодных расходов по очистке пути от снега.

Расчеты высоты незаносимых насыпей и глубины выемок выполняются по данным специально назначаемых дополнительных зимних изысканий в период максимального накопления снежного покрова, с обязательным промером толщины снежного покрова.

При проектировании в районах снежных заносов необходимо иметь в виду следующее:

– участки трассы, расположенные в пределах прямых в плане, подвержены заносам в меньшей степени, чем расположенные на кривых, особенно, если в этих кривых имеются выемки;

– понижения местности (котловины, ложбины), которые обычно сильно заносятся снегом, следует либо пересекать по кратчайшему направлению, либо обходить их;

– при наличии лесных массивов и лесопосадок, попутных проектируемой трассе, наиболее целесообразно прокладывать трассу на расстоянии не менее 50–60 м от подошвы ближайшего косогора;

– проектирование линии по косогору желательно насыпями или полувыемками-полунасыпями, создающими благоприятные условия для очистки пути от снега. Насыпи на открытых наветренных склонах косоголов (за исключением расположенных у подошвы косоголова) при отсутствии препятствий, снижающих скорость ветра, как правило, снегом не заносятся. Наиболее подвержены заносам участки, расположенные на подветренных склонах и в пределах нижней трети наветренного косоголова;

– водоразделы хорошо продуваются ветром и на них не накапливается значительный снежный покров, но метели и поземки там чаще, чем в долинах, и отличаются интенсивностью. Поэтому в таких условиях особенно рекомендуется проектировать незаносимое земляное полотно;

– в пересеченной и горной местности трассу следует укладывать преимущественно долинным ходом, по наветренным пологим склонам и надпойменным террасам, избегая подошвы, ввиду, как правило, больших отложений снега в зоне затишья или завихрений. В случае неизбежности укладки трассы в этом месте, следует соответственно увеличить высоту насыпи или предусмотреть надлежащую защиту земляного полотна от снежных заносов по индивидуальному проекту;

– в лавиноопасных горных районах трассирование должно производиться по возможности с учетом обхода участков, опасных в отношении схода снежных лавин. При неизбежности пересечения таких участков и невозможности их обхода необходимо предусматривать специальные меры по надежной защите земляного полотна, а именно: лесонасаждение на лавиноопасных склонах, устройство галерей с пропуском лавин и снежных обвалов над полотном, сооружение на опасных косоголовах противолавинных козырьков, навесов, оградительных снегозадерживающих стен, систем снегозадерживающих железобетонных надолбов, рвов, дамб и т. п. В качестве альтернативы можно рассмотреть вариант устройства железнодорожного пути на эстакаде, под которой будет пропускаться лавина.

При трассировании в районах развития действующих оврагов, сложенных из легко размываемых грунтов (лѣс, лѣсовидные суглинки и т. п.), наиболее целесообразным является расположение трассы либо выше зоны образования оврагов с проектированием специальных мероприятий по прекращению их роста, либо в нижней части оврагов, где размыв тальвегов уже прекратился и поэтому не угрожает земляному полотну и искусственным сооружениям.

При пересечении зоны оврагов необходимо предусматривать в проекте меры их закрепления с учетом местных условий: лесонасаждение в приовражной зоне, устройство каменных барьеров на склонах бассейна, обвалование приовражной зоны, перехват воды водоотводными канавами.

Трассирование в горных районах на спусках с водоразделов чаще всего связано с рассмотрением вариантов обхода участков, на которых могут быть распространены россыпи, курумы, осыпи, обвалы, оползни, сели и другие склоновые процессы, угрожающие сохранности постоянных устройств железной дороги и безопасности движения поездов.

Россыпи – обычно сложены из довольно крупных камней, располагаются на южных склонах или водоразделах. Они обычно не имеют склонности к перемещению и поэтому не требуют обхода трассой.

Курумы представляют собой хаотически нагроможденные обломки изверженных каменистых пород, находящиеся в неустойчивом равновесии или движущихся вниз по склонам со скоростью всего нескольких сантиметров в год.

Осыпи – это скопления камней, нередко покрывающих горные ущелья, долины и крутые склоны на значительную высоту, движение которых характеризуется быстрым смещением отдельных обломков.

Обход курумов и осыпей в крайне стесненных горных условиях очень затруднителен. Поэтому укладка трассы по курумам и осыпям требует предварительных обследований и достаточно сложных и дорогих противодеформационных сооружений, обеспечивающих устойчивость земляного полотна.

Обвалы – это отрывы и падение больших масс горных пород. Участки, где возможны обвалы, следует обходить трассой, либо требуется предусматривать в необходимых случаях устройство улавливающих траншей, ограждающих стенок, галерей или строительство тоннелей в устойчивых горных породах.

Оползнями называют смещение (скольжение) земляных масс вниз по склону под действием гравитации. При трассировании оползневые склоны по возможности обходят. При невозможности обхода, насыпи на таких участках устраивают главным образом у подошвы склона, где они способствуют стабилизации оползня, а выемки в нижней части оползневого массива не устраивают.

Сель – это внезапный горный грязевой поток, содержащий большое количество твердых включений, возникающих в результате интенсивных ливней или бурного снеготаяния в бассейнах горных рек и сухих логов, имеющих крутые уклоны русел и склонов, с наличием больших масс, подготовленных к смыву почвенно-грунтов. При трассировании в селевых районах необходимо прежде всего рассмотреть возможность обхода селевых русел. При невозмож-

ности или нецелесообразности такого решения пересечение селевого бассейна рекомендуется осуществлять выше зоны отложений наносов в суженном месте лога, где русло фиксировано геологически устойчивыми высокими берегами, позволяющими пересечь его одним мостовым пролетом без промежуточных опор. Если повышение проектируемых отметок трассы для устройства мостового перехода на селе по объективным причинам невозможно, следует рассмотреть возможность пропуска селевых потоков над полотном железной дороги у подножья склонов с помощью селеспусков.

Трассирование в районах карстообразования требует специального инженерно-геологического обследования для оконтуривания границ карстовых зон, установления глубины и характера карстовых воронок (действующие или потухшие), толщины грунта над ними. Карстовые пустоты различной величины и формы образуются со временем в результате растворения атмосферными, речными и подземными водами пород каменной соли, известняка, доломита, гипса и гипсоносных глин, обломочных горных пород с карбонатным цементом, создавая угрозу внезапных опасных провалов почвы вместе с полотном дороги. Чаще всего карст образуется в местах выходов источников воды на дневную поверхность или в руслах рек и других водотоков.

Поэтому должны быть тщательно изучены и сравнены варианты пересечения отдельных карстовых воронок при учете мероприятий, обеспечивающих устойчивость земляного полотна, или варианты обхода всего участка. Если такой обход вообще невозможен или по объективным причинам нецелесообразен, надлежит проработать варианты трассы, предусматривающие обход тех зон, в которых свежие карстовые воронки имеют особенно большое распространение, с применением мер, полностью исключающих дальнейшее развитие карста.

При трассировании в районах распространения сыпучих песков необходимо учитывать влияние земляного полотна будущей железной дороги на условия образования и перемещения ветропесчаного потока. С этой целью трассу следует укладывать по возможности по направлению преобладающего движения песков, в обход наиболее активных их масс, по наветренному склону барханной цепи, вдоль форм рельефа и в межбарханных понижениях.

В пустынях и полупустынях трассирование следует осуществлять с учетом предупреждения возможности песчаных заносов и выдувания грунта из земляного полотна, используя для укладки трассы участки песков, закрепленных природной растительностью (лесные массивы, заросли кустарников).

На участках распространения незаросших и слабозаросших барханных песков рекомендуется устраивать преимущественно насыпи высотой не менее 0,6 м, а на участках распространения подвижных песков – насыпи высотой 0,9 м и более [10]. При неизбежности устройства выемок их поперечный профиль проектируют в зависимости от глубины выемки.

В местах, где природная растительность вообще отсутствует, в проекте следует предусматривать посадку сеянцев и черенков саксаула, черкеза, кандыма и других древесных пород, хорошо приживающихся в песчаных районах.

Трассирование в районах распространения вечномерзлых грунтов основывается на инженерно-геологических изысканиях, которые должны обеспечить: выбор местоположения трассы и отдельных сооружений на ней; учет возможных изменений мерзлотно-грунтовых условий во время возведения этих сооружений и последующей эксплуатации железной дороги, а также возможность осуществления мероприятий, направленных на обеспечение устойчивости сооружений; назначение конструктивных элементов земляного полотна, определение несущей способности грунтов его основания, выбор типа фундаментов и назначение глубины их заложения.

К вечномерзлым (многолетнемерзлым) относятся грунты, имеющие отрицательную температуру и содержащие в своем составе лед, если они находятся в мерзлом состоянии в течение трех лет и более. Мощность таких грунтов может достигать нескольких сотен метров. Эти грунты подразделяются на низкотемпературные ($-1,5$ °C и ниже на глубине 10–15 м от поверхности земли) и высокотемпературные (выше $-1,5$ °C).

В районах распространения многолетнемерзлых грунтов широко развиты мерзлотно-геоморфологические образования: подземные льды, наледи, бугры пучения, мари и др.

Подземные льды залегают в виде пластов площадью в несколько квадратных метров и мощностью от нескольких сантиметров до десятков метров или линз, имеющих мощность, увеличенную только в средней части.

Наледи – это замерзшая вода, излившаяся на поверхность под напором, вследствие промерзания зимой живого сечения рек и потоков грунтовых вод через трещины в грунте или во льду.

Бугры пучения – это почва, поднятая в результате замерзания воды, проникающей в поверхностную толщу грунтов.

Мари – болота на мерзлоте, распространенные в пределах равнин на поймах рек, водоразделах, склонах и террасах и сложенные торфом и другими органико-минеральными отложениями, мощность которых измеряется от десятка сантиметров до нескольких метров.

При выборе по имеющимся картографическим материалам наиболее благоприятного в мерзлотно-грунтовым отношении направления линии в первую очередь намечаются места пересечения водоразделов и переходов больших рек, а затем рассматриваются возможные принципиальные варианты трассы: долинные, косогорные, водораздельные и смешанные ходы.

Приемы трассирования в условиях многолетней мерзлоты должны учитывать характер ее залегания, а именно:

– в областях сплошного залегания многолетнемерзлых грунтов данные изысканий должны обосновывать трассирование по водоразделу, выбор склона долины при спуске с перевала в долину, проложение трассы по долине вольным ходом и сравнительную оценку водораздельных и долинных ходов;

– в областях многолетнемерзлых грунтов с наличием талых грунтов (таликов) наиболее благоприятными для трассирования являются надпойменные и первые трассы, если они сложены песками и галечниками, а южные склоны, если они не поражены оползнями и наледями;

– в областях островного расположения многолетней мерзлоты трасса должна укладываться по возможности вне заторфованных мест, исходя из общих топографических и инженерно-геологических данных.

Отдельно расположенные наледи и бугры, образованные надмерзлотными водами, как правило, не должны служить поводом к изменению направления трассирования.

При трассировании по участкам, сложенным скальными породами, решающим является характер и степень их выветривания, определяющие крутизну и устойчивость откосов выемок, так как физико-механические свойства скальных пород практически не зависят от температуры.

Нельзя допускать укладку трассы по участкам залегания подземных льдов. Исключением могут быть случаи, когда будет доказана невозможность или технико-экономическая нецелесообразность переноса ее на другое место, где подземные льды отсутствуют.

Укладка линии по торфяно-моховым марям допустима при высоте насыпи не менее 1 м, мощности насыпного грунта (включая просевшую часть насыпи) не менее 1,5 м и соотношении между мощностью насыпного грунта и высотой слоя уплотненного талого торфа в основании насыпи не менее 2:1.

Укладка трассы по травяно-моховым марям, развитым на склонах, сложенных рыхлыми образованиями и часто связанным с развитием склоновых процессов нежелательна. При невозможности избежать такой мари необходимо предусмотреть ее глубокую просушку.

На марях и торфяниках рекомендуется избегать выторфовывания, заменяя его соответствующим увеличением насыпи.

На марях травяной кочки укладка трассы допустима при условии осушения межкочковых пространств и высоте насыпи 1,5–2 м.

Могильниковые мари требуют тщательного водоотвода из межбугровых впадин и отсыпки земляного полотна насыпей дренирующими грунтами с минимальной высотой около 2 м.

При прокладке трассы в районах с низкотемпературной мерзлотой следует избегать участков распространения наледей и бугров пучения. В районах с высокотемпературной мерзлотой неблагоприятными для укладки трассы, кроме мест распространения наледей и бугров пучения, являются также

участки с сильнольдистыми грунтами, подземными льдами и глубокими ма-рями. Такие участки стремятся обойти, а в случае, если это невозможно или по экономическим соображениям нецелесообразно, то пересекают по кратчайшему направлению.

Трассирование в сейсмических районах ведется в соответствии с нормами, приведенными в СНиП II-7-81 [32]. При этом в районе с сейсмичностью 7–8 баллов необходимо придерживаться следующих правил:

- в горных районах обходить осыпи и оплывины, избегая крутых неустойчивых косоогоров, грозящих обвалами и оползнями;
- учитывая, что наибольшую сейсмическую безопасность гарантируют твердые скалистые породы, не предусматривать сооружения тоннелей длиной менее 200 м в нескальных грунтах, характеризующихся подвижностью;
- в степных районах избегать участков наносных грунтов, покрывающих основные породы, заросших озер и особенно болот, так как сейсмичность заболоченных участков увеличивается.

При сейсмичности 8–9 баллов укладка трассы по нескольким косоогорам с откосами круче 1:1,5 должна вестись только после выполнения специальных инженерно-технических изысканий, а при крутизне 1:1 и более вообще не допускается.

При неизбежности прокладки трассы на скальных косоогорах, где наблюдаются осыпи и обвалы, необходимо предусматривать сооружения, защищающие железнодорожное полотно от обвалов (улавливающие стены, траншеи и др.). Планируя устройство насыпей на косоогорах круче 1:2, обязательно следует предусматривать в проектах укрепление земляного полотна или сборными железобетонными рядами, заполненными камнем, или подпорными стенками. Как альтернатива может также рассматриваться вариант прохождения таких участков эстакадами.

5.8 Трассирование по картам в горизонталях

Основные положения. На разных стадиях проектирования в сложных случаях выполняют трассирование принципиальных направлений проектируемой новой железнодорожной линии, возможных, конкурирующих, принятого, уточненного и окончательного вариантов ее трассы, а в легких случаях – принципиальных направлений, возможных вариантов и ее окончательного положения на местности, руководствуясь соответствующими требованиями [29].

На стадии проектного задания линия трассируется между начальным и конечным пунктами через намеченные заранее (при выборе направления) фиксированные точки обхода контурных или преодоления высотных препятствий (например, обхода населенного пункта, пересечения водораздела и т. п.) и выявленные дополнительно характерные точки местности, через которые линия должна пройти.

Исходным материалом для проектирования железной дороги по картам в горизонталях могут служить карты масштаба 1 : 25000 или 1 : 50000. Такое трассирование позволяет достаточно просто получить отметки всех нужных точек на плане. Если рассматриваемая точка совпадает с линией горизонтали, то ее отметка равна номеру этой горизонтали. Если же точка не совпадает с линией горизонтали (например, находится между соседними горизонталями), то ее отметку можно определить интерполяцией с точностью до 0,50 м.

Технология и методы трассирования по картам в горизонталях зависят в основном от использования руководящего уклона (напряженный или вольный ход) и топографических условий (долинный, косогорный, водораздельный, поперечно-водораздельный ход). Схематическое положение трассы и ее расчетная длина устанавливаются, начиная с участков напряженных ходов, выбора попутных долин, а также наиболее благоприятных мест выхода на участки вольных ходов для увязки их с напряженными ходами.

На участках напряженных ходов задача трассирования состоит в преодолении высотных препятствий с применением в случае необходимости расчетного развития трассы (см. подразд. 5.6). Недоиспользование руководящего уклона на участках искусственного развития должно быть обосновано технико-экономическими расчетами.

Основной прием трассирования на участках напряженного хода заключается в предварительной укладке ломаной линии, называемой «линией нулевых работ». Такое название эта линия получила потому, что если по ней проложить трассу, а затем уклоном трассирования уложить на профиле проектную линию, то в точках пересечения ею горизонталей уклон местности окажется равен уклону проектной линии, а земляные работы будут равны нулю. Напротив, отклонение трассы от линии нулевых работ приведет к образованию насыпей и выемок.

Для оправданного уменьшения числа углов поворота трассы и возможности вписывания в плане круговых кривых допустимыми радиусами с соответствующими прямыми вставками между ними, полученная линия нулевых работ спрямляется.

Укладку линии нулевых работ обычно начинают от фиксированных точек, последовательно спускаясь с горизонтали на горизонталь без пропуска до того места, где спуск заканчивается и линия выходит на вольный ход (как это показано на рисунке 5.23). Для этого удобно пользоваться измерителем, расстанов которого (шаг трассирования или горизонтальное заложение d на рисунке 5.24) с учетом масштаба определяется как расстояние (в км)

$$d = \frac{\Delta h}{i_{\text{тр}}},$$

где Δh – сечение горизонталей, м;

$i_{\text{тр}}$ – предельный уклон трассирования, равный $i_{\text{огр}} - i_{\text{эк}}$, ‰.

Закрепив заложение на циркуле, накальвают последовательный ход с горизонтали на горизонталь короткими участками (порядка 3–5 км). При этом

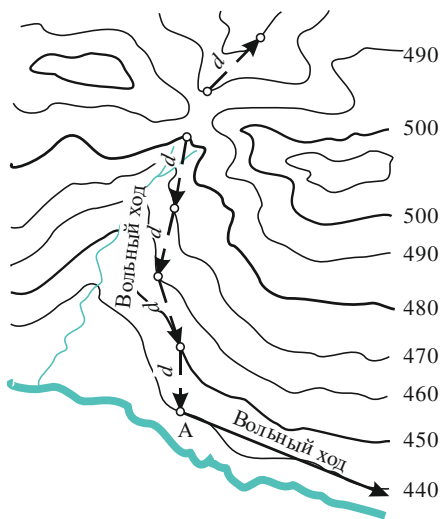


Рисунок 5.23 – Спуск с седла напряженным ходом при помощи "линии нулевых работ" (пунктир). Точка А – конец напряженного хода и начало вольного хода

нарушения шага раствором циркуля без сравнительно быстрой компенсации.

Уложив линию заданного уклона ходом «под циркуль», переходят к проектированию плана линии. При этом при трассировании по картам масштабов 1 : 25000 и 1 : 50000 укладываются только круговые кривые, подбор радиусов которых производится при помощи специальных лекал, изготовленных, как правило, из целлулоида, с нанесенными на них наиболее употребительными стандартными радиусами (рисунок 5.29). Начало и конец кривых устанавливаются графически по принятому радиусу и величине угла поворота трассы. Величина угла измеряется транспортиром, а значения длины кривой и тангенсов принимаются по специальным таблицам для разбивки кривых [4].

следует иметь в виду, что при прокладке трассы можно не всегда выдерживать шаг трассирования. Например, при трассировании участка линии в пределах пересечения лога с устройством насыпи (рисунок 5.25) или водораздела с устройством выемки (рисунок 5.26).

Шаг трассирования может быть нарушен также при укладке трассы по однообразному спуску или подъему, если имеющее место более редкое расположение горизонталей позволяет сравнительно быстро (за 2–3 шага циркулем) компенсировать его недобор (рисунок 5.27).

Однако чем большее число раз подряд будет нарушен шаг проектирования и чем позже удастся компенсировать это нарушение, тем более затяжными получатся выемки или насыпи (рисунок 5.28). Поэтому следует иметь в виду недопустимость

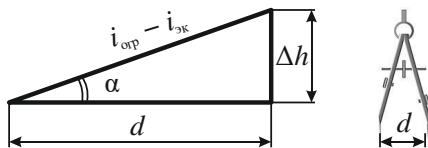
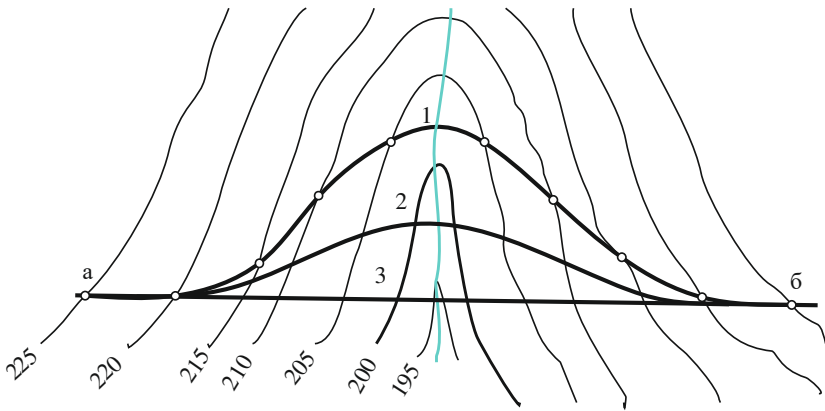
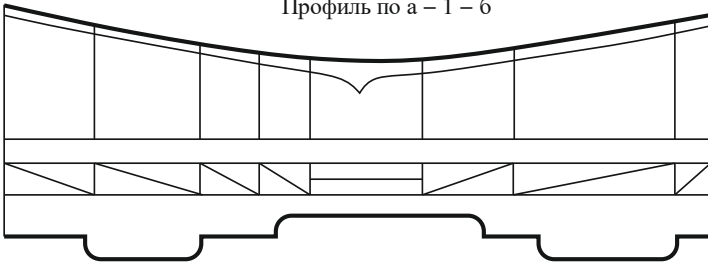


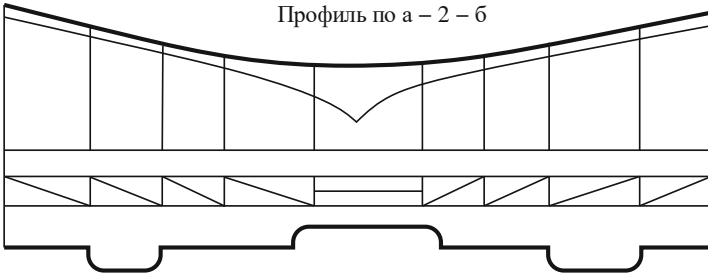
Рисунок 5.24 – Определение горизонтального заложения линии заданного уклона



Профиль по а – 1 – б



Профиль по а – 2 – б



Профиль по а – 3 – б

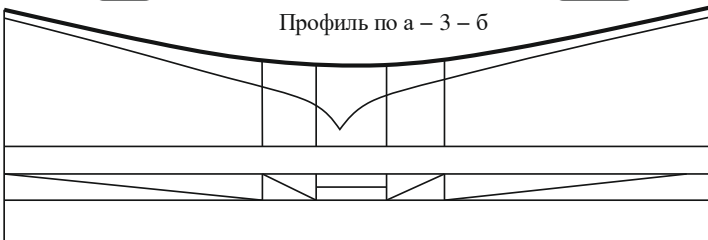
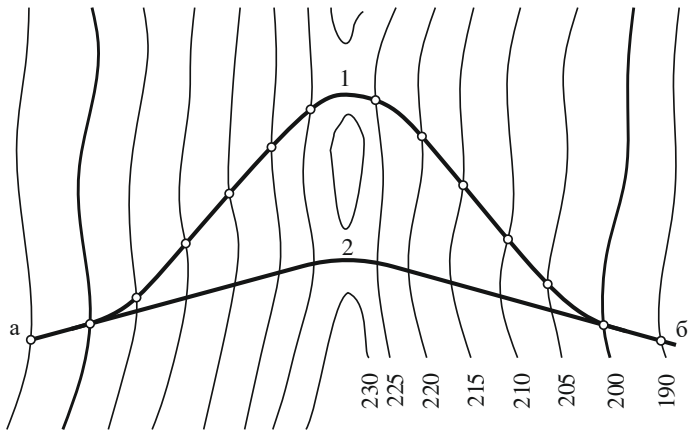
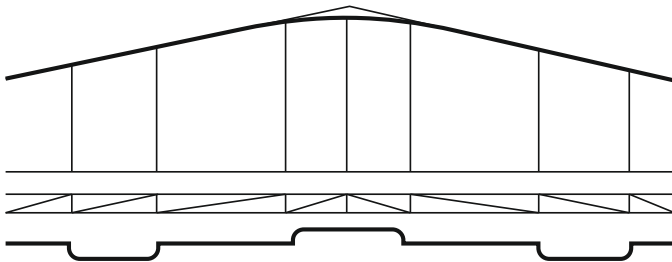


Рисунок 5.25 – Укладка трассы при пересечении лога



Профиль по а – 1 – б



Профиль по а – 2 – б

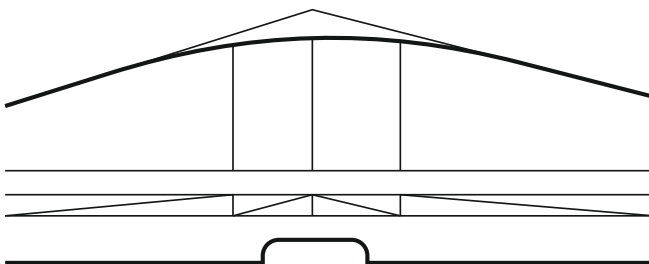


Рисунок 5.26 – Укладка трассы при пересечении водораздела

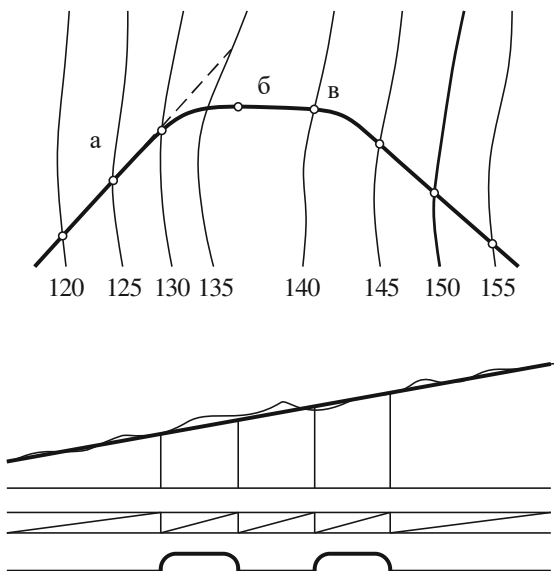


Рисунок 5.27 – Нарушение шага трассирования при однообразном подъеме

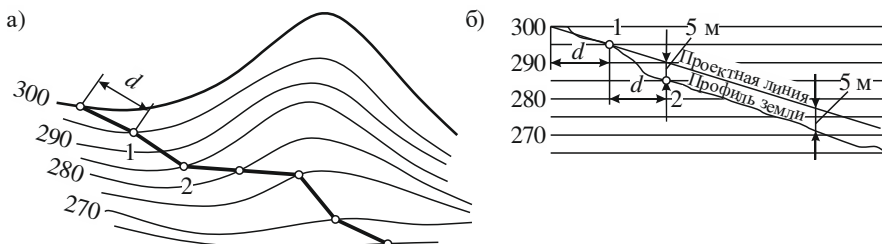


Рисунок 5.28 – Неправильная укладка линии нулевых работ:
а – план; б – продольный профиль

На участках вольных ходов, где средний естественный уклон местности меньше принятого руководящего уклона, применения каких-либо особых приемов трассирования не требуется, поэтому задача трассирования на таких участках сводится к проложению линии между фиксированными точками без отклонения или с минимальным отклонением от намеченного кратчайшего направления, руководствуясь основными требованиями, изложенными в подразд. 5.4.

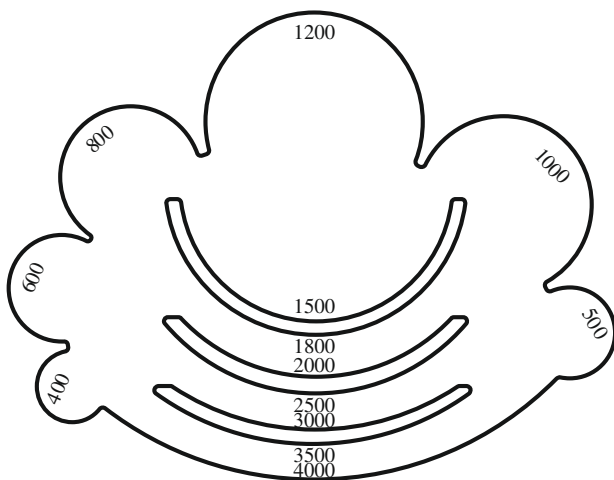


Рисунок 5.29 – Шаблон круговых кривых
(цифрами указаны радиусы кривых в метрах)

Основным приемом укладки трассы по картам в горизонталях на участках вольного хода является так называемый «метод попыток», суть которого заключается в следующем:

- укладывается трасса по возможно более спрямленному направлению и составляется продольный профиль;
- производится анализ продольного профиля и выявляются наиболее целесообразные отклонения трассы от кратчайшего направления в местах контурных и высотных препятствий;
- трассируются в случае необходимости обходные варианты, улучшающие первоначальный вариант.

После наколки профиля земли и нанесения проектной линии на схематический продольный профиль начального участка с соблюдением всех необходимых требований, изложенных в подразд. 4.1–4.5, и, убедившись, что план и продольный профиль запроектированы удачно, переходят к трассированию следующих 3–5 км линии.

На рисунке 5.30 приведен фрагмент схематического продольного профиля в масштабе карты 1 : 25000, на котором показаны отметки земли на пикетах через каждые 250 м с добавлением отметок характерных промежуточных точек. Проектные и рабочие отметки на рисунке указаны только в точках перелома проектной линии.

Технология камерального трассирования. В камеральных условиях трассирование на участках напряженного хода осуществляется в следующем порядке:

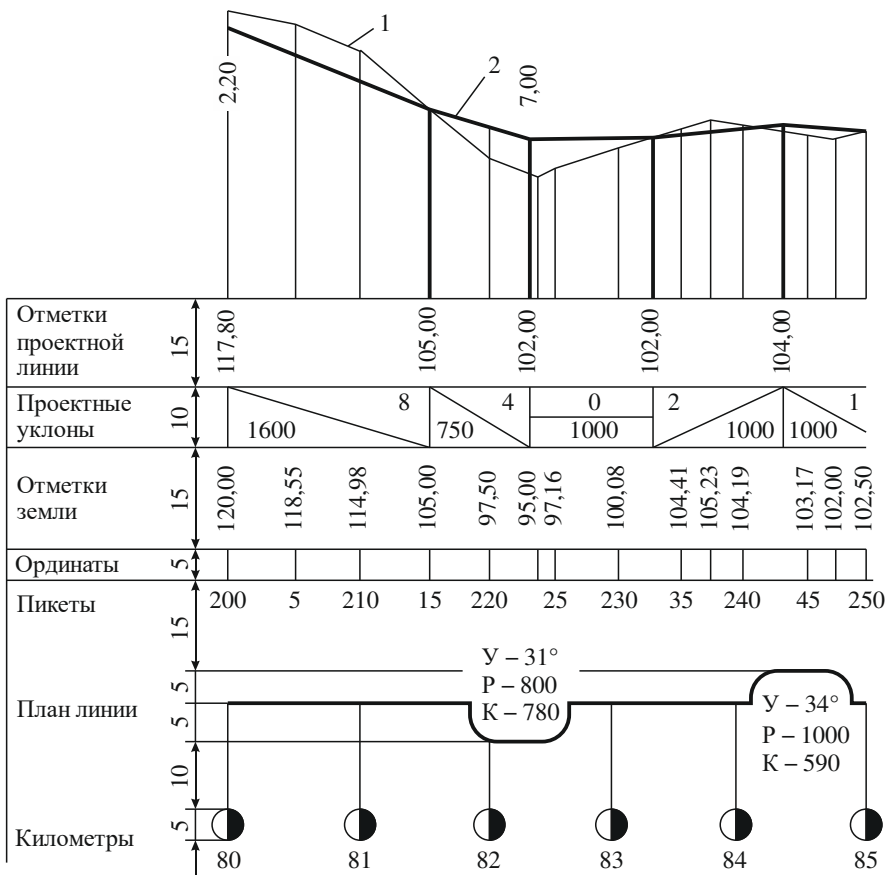


Рисунок 5.30 – Схематический продольный профиль:

1 – профиль земли; 2 – проектная линия;

масштабы: горизонтальный – масштаб карты, вертикальный – 1 : 1000

– ориентируясь на линию нулевых работ, на планшет наносится ограниченный по длине участок плана линии (3–5 км) в зависимости от сложности условий проектирования;

– от проектной отметки начальной станции или от отметки, полученной при трассировании предыдущего участка вольного хода, на схематическом продольном профиле проводится проектная линия и наносятся отметки земли по оси трассы;

– на сетку продольного профиля наносится план линии, на котором фиксируются точки начала и конца всех кривых, и в соответствии с положением кривых, их длинами и величинами радиусов смягчается руководящий уклон;

– по длине и уклонам элементов подсчитываются проектные отметки на переломах профиля с точностью до 0,01 м, окончательно наносится проектная линия и выписываются рабочие отметки на каждом пикете и в характерных точках, иллюстрирующие высоту насыпей и глубину выемок;

– заканчивается процесс трассирования данного участка разбивкой километража на плане и профиле. После этого трассируется следующий участок.

На участках вольного хода после нанесения на планшет первого участка плана трассы на продольный профиль наносятся отметки земли и подбирается наиболее удачное по сумме преодолеваемых высот и объему земляных работ положение проектной линии. Остальные пункты выполняются в той же последовательности, что и на участках напряженного хода.

Показатели трассы, плана и профиля и их анализ. Положение трассы определяет длину проектируемой линии, объемы земляных работ, типы и место размещения отдельных пунктов и искусственных сооружений, что существенно влияет на строительную стоимость дороги. Трасса также определяет сумму преодолеваемых высот, план и продольный профиль дороги, влияющие на величину эксплуатационных расходов по передвижению грузов и содержанию постоянных устройств.

Правильно запроектированная трасса может дать существенный экономический эффект, а не вполне удачный выбор направления ее может привести к весьма значительному увеличению стоимости строительства и расходов по эксплуатации.

Для выбора решения, в наибольшей степени отвечающего условиям, оговоренным в проектом задании, производится оценка вариантов. В первом приближении такая оценка осуществляется по некоторым важнейшим характеристикам, которые называются *показателями трассы, плана и профиля*. Таковыми показателями являются:

- крутизна руководящего уклона;
- длина запроектированного варианта L , определяемая путем измерения и последовательного суммирования протяжения прямых и кривых, км;
- длина по кратчайшему направлению (геодезической линии) L_0 , км;
- удлинение $\Delta L = L - L_0$, т. е. разность между фактической длиной отдельных вариантов и длиной геодезической линии, км;
- коэффициент развития (удлинения) линии $\lambda = L/L_0$, характеризующий как степень сложности рельефа, так и качество трассирования;
- протяженность участков вольного и напряженного ходов в километрах и удельный вес их в процентах по отношению к общей длине трассы;
- сумма градусов углов поворота (всего и в расчете на 1 км длины линии), характеризующая сложность плана трассы;
- сумма преодолеваемых высот в каждом направлении, м;
- минимальный и средний радиусы круговых кривых по вариантам, м;
- протяженность вредных спусков в каждом направлении, км.

6

РАЗМЕЩЕНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

6.1 Основные понятия о графике движения поездов

Основой организации движения поездов и эксплуатационной работы всех подразделений железнодорожного транспорта, гарантирующей выполнение запланированной пропускной способности линии, является **график движения поездов**, который должен обеспечивать:

- а) безопасность движения поездов;
- б) выполнение плана перевозок грузов и пассажиров;
- в) согласованность работы отдельных пунктов и прилегающих к ним участков, а также эффективное использование их пропускной способности.

Графиком движения поездов называют графическое изображение пропуска поездов по участку железной дороги. Графики движения разделяются:

- 1) по числу главных путей на перегоне – на однопутные и двухпутные;
- 2) соотношению числа поездов в грузовом и обратном направлениях – парные и непарные;
- 3) соотношению скоростей движения поездов – параллельные и непараллельные, или коммерческие (чаще называемые обыкновенными);
- 4) характеру следования поездов в попутном направлении – пакетные, пакетные и частично-пакетные;
- 5) времени занятия перегонов поездом или парой поездов – идентичные* и неидентичные.

График, у которого число поездов одного направления равно числу поездов обратного направления, называется **парным**. График, при котором все поезда в одном направлении движутся с одинаковой скоростью, т. е. графически линии движения всех поездов данного направления получаются параллельными, называется **параллельным**.

Применительно к однопутному участку железнодорожной линии рассмотрим далее только парный параллельный график (рисунок 6.1).

Степень неидентичности графиков движения зависит от степени неидентичности перегонов по времени хода поезда в направлениях *туда* (t_1) и *обратно* ($t_{об}$), величин станционных интервалов ($\sum \tau_{ст}$) и добавок времени на

* Идентичный – одинаковый, тождественный.

разгон поезда при отправлении с раздельного пункта (t_p) и на замедление при приеме его на раздельный пункт с остановкой (t_3).

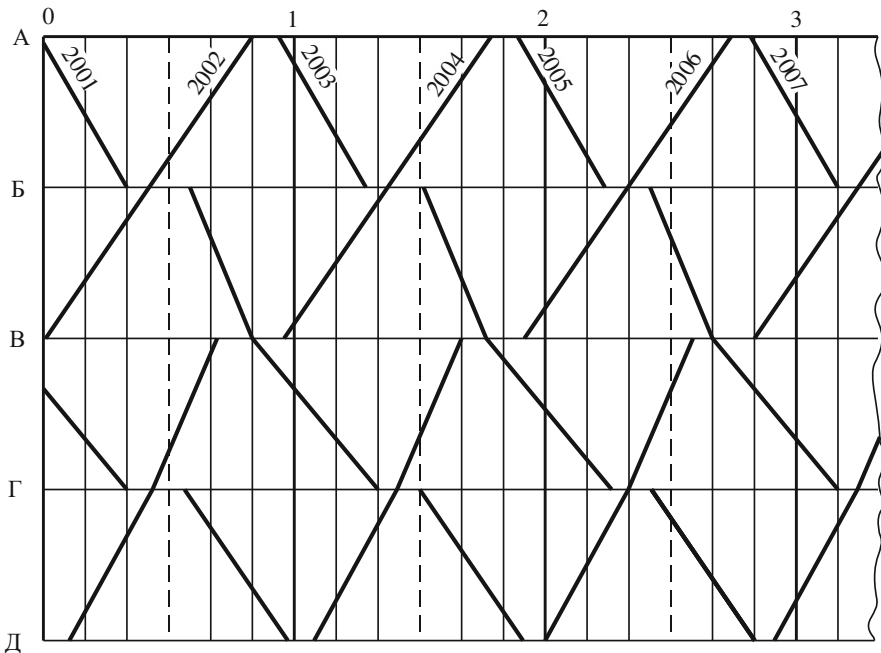


Рисунок 6.1 – Фрагмент парного параллельного однопутного графика

Интервал скрещения (τ_c) – это минимальный промежуток времени между прибытием с однопутного перегона на раздельный пункт поезда одного направления и отправлением на этот же перегон поезда встречного направления (рисунок 6.2), равный 1 мин [26].

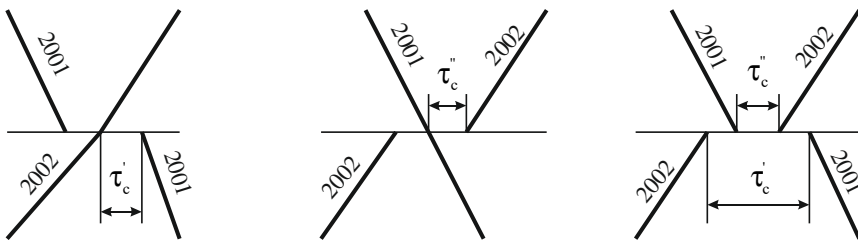


Рисунок 6.2 – Схемы интервалов скрещения

Интервал неодновременного прибытия ($\tau_{\text{нп}}$) – минимальный промежуток времени, который может быть допущен между прибытием на один и тот же раздельный пункт встречных поездов (рисунок 6.3), принимаемый для предварительных расчетов равным 2–3 мин [26].

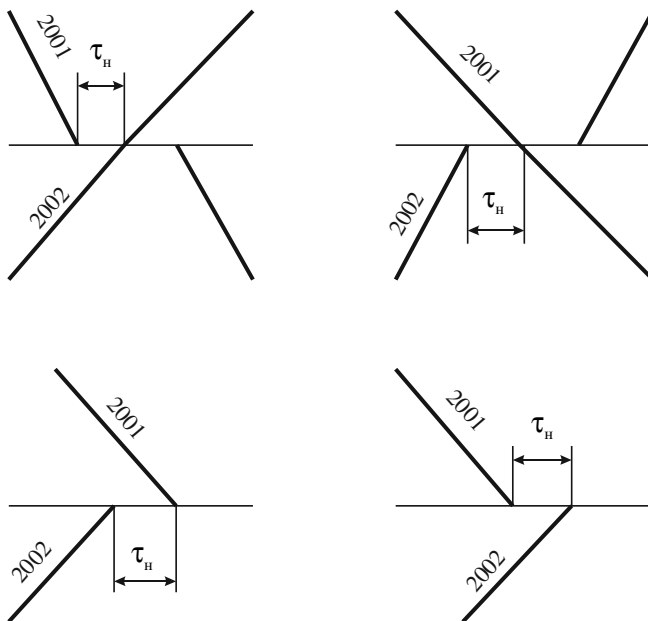


Рисунок 6.3 – Схемы интервалов неодновременного прибытия

Суммарное время на разгон и замедление зависит от продольного профиля на раздельном пункте и на подходах к нему, вида тяги, массы состава и изменяется в пределах от 2 мин при расположении раздельного пункта на «горбе» до 10 мин при расположении его в «яме», ограниченной руководящими уклонами [11]. Для предварительных расчетов это время можно принимать равным 3 мин.

6.2 Раздельные пункты и их назначение

Начальные и конечные операции перевозочного процесса на железных дорогах производятся на **раздельных пунктах**, основной задачей которых является обеспечение потребной пропускной способности линии при безусловном соблюдении безопасности движения.

Некоторые раздельные пункты выполняют только эту задачу и поэтому не имеют специального путевого развития. К их числу относятся проходные светофоры при автоблокировке, путевые посты при полуавтоматической блокировке и границы блок-участков при автоматической локомотивной сигнализации, применяемой как самостоятельное средство сигнализации и связи [28].

К раздельным пунктам с путевым развитием на однопутных железных дорогах относятся разъезды и станции.

Разъезды – это раздельные пункты, имеющие небольшое путевое развитие, обеспечивающее скрещение встречных и обгон попутных поездов, а при необходимости – также посадку и высадку пассажиров.

Станции по техническим признакам делятся на промежуточные, участковые и сортировочные.

На *промежуточных станциях* производятся прием, отправление, пропуск, скрещение и обгон грузовых и пассажирских поездов, маневровая работа по прицепке и отцепке вагонов от сборных поездов и уборке или подаче их к погрузочно-выгрузочным пунктам или на подъездные пути (при наличии последних), а также посадка и высадка пассажиров. Расстояние между промежуточными станциями колеблется в пределах 6–15 км.

Участковые станции располагают на границах тяговых участков локомотивов, у крупных населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, пересечений с существующими путями сообщений. Эти станции по своей конструкции отличаются от промежуточных, прежде всего, размерами своих путевых устройств. На участковых станциях помимо операций, выполняемых на промежуточных станциях, производятся также смена локомотивов и локомотивных бригад, контрольно-технический и коммерческий осмотр вагонов и устранение мелких неисправностей, формирование и расформирование сборных и участковых поездов и др. Расстояние между участковыми станциями желательно принимать не менее 400–500 км.

Сортировочные станции имеют своей главной задачей формирование и расформирование из концентрирующихся на них вагонных потоков поездов различных категорий, следующих без переработки на достаточно большие расстояния (500–800 км при тепловозной тяге и 700–1000 км – при электрической), а также сборных и вывозных поездов, отправляемых на прилегающие к этой станции участки.

Помимо деления по техническим признакам железнодорожные станции делятся также по характеру работы на грузовые, пассажирские и объединенные, располагающиеся, как правило, вблизи крупных городов. В число грузовых входят и специальные станции: портовые, элеваторные, угольные, нефтеналивные и др.

Проектирование и размещение станций рассматривается в отдельном курсе «Железнодорожные станции». В данном пособии речь идет о проектировании железнодорожной линии, поэтому далее рассматриваются только вопросы, связанные с размещением промежуточных станций и разъездов, так как это оказывает влияние на условия проектирования плана и профиля между этими раздельными пунктами.

6.3 Длина станционных площадок на раздельных пунктах

Длина площадки раздельного пункта (станции, разъезда) зависит от его назначения, категории проектируемой железной дороги, принятой схемы путевого развития, полезной и полной длины приемо-отправочных путей с учетом перспективы.

Назначение раздельного пункта определяет объем и характер выполняемой на нем работы (прием, управление и скрещение поездов, посадка и высадка пассажиров, погрузка и выгрузка грузов и др.).

Категория дороги влияет на число приемо-отправочных путей, количество стрелочных переводов, а значит, на длину каждого из них и общую протяженность станционных горловин.

Схемы путевого развития на раздельном пункте могут быть продольными (с последовательным расположением путей), полупродольными (со смещенным расположением путей) и поперечными (с параллельным расположением путей) (рисунок 6.4). В связи с существенными эксплуатационными преимуществами продольным и полупродольным схемам на вновь проектируемых линиях, как правило, отдается предпочтение. Длина площадок на таких раздельных пунктах определяется по типовым проектам с учетом перспективного развития. Но зачастую длина этих площадок достаточна велика (от 1800 м на разъездах до 2900 м на промежуточных станциях), что вызывает значительные затруднения при их проектировании и увеличение стоимости строительства, особенно в сложных топографических условиях. При поперечной схеме длина раздельного пункта короче (в пределах 1300 м на разъездах и 1600 м на промежуточных станциях), но значительно хуже условия для одновременного приема поездов встречных направлений. Поэтому раздельные пункты с поперечным расположением приемо-отправочных путей проектируют чаще на линиях IV категории.

Полезная длина приемо-отправочного пути ($l_{по}$) – это та часть любого станционного пути, в пределах которой устанавливается поезд, не нарушая безопасности движения по соседним путям. Полезная длина измеряется либо между предельными столбиками с обеих сторон пути, либо между предельным столбиком с одной стороны и выходным или маневровым светофором –

с другой (рисунок 6.5). Если путь используется для приема и отправления поездов и четного, и нечетного направлений движения, то его полезная длина определяется отдельно для каждого направления.

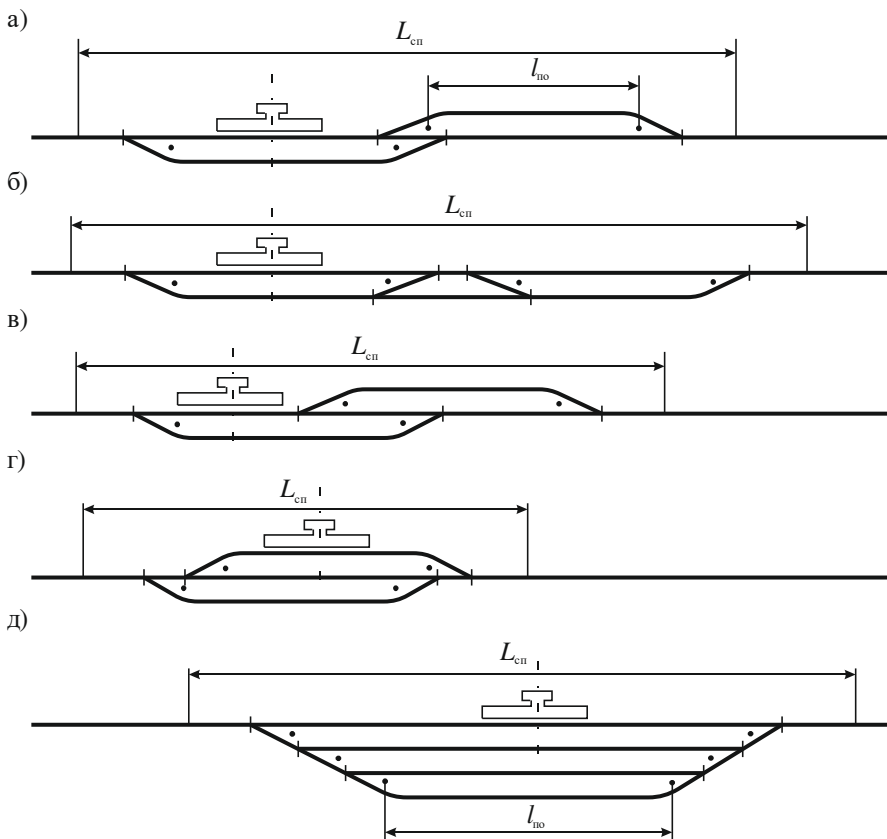


Рисунок 6.4 – Схемы размещения приемо-отправочных путей на раздельном пункте:

- a* – продольная схема с разносторонним расположением приемо-отправочных путей;
- б* – продольная схема с односторонним размещением приемо-отправочных путей;
- в* – полупродольная схема; *г* – поперечная схема с двумя приемо-отправочными путями;
- д* – поперечная схема с пятью приемо-отправочными путями

Полезная длина путей на проектируемой дороге устанавливается в соответствии с длиной поездов, предусматриваемых проектом к обращению на ней в первые годы эксплуатации и на перспективу, а также с учетом унификации с полезной длиной путей на линиях примыкания к существующей железнодорожной сети. Исходя из этих условий, она согласно Своду правил должна приниматься равной 850, 1050, $2 \times 850 = 1700$, $2 \times 1050 = 2100$ м [29].

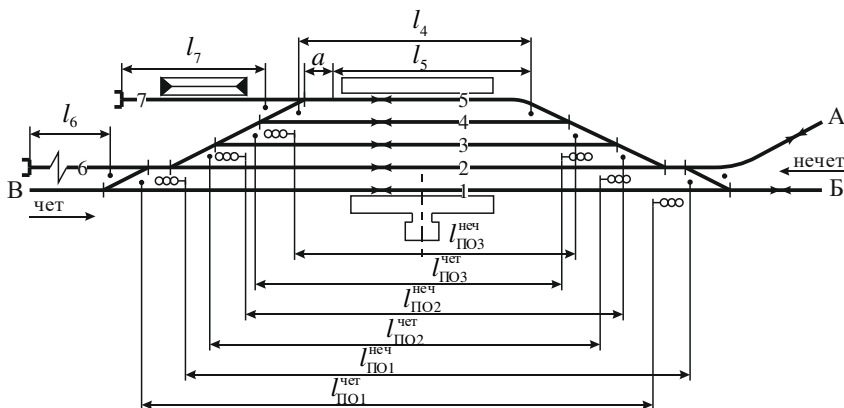


Рисунок 6.5 – Схема определения полезной длины путей

Полной длиной сквозного станционного пути считается расстояние между стыками рамных рельсов входного и выходного стрелочных переводов, ограничивающих данный путь, а тупикового – расстояние от стыка рамного рельса стрелочного перевода, ведущего на этот путь, до упора.

Общая длина путей на раздельном пункте подсчитывается для того, чтобы определить потребность в материалах верхнего строения пути.

Длина станционных площадок раздельных пунктов ($L_{ст}$) должна быть не менее указанной в таблице 6.1, где она приведена без учета тангенсов вертикальных кривых, величина которых должна быть прибавлена в зависимости от алгебраической разности уклонов, сопрягаемых со станционной площадкой (рисунок 6.6).

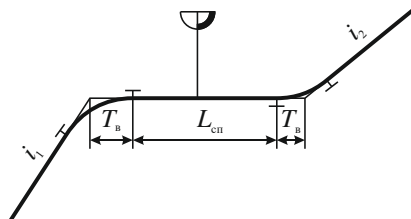


Рисунок 6.6 – Продольный профиль по концам раздельного пункта

Т а б л и ц а 6.1 – Длина станционных площадок раздельных пунктов

Категория линии	Расположение приемо-отправочных путей	Минимальная длина станционных площадок (для новых линий), м, при полезной длине приемо-отправочных путей 1050 м
<i>На разъездах</i>		
Скоростные, особогрузонапряженные, I, II, III	Продольное	2450
То же	Полупродольное	1800
“	Поперечное	1450
IV	“	1300

Окончание таблицы 6.1

Категория линии	Расположение приемо-отправочных путей	Минимальная длина станционных площадок (для новых линий), м, при полезной длине приемо-отправочных путей 1050 м
<i>На промежуточных станциях</i>		
Скоростные, особогрузонапряженные, I, II, III	Продольное	2900
То же	Полупродольное	2200
“	Поперечное	1650
IV	“	1450
<i>На обгонных пунктах</i>		
Скоростные, особогрузонапряженные, I, II	Продольное	2600
То же	Полупродольное	1900
“	Поперечное	1500
<i>На участковых станциях</i>		
Скоростные, особогрузонапряженные, I, II, III	Продольное	4000
То же	Полупродольное	2850
“	Поперечное	2400
IV	“	2000

6.4 Пропускная способность. Размещение отдельных пунктов на однопутных дорогах

Наличной (возможной) пропускной способностью участка железной дороги согласно [26] называется максимальное число грузовых поездов (пар поездов) установленных весовой нормы и длины, которое может быть пропущено по этому участку в единицу времени (сутки, час) в зависимости от технического оснащения участка и принятого на нем способа организации движения поездов.

Наличная пропускная способность однопутного участка определяется для каждого перегона при парном параллельном непакетном графике движения поездов делением бюджетного времени, установленного в течение суток, на период графика, т. е.

$$N = \frac{1440}{T}, \quad (6.1)$$

где 1440 – число минут в сутках;

T – период графика, мин.

Периодом графика однопутного участка называется время занятия его группой поездов, характерной для данного типа графика и схемы пропуска поездов через отдельные пункты.

Величина расчетного периода (в мин) по окончательно принятой схеме

$$T = t_{\tau} + t_{об} + \sum \tau_{ст} + t_{пз}. \quad (6.2)$$

Определение потребной (расчетной) пропускной способности участка производится по перегону, имеющему максимальное значение периода графика. Такой перегон называется *ограничивающим*, т. е. лимитирующим пропускную способность.

Если на рассматриваемом участке имеется несколько перегонов, близких к максимальному по суммарному времени хода в обоих направлениях, но существенно отличающихся по сумме станционных интервалов, то ограничивающий перегон устанавливается путем разработки нескольких вариантов пропуска поездов через отдельные пункты.

На рисунке 6.7 приведены четыре варианта наиболее часто встречающихся схем прокладки поездов на графике движения.

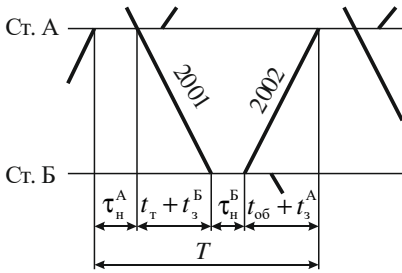
Реально возможная пропускная способность перегонов (пар поездов в сутки) будет меньше максимально возможной из-за необходимости учитывать в расчетах продолжительность технологического «окна» ($t_{тех}$, мин), а также коэффициент надежности работы технических средств дороги (α_n), принимаемый в зависимости от периода графика равным 0,94–0,96 [26], т. е.

$$N_B = \frac{(1440 - t_{тех}) \alpha_n}{T}. \quad (6.3)$$

Под технологическим «окном» понимается свободный от пропуска поездов промежуток времени, ежесуточно предоставляемый в графике движения поездов для выполнения работ по текущему содержанию и ремонту железнодорожного пути, контактной сети, устройств сигнализации, централизации, блокировки и связи. Продолжительность «окна» зависит: от грузонапряженности линии; уровня технической оснащенности железнодорожных служб, обеспечивающих производство работ; принятой технологии; типа используемых машин и механизмов и согласно [26] должна составлять на однопутных участках 60–90 мин. Из формулы видно, что чем больше период графика T , а следовательно, и его основная составляющая – время хода по перегону ($t_{\tau} + t_{об}$), тем меньше будет пропускная способность. Выходит, что чем короче перегон, тем меньше будет суммарное время хода по нему поезда, а в итоге выше будет пропускная способность.

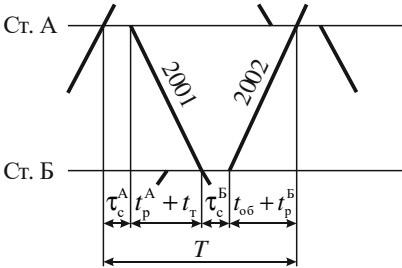
Но следует иметь в виду, что на длину перегона существенное влияние оказывают и такие факторы, как топографические условия района проектирования, род тяги и масса поезда. Так, например, чем сложнее рельеф местности, тем выгоднее назначать большую длину перегона, чтобы уменьшить затраты на сооружение отдельного пункта, особенно на участках напряженного хода; большая длина перегона на электрифицированных линиях объясняется более высокими скоростями движения поездов при этом виде тяги; с повышением массы поезда длину перегона выгоднее увеличивать, так как с повышением массы поездов дорожке обходятся и их стоянки на отдельных пунктах.

Схема 1



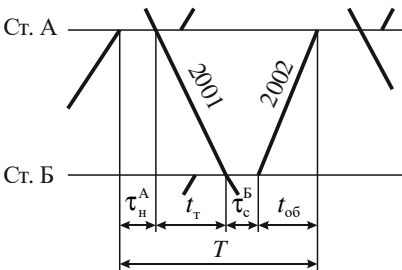
$$T = t_T + t_{об} + \tau_H^A + \tau_H^B + t_3^A + t_3^B$$

Схема 2



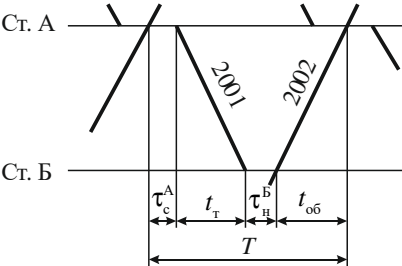
$$T = t_T + t_{об} + \tau_c^A + \tau_c^B + t_p^A + t_p^B$$

Схема 3



$$T = t_T + t_{об} + \tau_H^A + \tau_c^B + t_p^B + t_3^A$$

Схема 4



$$T = t_T + t_{об} + \tau_c^A + \tau_H^B + t_p^A + t_3^B$$

Рисунок 6.7 – Варианты пропуска поездов через отдельные пункты

Кроме того, частые остановки влекут за собой дополнительные затраты энергии локомотива на разгон и замедление, повышенный износ ходовых частей подвижного состава из-за необходимости применения торможения, увеличение потребности в локомотивах и вагонах. В конечном итоге возрастут строительные и эксплуатационные расходы.

Для однопутных магистральных железных дорог, имеющих общесетевое значение, т. е. для линий I и II категорий, которые в ближайшие 15 лет предусматривается переустроить в двухпутные, наименьшая пропускная способность указывается в задании на проектирование вместе с массой вагонного состава и типом локомотива. Это обусловлено тем, что при проектировании таких магистралей требуется унификация пропускной способности в пределах всего направления, в состав которого входит проектируемая линия.

В практике проектирования однопутных железных дорог при скрещении поездов с остановками работы по размещению отдельных пунктов обычно выполняются в определенной последовательности.

1 В соответствии с указанной в задании на проектирование или выбранной на основе технико-экономических расчетов пропускной способностью рассчитывается допустимое время хода пары поездов (мин) между смежными отдельными пунктами:

$$(t_{\tau} + t_{об})_p = \frac{1440}{N} - 2\tau_{ст} - t_{пз}. \quad (6.4)$$

2 Проектируется план и продольный профиль очередного перегона в соответствии с требованиями, изложенными в разд. 4.

3 С помощью метода установившихся скоростей ведется подсчет фактического времени хода пары поездов по перегону путем последовательного суммирования времени хода по каждому из запроектированных элементов профиля.

4 Предварительно положение оси станционной площадки отдельного пункта отмечается на профиле точкой, для которой выполняется равенство

$$t_p = \sum_1^n (t_{\tau} + t_{об})_i + t_{пз}, \quad (6.5)$$

где n – число элементов продольного профиля на проектируемом перегоне;

l_i – длина i -го элемента профиля, запроектированного определенным уклоном, км.

5 Полученное фактическое значение времени хода сравнивается с расчетным, и в зависимости от результатов сравнения предварительно обозначенная ось отдельного пункта может быть смещена в ту или иную сторону с некоторым изменением в случае необходимости плана и профиля линии как на перегоне, так и на самом отдельном пункте.

Только окончательно установив положение оси раздельного пункта, ограничивающего предшествующий перегон, можно приступать к проектированию плана и профиля линии на следующем перегоне и размещению следующего раздельного пункта.

При предварительном размещении раздельных пунктов с использованием метода установившихся скоростей необходимо иметь в виду следующие дополнительные факторы.

Возможное в трудных условиях отступление от расчетного времени хода пары поездов по перегону допускается только в меньшую сторону, но не более чем на 1–2 мин, так как более значительное его уменьшение на отдельных перегонах не только не увеличит пропускную способность всей линии, но и может привести к неидентичности перегонов, увеличению количества раздельных пунктов, а значит, и к увеличению числа и продолжительности стоянок поездов на них при скрещении. Необходимость уменьшения времени ходу по сравнению с расчетным должна быть оправдана в проекте улучшением плана линии, значительным сокращением объемов земляных работ и т. п.

На перегонах, примыкающих к участковым станциям, имеющим большое путевое развитие и выполняющим значительно больший объем работы, чем промежуточные станции, а тем более разъезды, фактическое время хода пары поездов должно быть уменьшено не менее чем на 4 мин по сравнению с расчетным для создания большей маневренности в работе этих станций.

В связи с тем, что метод установившихся скоростей не учитывает инерции поезда, фактическое время хода пары поездов на перегонах в виде «ямы», образованной ограничивающими или близкими к ним уклонами, может быть увеличено по сравнению с расчетным примерно на 4–5 мин при электрической тяге и на 6–8 мин – при тепловозной тяге. Большая добавка при тепловозной тяге объясняется большей разницей у тепловозов между расчетной и максимальной скоростями.

На дорогах местного значения (III и IV категорий), на которых объемы перевозок значительно меньше, чем на магистральных линиях, не требуется добиваться столь высокой идентичности перегонов, следовательно, обязательного обеспечения унифицированных размеров пропускной способности. Поэтому на дорогах III и IV категории нормами проектирования допускается при размещении площадок раздельных пунктов исходить лишь из условия обеспечения размеров грузовых и пассажирских перевозок десятого года эксплуатации с учетом темпов их роста в перспективе. Установление именно такого расчетного срока обусловлено тем обстоятельством, что усиление пропускной способности дороги в условиях её эксплуатации весьма затруднительно, и для освоения растущих размеров перевозок потребуется достаточно продолжительный период.

Соответствующие этим условиям размеры расчетной пропускной способности с учетом всех видов поездов, предусматриваемых к обращению на проектируемой линии

$$N_p = \frac{\Gamma_{гр(10)} 10^6 \gamma}{365 Q_n} + \sum_1^k n_{пр} \epsilon_{пр}, \quad (6.6)$$

где $\Gamma_{гр(10)}$ – грузонапряженность нетто в грузовом направлении на 10-й год эксплуатации, млн. т·км/км в год;

γ – коэффициент внутригодовой неравномерности перевозок ($\gamma \geq 1$);

Q_n – средняя масса состава нетто грузового поезда, т;

$n_{пр}$ – число прочих поездов (пассажирских, сборных, ускоренных), предусматриваемое графиком движения на 10-й год эксплуатации, помимо грузовых поездов основного потока, пар поездов в сутки;

$\epsilon_{пр}$ – коэффициент съема грузовых поездов с графика движения поездами других категорий ($\epsilon > 1$);

k – число этих категорий.

Наличная пропускная способность проектируемого перегона для линий III и IV категорий

$$N_n = \frac{(1440 - t_{тех}) \alpha_n k_p}{T}, \quad (6.7)$$

где $t_{тех}$ – продолжительность технологического «окна», мин;

α_n – коэффициент надежности работы технических средств, принимаемый в зависимости от периода графика равным 0,94–0,96 [26];

k_p – коэффициент использования пропускной способности для компенсации внутрисуточных колебаний размеров движения и эксплуатационных отказов в работе проектируемой однопутной линии, равный 0,85 [29].

Значение периода T для линий местного значения принимается для того типа графика движения, который намечен на десятый год эксплуатации.

Для этих линий в начале размещаются площадки станций по условиям обеспечения транспортных нужд экономических центров района проектирования, затем определяется потребная пропускная способность десятого года эксплуатации для парного параллельного непакетного графика по формуле (6.6) и подсчитывается допускаемая норма времени хода грузового поезда «туда» и «обратно» между смежными станционными площадками отдельных пунктов по запроектированным элементам продольного профиля перегона.

Дальнейшая работа по размещению раздельных пунктов осуществляется в той же последовательности, что и для линий I и II категорий.

6.5 Проектирование плана на раздельных пунктах

При проектировании новых железных дорог площадки раздельных пунктов с путевым развитием (промежуточных станций и разъездов) в плане следует, как правило, располагать на прямых участках пути. Это требование обусловлено тем, что при расположении приемо-отправочных путей в пределах их полезной длины на кривых ухудшается видимость станционных сигналов и стрелочных переводов на маршруте следования поезда, возникает дополнительное сопротивление движению от кривой, ухудшаются условия трогания поезда с места и условия производства маневровой работы, затрудняются условия укладки стрелочных переводов и развития раздельного пункта в перспективе.

При необходимости расположения раздельного пункта на кривой необходимо стремиться к применению кривых возможно больших радиусов, в особенности в пределах расположения станционных сигналов и стрелочных переводов. В трудных топографических условиях, когда размещение на прямых связано со значительным удлинением линии, увеличением объемов работ и стоимости строительства железной дороги, нормами проектирования допускается размещать раздельные пункты на кривых радиусом не менее: 2000 м – на скоростных линиях; 1500 м – на магистральных линиях I и II категорий; 1200 м – на линиях особогрузонапряженных, III и IV категорий. В особотрудных условиях, при соответствующем обосновании в проекте, допускается уменьшать радиус кривой: до 600 м – на линиях особогрузонапряженных, III и IV категорий и до 500 м – в горных условиях.

Расположение нескольких кривых в пределах одного приемо-отправочного пути возможно лишь в том случае, если все эти кривые направлены в одну сторону. Размещение раздельных пунктов на кривых, направленных в разные стороны, допускается только в виде исключения на линиях III и IV категорий при соответствующем обосновании.

В случае необходимости размещения на кривых раздельных пунктов с поперечным расположением приемо-отправочных путей эти раздельные пункты должны размещаться на кривых, направленных в одну сторону. Размещение таких раздельных пунктов на обратных кривых затрудняет для машиниста видимость хвоста поезда из кабины локомотива, расположенного в голове поезда (рисунок 6.8).

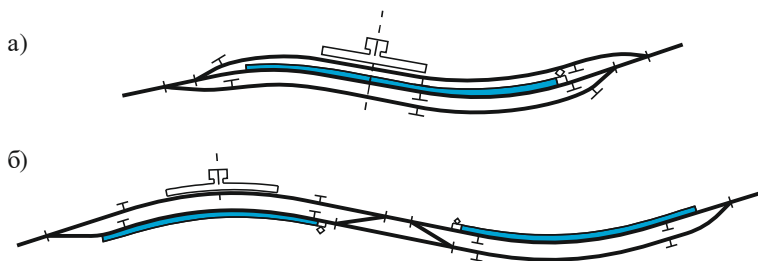


Рисунок 6.8 – Расположение площадок раздельных пунктов на обратных кривых:
а – при поперечной схеме; *б* – при продольной схеме

Раздельные пункты с продольным и полупродольным расположением путей в трудных условиях разрешается размещать на кривых, направленных в разные стороны. Но при этом для обеспечения лучшей видимости сигналов, а следовательно, и безопасности движения поездов, пути приема и отправления поездов одного направления в пределах их полезной длины должны располагаться только в пределах кривых, обращенных в одну сторону (см. рисунок 6.8).

При наличии в пределах станционной площадки кривых, направленных в разные стороны, во всех случаях должна быть обеспечена видимость, гарантирующая безопасность производства на раздельном пункте маневров операций.

Стрелочные переводы на главных путях вновь проектируемых раздельных пунктов во избежание необходимости применения специальных стрелочных переводов с криволинейными острями, усложнения условий их укладки и содержания, а также для обеспечения высоких скоростей движения поездов должны располагаться на прямых участках пути.

6.6 Проектирование продольного профиля на раздельных пунктах

На новых железнодорожных линиях раздельные пункты следует располагать на горизонтальных площадках. В отдельных случаях с целью уменьшения объемов работ и строительной стоимости допускается (при наличии обоснования в проекте) расположение их на уклонах не круче 1,5 ‰, а в трудных условиях – не круче 2,5 ‰.

Во всех случаях продольный профиль на раздельных пунктах должен обеспечивать:

- 1) удержание поездов вспомогательными тормозами локомотивов;
- 2) возможность беспрепятственной остановки поездов, идущих на спуск, в пределах полезной длины прямо-отправочных путей;

3) трогание поездов с места в сторону подъема после их остановки на раздельном пункте;

4) отсутствие самопроизвольного угона на перегон вагонов, оставленных на путях раздельного пункта без локомотива, от внезапного толчка при маневрах или под действием порывов ветра.

Необходимость *удержания поезда вспомогательными тормозами локомотива* связана с тем, что перед троганием с места поезда, стоящего на раздельном пункте, расположенном на отрицательном уклоне (спуске), отпускаются автоматические тормоза вагонного состава – и поезд в течение некоторого времени (от момента отпуска тормозов до момента приведения его в движение) должен удерживаться в неподвижном состоянии только тормозами локомотива. Величина среднего приведенного уклона i_{cp} , ‰, обеспечивающего удержание поезда тормозами локомотива, из условия равенства тормозной силы и силы отрицательного уклона, за вычетом основного удельного сопротивления движению, рассчитывается по формуле

$$i_{cp} \leq \frac{250n \sum K_p}{(nP + Q)g} + w_{тр}, \quad (6.8)$$

где n – число локомотивов в поезде;

$\sum K_p$ – сумма расчетных сил нажатия тормозных колодок локомотива, кН;

P – расчетная масса локомотива, т;

Q – масса состава вагонов, т;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$w_{тр}$ – основное удельное сопротивление движению поезда при трогании его с места, Н/кН.

В случае расположения раздельного пункта на кривой, к уклону, вычисленному по приведенной формуле, необходимо прибавить уклон, эквивалентный дополнительному сопротивлению от кривой.

Из условия обеспечения точной *остановки поезда, движущегося по спуску*, в пределах полезной длины путей наибольший уклон продольного профиля на раздельном пункте не должен превышать 10 ‰.

Значение среднего уклона раздельного пункта в пределах наименьшей длины полногрузного поезда, при котором будет обеспечено *трогание* его с места, из условия равенства силы тяги при трогании и сил сопротивления движению может быть определено из выражения

$$i_{cp} \leq \frac{nF_{к(тр)}}{(nP + Q)g} - w_{тр} - w_{ч}, \quad (6.9)$$

где n – число локомотивов в поезде;

$F_{к(тр)}$ – сила тяги при трогании с места, кН;

$w_{ч}$ – дополнительное сопротивление движению от кривой, Н/кН.

На отдельных пунктах, на которых предусматривается производство маневровых операций, как правило, необходимо учитывать возможность оставления на определенное время вагонов без локомотива, особенно если отдельный пункт расположен на уклоне и если имеет место большая ветровая нагрузка. В этом случае при проектировании продольного профиля отдельного пункта необходимо выполнить условие

$$w_{\text{уг}} \geq i_{\text{пр}},$$

где $w_{\text{уг}}$ – дополнительное сопротивление на трогание с места отдельно стоящих, легко поддающихся самопроизвольному угону вагонов, с учетом дополнительного сопротивления от кривой (если вагон расположен в ее пределах), Н/кН;

$i_{\text{пр}}$ – продольный уклон на отдельном пункте, ‰.

Предотвращение самопроизвольного угона вагонов с отдельного пункта является очень важной задачей, так как оно связано с безопасностью движения на железной дороге. С учетом этого Правилами и техническими нормами проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм [24] на отдельных пунктах рекомендуется проектировать трехэлементный профиль вогнутого (ямообразного) очертания (рисунок 6.9) с раздельной площадью $l_{\text{пл}}$, двумя противоуклонами $i_{\text{пу}}$ и одинаковыми проектными отметками по концам полезной длины прямо-отправочных путей (точки A_1 и A_2 на рисунке 6.9).

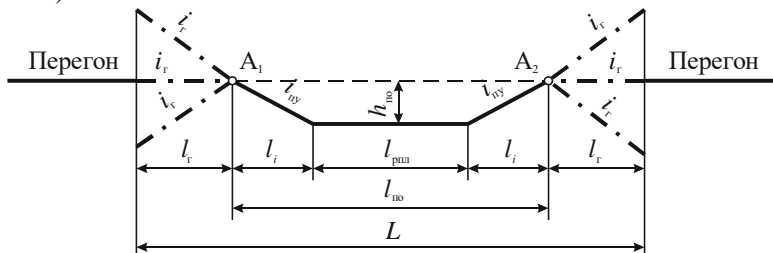


Рисунок 6.9 – Трехэлементный вогнутый продольный профиль прямо-отправочных путей:

$i_{\text{пу}}$ – крутизна противоуклонов; i_r – крутизна уклона горловины отдельного пункта; l_i – длина противоуклона; l_r – длина горловины; L – длина станционной площадки; $l_{\text{по}}$ – длина прямо-отправочного пути; $l_{\text{пл}}$ – длина раздельной площадки между противоуклонами; $h_{\text{по}}$ – глубина понижения профиля

Крутизна противоуклонов принимается в пределах 1,5–2,5 ‰, а длина их (в метрах)

$$l_{\text{пу}} = \frac{kl_{\text{по}}}{i_{\text{пу}}}, \quad (6.10)$$

где k – коэффициент, определяющий глубину понижения профиля Δh , м, отнесенную к единице полезной длины $l_{\text{по}}$, равный 0,45–0,55.

Однако при этом следует иметь в виду, что размещение отдельного пункта в «яме» нежелательно с точки зрения создания благоприятных условий для уменьшения скорости движения поездов, прибывающих на этот отдельный пункт, и возможности быстрого разгона поездов, отправляющихся с него. Поэтому в легких топографических условиях отдельные пункты, на которых большинство поездов будет иметь остановку, следует, по возможности, располагать на возвышениях профиля («горбах»). Такое решение улучшает условия трогания с места поездов, отправляющихся с этих отдельных пунктов. Участки, предшествующие входным сигналам со стороны перегона на таких отдельных пунктах, должны на протяжении, равном длине прямо-отправочных путей, иметь уклон $i_{тр}$, обеспечивающий трогание с места поезда в случае остановки его у входного сигнала (рисунок 6.10).

При электрической тяге постоянного тока продольный профиль на отдельных пунктах, на которых предусматривается остановка полногрузных поездов, должен удовлетворять еще одному дополнительному условию, суть которого заключается в следующем. Продольный профиль путей отдельного пункта, расположенного в «яме» или на «уступе» (если примыкающие к нему перегоны в сторону подъема запроектированы ограничивающим уклоном), должен обеспечивать *быстрый разгон электровоза* до расчетной скорости и выход его на автоматическую характеристику. Это достигается благодаря устройству на подходах так называемых разгонных элементов (см. рисунок 6.10) с уклоном, меньше ограничивающего. Крутизна этих элементов определяется построением кривой скорости, а длина их $l_{разг}$, м, устанавливается расчетом по приближенной формуле

$$l_{разг} = 4,17 \frac{v_p^2}{ki_{огр} - i_{ср}}, \quad (6.11)$$

где v_p^2 – расчетная скорость на ограничивающем подъеме, км/ч;

k – коэффициент, учитывающий увеличение сцепления в момент трогания с места, принимаемый равным 1,1;

$i_{огр}$ – ограничивающий уклон, принятый на проектируемой линии, ‰;

$i_{ср}$ – средний приведенный уклон на протяжении участка разгона, ‰.

Необходимость таких элементов на подходах к отдельным пунктам обусловлена следующими обстоятельствами. У электровозов расчетная скорость примерно в два раза выше, чем у тепловозов. Пуск электровоза в момент трогания с места осуществляется реостатами. Длительная работа на реостатах для достижения расчетной скорости на ограничивающем подъеме вызывает их перегрев и может вывести электровоз из строя, что недопустимо. Кроме того, продолжительное следование поезда со скоростью ниже расчетной приведет к увеличению времени занятия перегона, а следовательно, и к уменьшению пропускной способности линии.

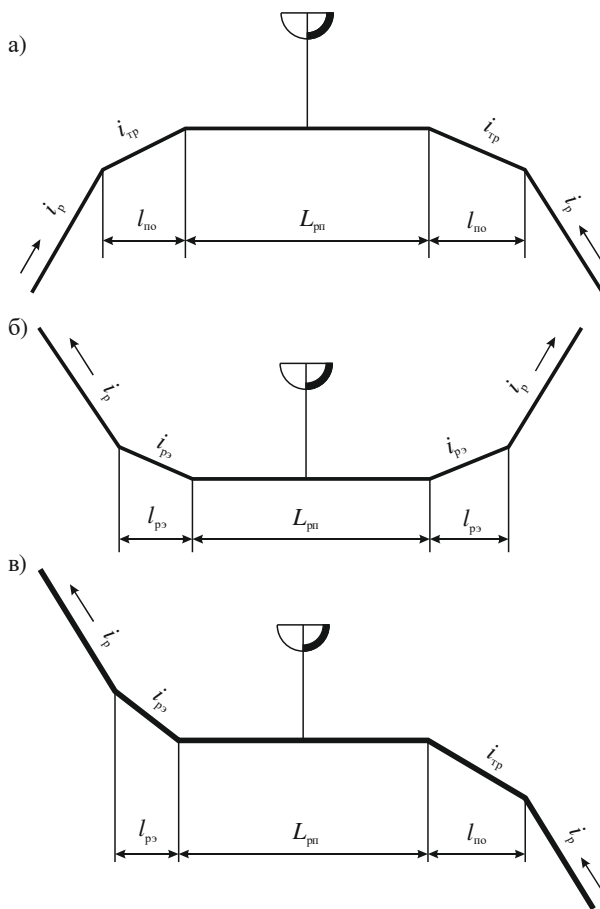


Рисунок 6.10 – Размещение площадок раздельных пунктов в различных условиях

Стрелочные горловины раздельных пунктов при невозможности расположения на указанных выше уклонах допускается располагать на уклонах, не круче ограничивающего, уменьшенного на 2 ‰, а в особо трудных условиях, при соответствующем обосновании, – и на ограничивающем уклоне.

Отдельные стрелочные переводы на главных путях раздельных пунктов за пределами горловин разрешается размещать на любом продольном уклоне до ограничивающего включительно.

7

МАЛЫЕ ВОДОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЕ ИХ НА ТРАССЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

7.1 Назначение и типы малых водопропускных сооружений

Положение трассы железной дороги связано с пересечением пониженной местности, по которым протекает поверхностная вода. Земляное полотно дороги является серьёзной преградой на пути стекания дождевых и талых вод по складкам местности, что нарушает нормальный естественный режим их протекания.

Для предохранения железной дороги от возможного насыщения водой, затопления или даже размыва, а следовательно, создания угрозы безопасности и бесперебойности движения поездов, притекающая к ней вода должна быть либо отведена в сторону от земляного полотна, либо пропущена через него. Поэтому очень важно ещё на стадии проектирования железной дороги правильно разместить водоотводные и водопропускные сооружения, выбрать их типы и рассчитать отверстия.

Водоотводные сооружения (резервы, нагорные каналы, кюветы) изучают в курсе «Железнодорожный путь», а в данном пособии рассматриваются только водопропускные сооружения.

Для пропуска воды на пересечениях железной дорогой постоянных (залив, пролив, река, ручей) или периодических (суходол, овраг, балка, заболоченная низина) водотоков устраиваются водопропускные сооружения, которые подразделяются на большие, средние и малые. Сфера использования каждого из этих сооружений зависит от местных топографических, геологических, гидравлических и других условий, определяющих количество воды, которая будет притекать к сооружению в единицу времени.

К основным видам малых водопропускных сооружений, применяемых в настоящее время в железнодорожном строительстве, относятся мосты отверстием до 25 м, трубы, дюкеры, акведуки, фильтрующие насыпи и лотки.

Расчёт малых водопропускных сооружений выполняется в соответствии с требованиями официальных нормативных документов [20, 22]. В данном пособии приводятся только краткая характеристика этих сооружений и принципы размещения их при проектировании новых железных дорог.

Малые **мосты**, устраиваемые на пересечениях железной дорогой периодических водотоков, состоят из пролётных строений и опор на фундаменте.

По материалу пролётного строения малые мосты подразделяются на железобетонные, бетонные и каменные. В современном железнодорожном строительстве наиболее часто используются стоечно- и свайно-эстакадные железобетонные мосты.

По гидравлическим условиям малые мосты могут быть прямоугольного сечения с массивными обсыпными устоями (рисунок 7.1, а) или откосными крыльями (рисунок 7.1, б), а также трапецидального сечения (рисунок 7.1, в).

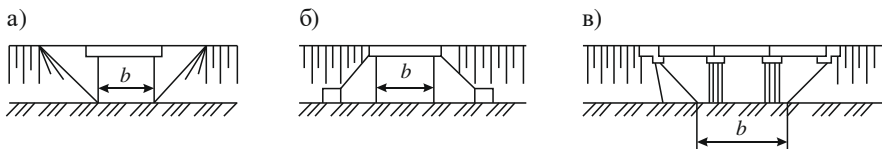


Рисунок 7.1 – Схемы малых мостов:

а – прямоугольного сечения с массивными устоями; б – прямоугольного сечения с откосными крыльями; в – трапецидального сечения

За величину отверстия у малого моста принимают расстояние в свету между его опорами – внутренними боковыми стенками или конусами подходов (расстояние b на рисунке 7.1).

Малые мосты считается целесообразным назначать при относительно малых насыпях. Сборные железобетонные мосты эстакадного типа могут сооружаться при насыпях от 2 до 8 м, а железобетонные с обсыпными устоями – от 6 до 20 м.

Труба – водопропускное сооружение, устраиваемое в теле насыпи поперек железнодорожного пути. Особенностью этого сооружения является наличие над трубой насыпи, что обеспечивает непрерывность конструкции земляного полотна.

Водопропускные трубы, используемые наиболее часто в железнодорожном строительстве, в настоящее время различаются:

- 1) по форме поперечного сечения и величине отверстия – круглые (отверстием от 1,0 до 3,0 м), прямоугольные (отверстием от 1,0 до 6,0 м);
- 2) материалу, из которого изготовлено тело трубы, – железобетонные, бетонные и металлические гофрированные (рисунок 7.2);

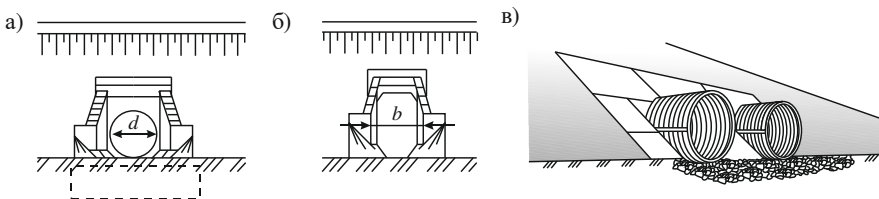


Рисунок 7.2 – Основные типы малых водопропускных труб:

а – круглая железобетонная; б – прямоугольная бетонная; в – гофрированная металлическая

3) числу параллельно поставленных труб на пересечении водотока – одно-, двух- и многоочковые.

Кроме того, водопропускные трубы по гидравлическому режиму, то есть по степени заполнения сечения трубы по её длине, бывают:

– напорные (вода заполняет всё сечение трубы по её длине);

– полунапорные (вода заполняет всё сечение трубы на входе, а на остальном протяжении между сводом трубы и уровнем воды в ней остаётся свободное пространство);

– безнапорные (на всем протяжении трубы вода не доходит до её верха).

Основным параметром водопропускной трубы является величина её отверстия, т. е. внутренний диаметр (d на рисунке 7.2, *а*) для круглой трубы или расстояние между боковыми стенками (b на рисунке 7.2, *б*) для прямоугольной.

По конструктивным соображениям круглые железобетонные и бетонные трубы могут применяться в насыпях до 19 м, а гофрированные металлические – в насыпях от 4,5 до 7,5 м в зависимости от величины отверстия.

Для пропуска воды через нулевые места, мелкие выемки и невысокие насыпи используются дюкеры и акведуки.

Дюкер чаще всего устраивается на малых зарегулированных водотоках, например оросительных каналах. Он представляет собой сооружение, состоящее из двух колодцев по обеим сторонам железнодорожного полотна и расположенной под ним трубы, соединяющей колодцы между собой (рисунок 7.3, *а*). Для возможности производства осмотра диаметр колодцев должен быть не менее 1 м.

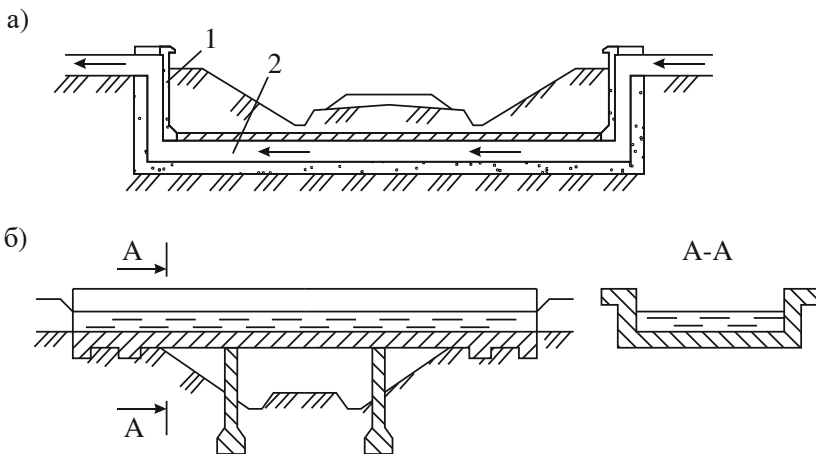


Рисунок 7.3 – Схемы дюкера (*а*) и акведука (*б*):
1 – бетонный колодец; 2 – труба

Акведук – это своего рода мост над глубокой железнодорожной выемкой, по пролётному строению которого пропускается притекающая к ней с верхней стороны вода (рисунок 7.3, б). Из-за определённых сложностей в конструкции и условиях эксплуатации сфера применения этого вида водопропускных сооружений ограничена.

Фильтрующая насыпь сооружается с прослойкой из крупных камней, через пустоты, между которыми пропускается вода (рисунок 7.4).

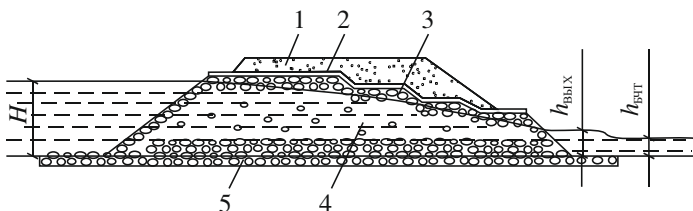


Рисунок 7.4 – Фильтрующая безнапорная насыпь:

1 – земляная часть; 2 – слой изоляции толщиной 5–10 см; 3 – свободная поверхность потока; 4 – фильтрующая часть с каменной наброской; 5 – укрепление основания

Устраивается при малом количестве притекающей к насыпи воды и отсутствии в водном потоке наледей, илистых или иных наносов, которые могли бы засорить эти пустоты.

Лоток – это небольшое, чаще всего железобетонное сооружение прямоугольного сечения отверстием 0,5–0,75 м, устраиваемое в междушпальном пространстве (рисунок 7.5) для пропуска относительно небольшого количества воды при высоте насыпи, недостаточной для укладки трубы или строительства малого моста.

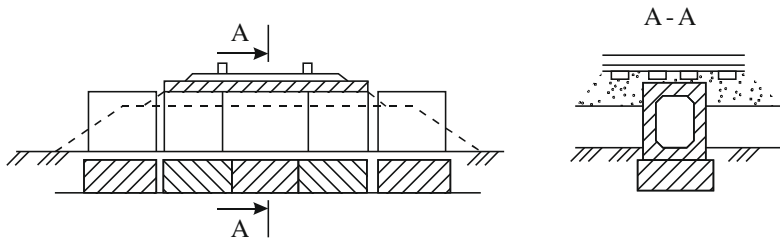


Рисунок 7.5 – Железобетонный междушпальный лоток

7.2 Размещение водопропускных сооружений по трассе. Бассейны и их характеристики

В каждом месте пересечения железной дорогой водотока в соответствии с нормативными документами [29] должно быть предусмотрено, как правило,

одно водопропускное сооружения. Пропуск через одно сооружение воды сразу двух и более соседних водотоков может практиковаться только в отдельных случаях при условии технической возможности и экономической целесообразности такого решения и наличии гарантии обеспечения надежной защиты земляного полотна и русла от размыва.

Однако сведение нескольких водотоков в одно сооружение не рекомендуется в тех случаях, когда в водном потоке, который будет стекать из одного сооружения в другое по устраиваемой для этого нагорной канаве, будут присутствовать наносы, способные вызвать заиливание канавы. Поэтому окончательное решение об объединении нескольких водотоков должно приниматься только по результатам соответствующих технико-экономических расчётов.

Бассейном водопропускного сооружения называется площадь, с которой дождевые или талые воды стекают к этому сооружению. Бассейн может быть одно- и двускатным в зависимости от количества склонов, его образующих. Такой бассейн называется простым (рисунок 7.6). При наличии склонов, расчленённых второстепенными логами, бассейн считается сложным.

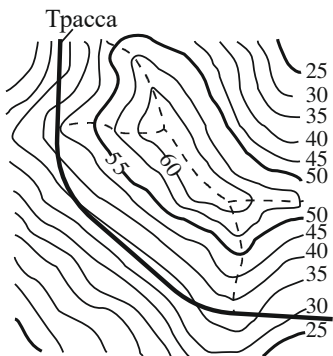


Рисунок 7.6 – Односкатный бассейн

Склонами бассейна называются боковые поверхности, расположенные между водоразделом и логом. Логом (руслом, тальвегом) бассейна называется линия, соединяющая самые низкие его точки.

Расстояние от водораздела до водопропускного сооружения, измеренное в натуре на местности или по масштабу на плане в горизонталях, называется *длиной лога*. Отношение разности отметок начала лога на водоразделе и дна лога у водопропускного сооружения называется *уклоном дна лога*.

Чтобы определить площадь бассейна, необходимо очертить его границы по контуру. Для оконтуривания бассейна следует прежде всего установить на плане положение **главного и боковых водоразделов**, которые и являются соответственно его верхней и боковыми границами (на рисунке 7.7 площадь заштрихована, а водораздельные линии показаны пунктиром). Нижней границей бассейна является трасса железной дороги.

В практике проектирования новых железных дорог задача установления мест размещения водопропускных сооружений и определения границ бассейнов решается в следующей последовательности.

Предварительно на запроектированном продольном профиле намечаются все пониженные места, пересекаемые трассой железной дороги (точки *а*, *б* на

рисунке 7.7, а) и водораздельные точки, определяющие границы склонов, с которых вода будет стекать к данному водопропускному сооружению (точки 1, 2 на рисунке 7.7, а). Затем эти точки переносятся на план в горизонталях (рисунке 7.7, б) и устанавливаются границы бассейна.

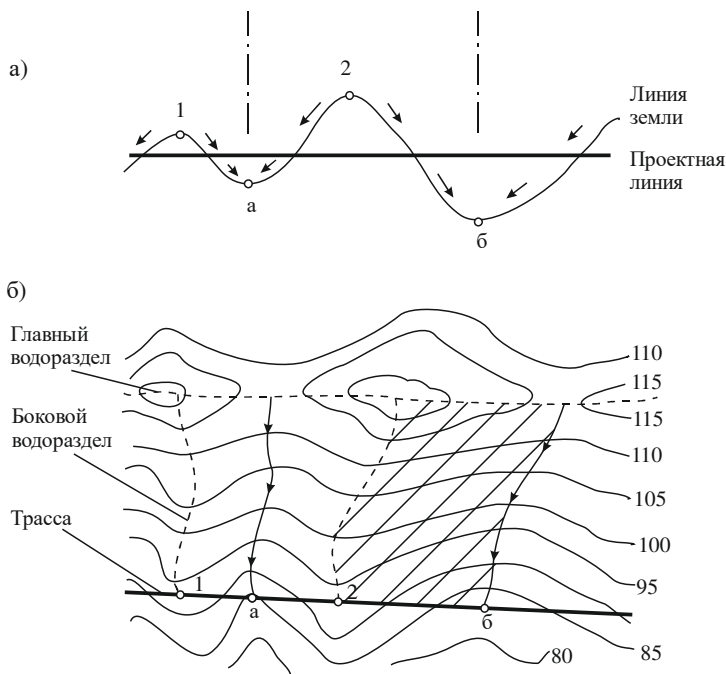


Рисунок 7.7 – Построение границ водосбора:

- a – профиль; b – план;
- граница водосбора;
- → направление стока воды по дну лога

К основным геометрическим характеристикам бассейна относятся: площадь бассейна (F , км²), длина главного лога (L , км), уклон дна главного лога (i , ‰), суммарная длина второстепенных логов ($\sum L$, км), средний уклон склонов ($i_{ср}$, ‰), площадь живого сечения бассейна (ω , м²). Кроме этого, на количество воды, которая будет притекать к водопропускному сооружению, большое влияние оказывают: почвенная и геологическая структура земной поверхности площади бассейна, наличие на нём растительности, озёр и болот, а также характеристики гидравлической шероховатости поверхности главного русла и склонов.

Все эти характеристики получают путём обхода бассейнов в полевых условиях и по картам в горизонталях – при камеральном трассировании железных дорог.

После получения указанных характеристик решаются последовательно две основные задачи: вначале определяются объем воды, притекающий к водопропускному сооружению за весь период дождя, ливня или таяния снега, и количество её, которое притечёт к сооружению в единицу времени, а затем выбирается тип малого водопропускного сооружения и величина его отверстия.

Выбор типов и установление отверстий водопропускных сооружений являются очень важными и ответственными задачами, так как принятые в результате их решения сооружения должны гарантировать безопасную и бесперебойную работу запроектированной железной дороги.

Подробное описание порядка и методики решения этих задач приведено в учебниках [6, 11, 12, 19, 21, 25, 34].

8

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

8.1 Типы сооружений на пересечении железной дорогой водных препятствий

При проектировании железнодорожных линий часто возникает необходимость пересечения ими больших и средних рек, а в отдельных случаях – каналов, озёр, морских заливов и проливов. На пересечениях с этими водными препятствиями устраиваются различные **инженерные сооружения**, либо прерывающие рельсовый путь в течение всего года или в отдельные периоды [паромная, ледовая (свайно-ледовая) и наплавная переправы], либо обеспечивающие непрерывный рельсовый путь круглогодично (дамбы, переходы по плотине, тоннельные и мостовые переходы).

П а р о м н а я п е р е п р а в а – комплекс сооружений, состоящий из паромов в виде мощных самоходных судов большого водоизмещения (имеющих специальные приёмные пути и устройства для крепления железнодорожного подвижного состава и вмещающих от 10 до 100 вагонов с локомотивами), а также двух-трех причалов для работы в условиях изменяющегося уровня воды и подходов к этим причалам. Паромные переправы вследствие нарушения ими непрерывности рельсовой колеи, как правило, уменьшают пропускную способность железнодорожной линии и поэтому устраиваются либо как временные на более или менее длительный срок до постройки более трудоемких и дорогих сооружений (тоннелей или мостов), либо в тех случаях, когда по каким-либо объективным причинам другие решения просто неосуществимы. Если пересекаемая водная преграда зимой не замерзает, то такие переправы действуют круглогодично, обеспечивая регулярность железнодорожного сообщения.

Сложность работы паромных переправ заключается в зависимости от времени года и состояния погоды, необходимости приспособливания их к постоянно меняющемуся уровню воды в водоеме, малые скорости движения паромов, значительные затраты времени на выполнение погрузочно-выгрузочных операций на причалах, а следовательно, и низкая пропускная способность.

Большое число железнодорожных паромных переправ функционирует в странах Азии и Америки. Действуют такие переправы в Балтийском море

между Швецией и Финляндией, Германией и Швецией, Данией и Германией. Круглогодично действуют международные паромные переправы Черноморск (Украина) – Варна (Болгария) через Черное море, Крым – Кавказ через Керченский пролив, Баку (Азербайджан) – Красноводск (Россия) через Каспийское море и на внутренней российской трассе Ванино – Холмск между материком и островом Сахалин. В зимнее время речные и озерные паромные переправы либо закрываются вообще, либо заменяются при большой толщине ледового покрова укладкой железнодорожного пути непосредственно по льду водоема или устройством свайно-ледовых переправ. Существенным недостатком таких переправ является сезонность их работы, и поэтому они применяются, как правило, в качестве временных сооружений.

В случае, когда водное препятствие замерзает и образуется достаточная толщина ледяного покрова может быть устроена л е д о в а я (рисунок 8.1) или с в а й н о - л е д о в а я переправа, у которой железнодорожный путь укладывается на эстакаду, опирающуюся на забитые в грунт сваи через лунки во льду, и таким образом создается непрерывная рельсовая колея. Однако движение по такой переправе прерывается на период от момента окончания навигации до момента образования льда достаточной толщины и прочности.



Рисунок 8.1 – Ледовая переправа через реку Зею. Старая Амурская железная дорога

Н а п л а в н а я (п о н т о н н а я) п е р е п р а в а (рисунок 8.2) – это по своей сути мост, имеющий плавучие опоры в виде понтонов, барж или плоскодонных беспалубных судов, на которых укладывается железнодорожное пролетное строение. Такие мосты устраиваются, как правило, на более узких прямолинейных участках реки при наличии удобных подходов и спусков

на мост. При необходимости пересечения широких и многоводных рек наплавные мосты могут применяться только в тех случаях, когда устройство моста на постоянных опорах требует очень больших капитальных вложений и когда по объективным причинам требуется сократить сроки строительства.

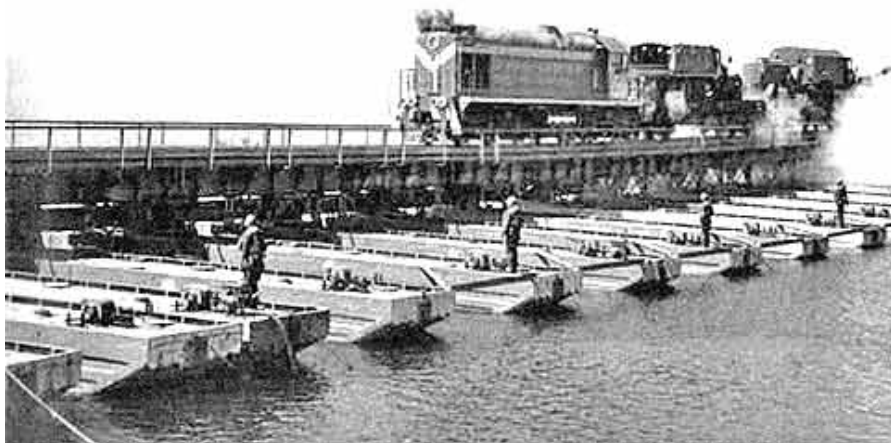


Рисунок 8.2 – Специальный понтонный парк через реку Днепр (он же наплавной железнодорожный мост НЖМ-56)

Наплавные мосты могут быть круглогодичного действия, и тогда они постоянно обеспечивают непрерывность рельсовой колеи. Однако их устройство возможно, только когда отсутствует волновое воздействие, а скорость течения водного потока мала и когда ледяной покров либо отсутствует вообще, либо ледовый режим достаточно благоприятен. Кроме того, наплавной мост может быть использован как временная мера для оперативного восстановления движения в случае разрушения большого моста или паромы.

Достоинствами наплавных мостов являются возможность их наведения независимо от глубины водоема, рельефа его дна и свойств грунта, а также их более легкая и быстрая, чем постоянных мостов, сборка. Наряду с этими положительными качествами мостам такого типа присущи довольно существенные *недостатки*, которые ограничивают их применение. В частности, это большая подвижность и малая гибкость; изменение отметок проезжей части из-за колебаний уровня воды; необходимость отводить понтоны в безопасные места в период весеннего половодья и ледохода; эпизодические срывы и разрушения плавучих опор под напором льда и ветра. Сложность и продолжительность процесса разводки пролетов для пропуска судов на судоходных реках создают значительные затруднения движению как водного, так и железнодорожного транспорта.

Д а м б а – одно из наиболее простых по своему устройству и наиболее дешевых сооружений в виде насыпей земляных или из каменной наброски по типу фильтрующей насыпи, возводимых для пересечения несудоходных и относительно неглубоких водных препятствий (озеро, залив), при условии незначительных колебаний горизонтов воды и отсутствия течения или при очень малых скоростях течения. В США земляная дамба длиной 21 км с уложенным на ней полотном железной дороги пересекает Большое Соленое озеро. На направлении Симферополь (Россия) – Запорожье (Украина) между станциями Джанкой и Новоалексеевка железная дорога проходит через залив Сиваш Азовского моря по земляной дамбе, а при пересечении железнодорожной линией Кандалакшской губы Белого моря устроена фильтрующая дамба из камня.

П е р е х о д железной дороги через водоток по плотине гидроэлектростанции используется в тех случаях (рисунок 8.3), когда имеются благоприятные условия расположения железнодорожных подходов к створу плотины.



Рисунок 8.3 – Железная дорога проходит по плотине Братской ГЭС

Для перехода железной дороги через водотоки в России используются плотины Братской и большинства волжских гидроэлектростанций.

Тоннельное пересечение – с одной стороны, одно из самых сложных и дорогостоящих, но с другой – одно из самых удобных по условиям эксплуатации пересечений, не создающих каких-либо затруднений для судоходства на крупных водоемах и в то же время обеспечивающих высокую пропускную способность железной дороги. Такое пересечение устраивается в тех случаях, когда сооружение мостового перехода экономически нецелесообразно из-за очень больших глубин водоема, неблагоприятных геологических и гидрологических условий, тяжелого ледового режима, значительных ветровых нагрузок, потребности в сооружении неоправданно высоких опор моста и т. п.

В Японии самый протяженный в мире тоннель длиной 53,85 км соединяет железнодорожную сеть японских островов Хонсю и Хоккайдо. Длина железнодорожного тоннеля, построенного в 1994 году под проливом Ла-Манш, составляет 52 км.

Мостовой переход – самый распространенный способ пересечения железной дорогой большинства водных препятствий (рисунок 8.4), отличающийся от описанных выше сооружений большей надежностью, независимостью от времени года и состояния погоды.



Рисунок 8.4 – Первый железнодорожный мост через реку Обь (Россия)

Примерами могут служить: самый длинный в мире железнодорожный мост длиной более 3 км через реку Сент Луис в мексиканском заливе (США), мост через устье реки Тежи у входа в порт Лиссабона (Португалия) длиной 3,2 км и самый длинный в России мостовой переход через Обь на линии Тобольск – Сургут протяженностью 2965 м.

Вопрос о выборе того или иного пересечения водного препятствия должен решаться в строго индивидуальном порядке на основе тщательного технико-экономического сравнения возможных вариантов при обязательном учете характера водотока и условий судоходства, назначения проектируемой железной дороги и ее роли в системе существующих транспортных связей, потребной пропускной способности, размеров и темпов роста грузовых и пассажирских перевозок, сроков и стоимости строительства, расходов по эксплуатации, влияния сооружения на окружающую среду и других факторов.

8.2 Комплекс сооружений мостового перехода и требования к нему

Мостовой переход представляет собой целый комплекс сооружений, в который входят: собственно мост, подходы к нему в границах разлива паводковых вод в виде пойменных насыпей или эстакад; регулирующие сооружения, включающие струеотводящие и струенаправляющие дамбы и траверсы, а в случае необходимости, и берегоукрепительные сооружения (рисунок 8.5).

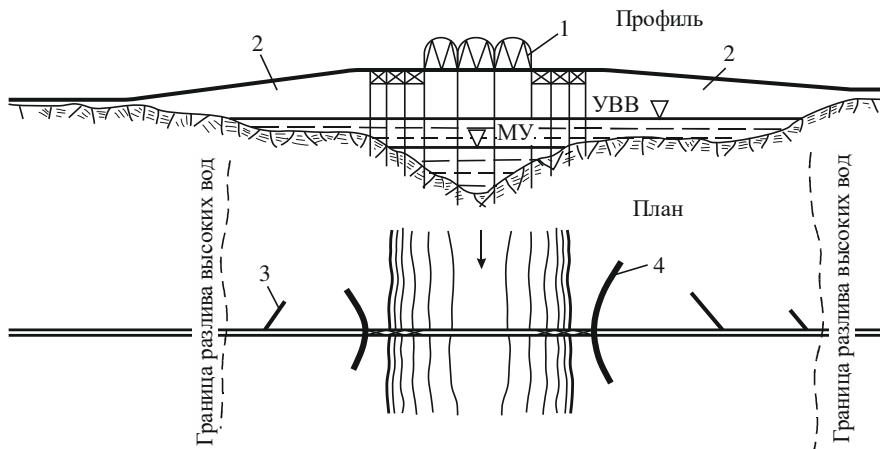


Рисунок 8.5 – Схема мостового перехода:

1 – многопролетный мост; 2 – подходные насыпи; 3 – траверсы; 4 – струенаправляющие дамбы

Дамбы и траверсы служат для обеспечения плавного пропуска и равномерного распределения потока высоких вод по всему отверстию моста, а также для предохранения подходов к мосту и опор самого моста от подмыва.

Проектирование мостовых переходов представляет собой один из самых ответственных и самых сложных процессов проектирования железнодорожной линии. Этот процесс складывается из выбора места мостового перехода, определения высоты и отверстия моста, выбора схемы моста, типа опор, пролетных строений, конструкции регуляционных и берегоукрепительных сооружений, проектирования подходов к мосту и целого ряда других вопросов.

Все эти вопросы очень тесно связаны между собой и поэтому должны решаться в комплексе. При этом **мостовой переход должен обеспечивать:**

- потребную пропускную способность железнодорожной линии (при заданных массе состава и типе локомотива) с учетом ее возможного роста в перспективе);

- безопасный для сооружений мостового перехода и бесперебойный (безостановочный) пропуск поездов с установленными для данной линии скоростями. Это требование связано с грузоподъемностью моста, устойчивостью подходных насыпей, планом и продольным профилем линии в пределах всего мостового перехода;

- безопасный для моста пропуск водного потока при расчетных уровнях высоких вод и самых неблагоприятных условиях работы. Это требование связано с величиной отверстия моста, глубиной заложения фундаментов его опор, высотой пойменных насыпей и крутизной их откосов;

- беспрепятственное движение судов и пропуск ледохода на судоходных и сплавных реках. Это требование связано с величиной и количеством судоходных пролетов моста, обеспечением соответствующих классу реки подмостовых габаритов, правильным назначением проектных отметок проезжей части моста;

- соблюдение требований охраны окружающей среды. Это требование связано с оправданным увеличением отверстия моста с целью сокращения площади, затопляемой рекой в паводковый период, а также сохранением флоры и фауны в поймах реки у мостового перехода. Так как пересечение железной дорогой всех значительных рек, и в особенности судоходных и сплавных, затрагивает интересы водного транспорта, то как место мостового перехода, так и его направление должны быть согласованы с местными органами, в ведении которых находится водный транспорт в районе проектирования перехода;

- недопущение ухудшения условий работы других гидротехнических сооружений и предприятий, связанных по роду своей деятельности с использованием реки.

С учетом соблюдения всех перечисленных выше требований сооружение мостового перехода должно осуществляться по возможности, в наиболее короткие сроки и с наименьшими суммарными расходами на строительство и эксплуатацию всех сооружений мостового перехода.

8.3 Выбор места мостового перехода

Выбор места для мостового перехода является одним из наиболее ответственных вопросов, решаемых при пересечении железной дорогой крупных водотоков и оказывающих существенное влияние на выполнение всех требований, предъявляемых к комплексу мостового перехода.

На решение вопроса выбора места мостового перехода оказывают влияние:

- 1) увязка с общим направлением проектируемой железной дороги;
- 2) ситуационные, топографические, гидрологические и морфологические условия в районе перехода;
- 3) инженерно-геологические условия.

Выбирая место перехода с учетом первого условия, необходимо стремиться, по возможности, к всемерному уменьшению длины линии и к расположению мостового перехода без существенного отклонения от кратчайшего направления проектируемой железной дороги, особенно при больших размерах перевозок на ней.

Учитывая ситуационные, топографические и гидрологические условия, необходимо назначать место пересечения реки в наиболее узком месте, где главное русло несет в основном весь поток воды, а поймы имеют минимальную ширину или вообще отсутствуют, что уменьшает величину отверстия моста и объемы работ по устройству подходных насыпей и регуляционных сооружений; на относительно прямолинейных участках русла с устойчивым прямолинейным течением, удаленных от излучин, островов (рисунок 8.6), староречий, перекатов, впадения в реку боковых притоков или оврагов, выносящих в нее значительные отложения и способствующие тем самым образованию в реке наносов, что обеспечит более благоприятные условия работы мостового перехода, отсутствие блуждания русла, размыва и подмыва основания опор, скопления наносов, заиливания, заторов и зажоров льда в период ледохода.

Переход через судоходные и сплавные реки должен, по возможности, быть запроектирован перпендикулярно течению воды в главном русле и на поймах, что создает более благоприятные условия его работы и гарантирует отсутствие застоя воды, подмыва и размыва русла и подходных насыпей. Отклонение от этого требования допускается в пределах 5° . При большей косине (но

не более 10°) потребуется увеличение ширины подмостового габарита судоходного пролета [20]. При этом переходить реку следует стремиться там, где направление ее на возможно большем протяжении в плане выше и ниже перехода представляет собой прямое правильное русло. Это обеспечит более правильное распределение струй водного потока, даст наименьшую длину сооружения и, кроме того, при таком пересечении опоры моста будут расположены параллельно направлению главных струй, что в свою очередь будет служить гарантией против подмыва опор.

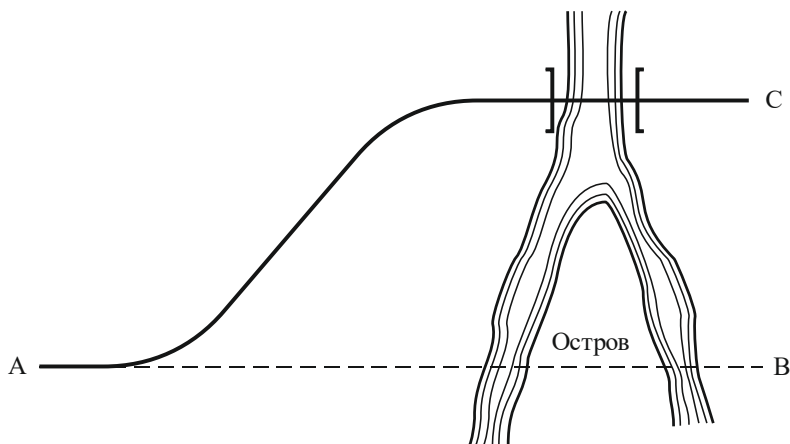


Рисунок 8.6 – Перенос перехода выше по течению относительно острова

Если намеченное в проекте направление линии пересекает реку под острым углом, то для получения нормального перехода может оказаться целесообразным отклонить трассу примерно, как показано на рисунке 8.7, *а*. При невозможности по объективным причинам значительного отклонения трассы можно прибегнуть к выпрямлению угла пересечения реки изломом ее, как указано схематически на рисунке 8.7, *б*.

Исходя при выборе места мостового перехода из геологических условий, необходимо избегать заболоченных мест, карстовых образований, оползней, мокрых косогоров, гипсовых пород, пльвунов. При прочих равных условиях переход следует располагать в местах наличия плотных коренных пород, залегающих неглубоко и являющихся хорошим основанием для фундаментов опор моста.

Влияние перечисленных факторов, как правило, противоречиво, и в реальных условиях крайне редко удается выбрать такое место для сооружения мостового перехода, которое в полной мере отвечало бы всем вышеприведенным условиям. Поэтому изыскатель, прежде чем приступать к общей прокладке трассы, должен как можно доскональнее изучить все места, представляющие

те или иные препятствия для трассировки, и в зависимости от местных условий выбрать наиболее приемлемое решение, удовлетворяющее максимуму требований.

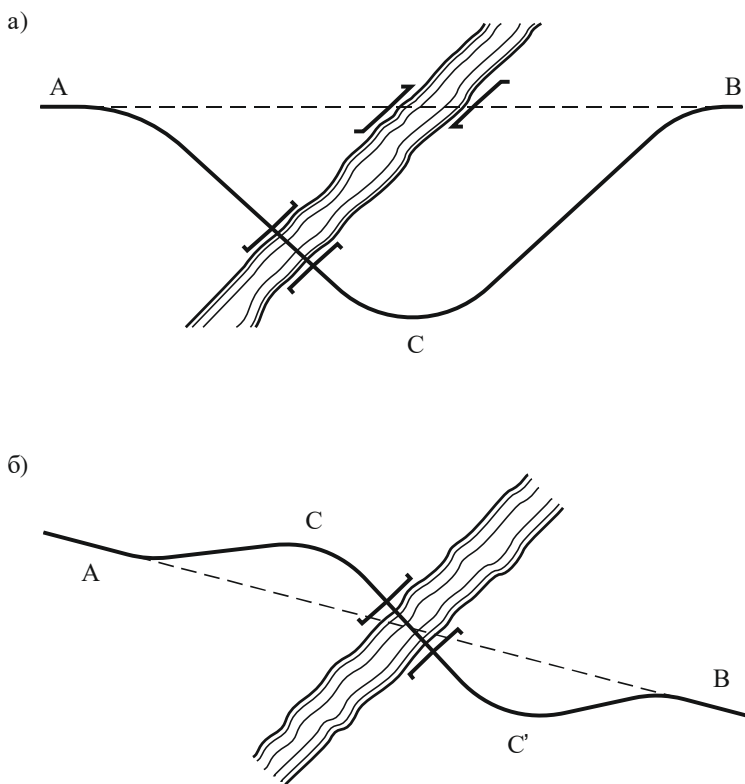


Рисунок 8.7 – Примеры отклонения линии для выпрямления угла пересечения

8.4 Проектирование плана и продольного профиля в пределах мостового перехода

После принятия окончательного решения о выборе места мостового перехода приступают к проектированию плана и продольного профиля мостового перехода.

При проектировании пересечения водного потока **в плане** лучшим решением является расположение всего перехода на прямом участке. В случае воз-

никновения объективной необходимости устройства в районе перехода кривых, величины их радиусов, длины переходных кривых и прямых вставок должны назначаться в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к плану железных дорог соответствующих категорий в обычных условиях. При этом следует иметь в виду, что в пределах безбалластных пролетных строений устройство кривых не допускается.

Углы поворота линии при проектировании насыпей на подходах к большим мостам необходимо назначать с таким расчетом, чтобы кривые располагались вне пойм. Если по объективным причинам это невозможно, то во избежание образования в пазухах между берегом реки и пойменной насыпью так называемых водяных и грязевых «мешков», кривую на пойме следует располагать выпуклостью по направлению течения реки, как показано на рисунке 8.8.

Помимо общих положений по проектированию продольного профиля в обычных условиях, изложенных в разд. 4 пособия, проектирование **продольного профиля** в пределах мостового перехода необходимо производить с учетом требований предотвращения земляного полотна от затопления и обеспечения нормальных условий судоходства.

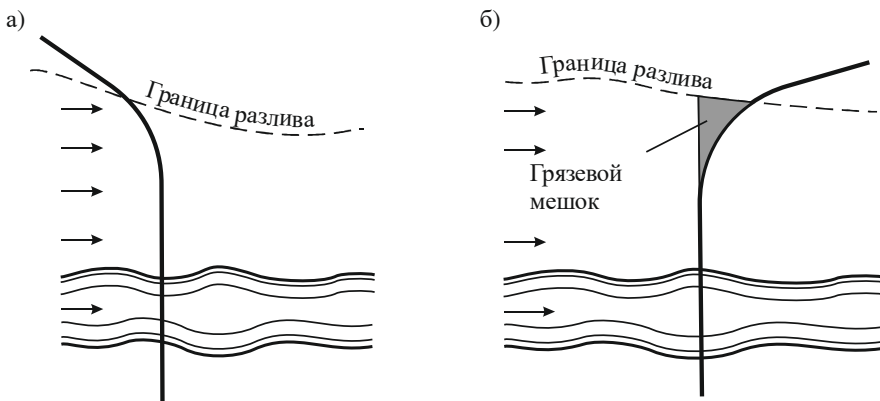


Рисунок 8.8 – Расположение кривых на поймах реки

Исходя из этих требований, положение проектной линии на мосту и в пределах пойм должно назначаться с учетом: отметок судоходного уровня, подмостового габарита, высоты пролетного строения в судоходных пролетах, типа конструкции верхнего строения пути на мосту и на подступах к нему.

Контрольными точками, определяющими положение проектной линии при пересечении железной дорогой судоходных и сплавных рек, являются минимально допустимые отметки ее на мосту и на поймах.

Минимальная отметка проектной линии на мосту H_{\min}^M в судоходных пролетах (рисунок 8.9) может быть определена по формуле

$$H_{\min}^M = PCY + h_T + c - d, \quad (8.1)$$

где PCY – расчетный судоходный уровень воды, который согласовывается с Министерством речного флота или с речным пароходством, м;

h_T – высота подмостового габарита, зависящая от класса реки и изменяющаяся в пределах от 5 м для рек VII класса до 16 м для I класса [11], м;

c – строительная высота наибольшего судоходного пролетного строения, измеряемая от низа его до подошвы рельса и зависящая от величины пролета и типа пролетного строения, м;

d – расстояние от бровки полотна до подошвы рельса, зависящее от типа верхнего строения пути на мосту, м.

При наличии на подходах к мосту длинных и широких пойм выдерживать в их пределах такие же отметки проектной линии, как на мосту, нерацionalmente, так как это вызывает необходимость увеличения высоты пойменной насыпи. В этих случаях для уменьшения объема земляных работ на подходах можно допустить отметки такими, при которых не происходило бы затопление насыпи в период пропуска максимального расхода.

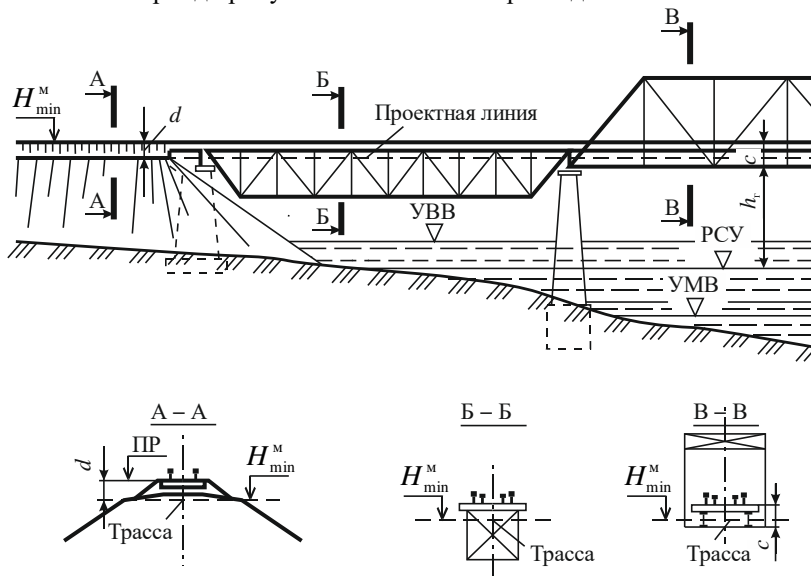


Рисунок 8.9 – Определение проектной линии на мосту

Таким образом, минимальная отметка бровки земляного полотна в пределах пойм

$$H_{\min}^n = \text{НУВВ} + z + h_{\text{В(Н)}} + \Delta, \quad (8.2)$$

где НУВВ – отметка наивысшего уровня высокой воды, вероятность превышения которого принимается равной: 0,33 – на линиях скоростных, особогрузонапряженных, I–III категорий и 1 % – на линиях IV категории [29], м;

z – величина подпора, возникающего из-за разности расчетных скоростей течения воды в несесненном русле на подходах к мосту и под мостом после его постройки, м;

$h_{\text{В(Н)}}$ – высота волны с учетом наката ее на откос насыпи, определяемая по данным метеорологических наблюдений в момент прохода паводковых вод, м;

Δ – технический запас, принимаемый при проектировании пойменных насыпей и оградительных дамб равным 0,5 м, а при проектировании незатопляемых регуляционных сооружений и берм – 0,25 м.

Общий вид возможного очертания продольного профиля в пределах мостового перехода схематически показан на рисунке 8.10. Переломы профиля (точки 1 и 2 на рисунке 8.10) должны располагаться с учетом возможности устройства сопрягающих кривых в вертикальной плоскости только за пределами моста.

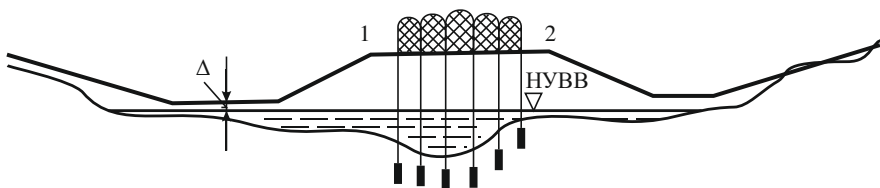


Рисунок 8.10 – Профиль мостового перехода

Подпор воды перед мостом образуется из-за того, что мостовой переход вызывает довольно значительное стеснение живого сечения реки и изменение его бытового режима. При этом водный поток, преграждаемый пойменной насыпью, устремляется в отверстие моста с повышенной скоростью. Вследствие этого перед мостом образуется уклон водного зеркала в поперечном направлении (от береговых границ пойм вдоль насыпи к мосту). Кроме того, несколько увеличивается уклон реки перед мостом и в продольном направлении.

Высота волны должна устанавливаться для проектирования как подходных насыпей, так и для регуляционных сооружений, причем с учетом высоты набега волны на откос насыпи над зеркалом спокойной воды, показанной на

рисунке 8.11. В зависимости от высоты волны с учетом набега, а также интенсивности ледохода в пределах пойм должно предусматриваться соответствующее укрепление откосов насыпи.

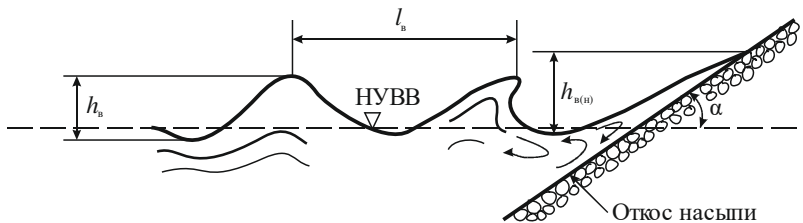


Рисунок 8.11 – Схема элементов волны с набегом

Высота волны без учета набега (см. $h_{в}$ на рисунке 8.11) может быть определена в зависимости от расчетной скорости ветра, длины разгона волны и глубины водоема. Длина разгона волны и глубина водоема определяются по материалам топографических съемок.

Большие и средние мосты, а это, как правило, мосты с безбалластной проезжей частью, в продольном профиле следует проектировать на горизонтальной площадке или на нетормозном уклоне до 4 ‰. Расположение таких мостов на более крутых уклонах (но не более 10 ‰) допускается только при соответствующем технико-экономическом обосновании [29]. Это требование обусловлено применением типовых конструкций пролетных строений и опор, расчеты несущей способности которых не учитывают дополнительных усилий, возникающих при движении по ним поезда на уклонах. В пределах пойм могут быть применены любые уклоны, вплоть до руководящего, если это дает экономию в объемах земляных работ.

Значения алгебраической разности уклонов и длин элементов профиля, а также элементов переходной крутизны в пределах мостового перехода принимаются для зоны высоких скоростей, т. е. рекомендуемые значения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Акимов, В. И.** Выбор направления и трассирование участка железной дороги / В. И. Акимов, В. А. Вербило, Н. В. Довгелюк. – Гомель : БелГУТ, 1996. – 32 с.
- 2 **Волков, Б. А.** Экономическая эффективность инвестиций на железнодорожном транспорте в условиях рынка / Б. А. Волков. – М. : Транспорт, 1996. – 191 с.
- 3 **ГОСТ 26775–97.** Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях / Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 1997. – 21 с.
- 4 **Ганьшин, В. Н.** Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых / В. Н. Ганьшин, Л. С. Хренов. – М. : Недра, 1985. – 430 с.
- 5 **Гибшман, А. Е.** Определение экономической эффективности проектных решений на железнодорожном транспорте / А. Е. Гибшман. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
- 6 **Гориннов, А. В.** Изыскания и проектирование железных дорог. Т. 1 / А. В. Гориннов. – М. : Транспорт, 1969. – 366 с.
- 7 **Довгелюк, Н. В.** Тяговые расчеты при проектировании железных дорог : учеб.-метод. пособие / Н. В. Довгелюк, Г. В. Ахраменко, В. А. Вербило. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 48 с.
- 8 **Железные дороги в таежно-болотистой местности** / Г. С. Переселенков [и др.]. – М. : Транспорт, 1982. – 288 с.
- 9 **Железнодорожные станции и узлы** : учеб. / В. И. Апатцев [и др.] ; под ред. В. И. Апатцева и Ю. И. Ефименко. – М. : ФГБОУ «Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп.», 2014. – 855 с.
- 10 **Закиров, Р. С.** Железные дороги в песчаных пустынях : Проектирование, сооружение земляного полотна и эксплуатация пути / Р. С. Закиров. – М. : Транспорт, 1980. – 221 с.
- 11 **Изыскания и проектирование железных дорог** : учеб. для вузов / И. В. Турбин [и др.] ; под ред. И. В. Турбина. – М. : Транспорт, 1989. – 479 с.
- 12 **Иоаннисян, А. И.** Изыскания и проектирование железных дорог / А. И. Иоаннисян. – М. : Транспорт, 1971. – 320 с.
- 13 **СНиП 11-01–95.** Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и состава проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений / Минстрой России. – М. : ЦПП, 1995. – 13 с.
- 14 **СН 517–80.** Инструкция по проектированию и строительству противоловинных защитных сооружений / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1980. – 15 с.
- 15 **СН 518–79.** Инструкция по проектированию и строительству противоселевых защитных сооружений / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1981. – 14 с.
- 16 **Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог.** ЦПЭУ-3954 : МПС РФ. – М. : МПС РФ, 2001. – 124 с.
- 17 **СТП 09150.15.002–201.** Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов. – Введ. 2001–01-02. – Минск : Бел. ж. д., 2001. – 108 с.

18 **Инструктивные указания по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте.** – М. : МПС РФ, 1998. – 64 с.

19 **Кантор, И. И.** Изыскания и проектирование железных дорог : учеб. для вузов / И. И. Кантор. – М. : УКЦ «Академкнига», 2003. – 288 с.

20 **СНиП 2.05.03–84.** Мосты и трубы / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 200с.

21 **Основы проектирования, строительства и реконструкции железных дорог :** учеб. для вузов / Ю. А. Быков [и др.] ; под ред. Ю. А. Быкова и Е. С. Свинцова. – М. : ГОУ «Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп.», 2009. – 448 с.

22 **Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений** / под общ. ред. Г. Я. Волченкова. – М. : Транспорт, 1992. – 408 с.

23 **Правдин, Н. В.** Проектирование железнодорожных станций и узлов : учеб. пособие для вузов. В 2 ч. Ч. I / Н. В. Правдин, Т. С. Банек, В. Я. Негрей. – Минск. : Выш. шк., 1984. – 288 с.

24 **Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм.** : [утв. МПС РФ 28.07.00. ЦД-858]. – М. : МПС РФ, 2001. – 255 с.

25 **Проектирование, строительство и реконструкция железных дорог :** учеб. пособие для вузов / под ред. Б. В. Яковлева. – М. : Транспорт, 1989. – 263 с.

26 **Пропускная и перерабатывающая способность сооружений и устройств железнодорожного транспорта :** учеб.-метод. пособие / В. Я. Негрей [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 183 с.

27 **Правила тяговых расчетов для поездной работы.** – М. : Транспорт, 1985. – 286 с.

28 **Правила технической эксплуатации на Белорусской железной дороге :** [утв. приказом Нач. Белорусской ж. д. № 292Н от 04.12.2002]. – 300 с.

29 **СП 237.1326000.2015.** Свод правил. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования : [утв. приказом М-ва транспорта Российской Федерации 06.07.15.№208]. – 65 с.

30 **СНБ 3.03.01–98.** Железные дороги колеи 1520 мм. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 1998. – 38 с.

31 **СТН 09150.15.075–2008.** Порядок планирования, организации предоставления и использования «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ на Белорусской железной дороге. – Введ. 2008–06–03. – Минск : Бел. ж. д., 2008. – 60 с.

32 **СНиП II-7–81*.** Строительство в сейсмических районах / Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 2001. – 44 с.

33 **ВСН 61–89.** Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты / Минтрансстрой СССР. – М. : Оргтрансстрой, 1990. – 209 с.

34 **Экономические изыскания и основы проектирования железных дорог :** учеб. для вузов / под ред. Б. А. Волкова. – М. : Транспорт, 1990. – 268 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
1 Обоснование инвестиций и проектная документация на строительство	4
2 Деление железных дорог на категории по нормам проектирования	6
3 Экологические требования к проектированию и строительству железных дорог ...	8
3.1 Общие положения.....	8
3.2 Сохранность земельных фондов и недр	9
3.3 Охрана растительного и животного мира	11
3.4 Шумовое загрязнение атмосферы	12
3.5 Охрана воздушного бассейна	14
3.6 Охрана водных ресурсов	15
3.7 Железная дорога и окружающий ландшафт	17
4 Проектирование плана и продольного профиля железных дорог на перегоне	18
4.1 Элементы плана железных дорог	18
4.2 Элементы продольного профиля железных дорог	29
4.3 Обеспечение условий безопасности и плавности движения поездов при проектировании плана и продольного профиля.....	44
4.4 Обеспечение бесперебойности движения поездов	56
4.5 Предохранение земляного полотна от снежных заносов	59
5 Трассирование железных дорог	61
5.1 Понятие о трассе. Факторы, влияющие на выбор направления линии. Этапы трассирования железной дороги.....	61
5.2 Опорные пункты, геодезическая линия и фиксированные точки трассы	63
5.3 Классификация трассировочных ходов	65
5.4 Принципы трассирования на участках вольных ходов.....	70
5.5 Принципы трассирования на участках напряжённых ходов.....	72
5.6 Приёмы развития линии.....	76
5.7 Особенности трассирования железных дорог в сложных природных условиях	81
5.8 Трассирование по картам в горизонталях.....	88
6 Размещение и проектирование раздельных пунктов на железных дорогах	97
6.1 Основные понятия о графике движения поездов	97
6.2 Раздельные пункты и их назначение.....	99
6.3 Длина станционных площадок на раздельных пунктах	101
6.4 Пропускная способность. Размещение раздельных пунктов на однопутных дорогах	104
6.5 Проектирование плана на раздельных пунктах.....	110
6.6 Проектирование продольного профиля на раздельных пунктах	111
7 Малые водопропускные сооружения и размещение их на трассе железной дороги	116
7.1 Назначение и типы малых водопропускных сооружений	116
7.2 Размещение водопропускных сооружений по трассе. Бассейны и их характеристики	119
8 Основные понятия о проектировании мостовых переходов	123
8.1 Типы сооружений на пересечении железной дорогой водных препятствий	123
8.2 Комплекс сооружений мостового перехода и требования к нему	128
8.3 Выбор места мостового перехода.....	130
8.4 Проектирование плана и продольного профиля в пределах мостового перехода....	132
Список использованной литературы	137

Учебное издание

ВЕРБИЛО Виктор Архипович
КОЖЕДУБ Сергей Сергеевич

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ОДНОПУТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Учебно-методическое пособие

Редактор И. И. Э в е н т о в
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Подписано в печать 12.06.2018 г. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 8,13. Уч.-изд. л. 8,58. Тираж 200 экз.
Зак. № 1947 . Изд. № 35.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017.

Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель