

В. А. Давыдов, Э. Д. Бондарева

ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ
ГРУНТАХ

Учебное пособие

Омск ОмГИ 1989

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Сибирский ордена Трудового Красного Знамени
автомобильно-дорожный институт им. В.В.Куйбышева

В.А.Давыдов, Э.Д.Бондарева

ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Учебное пособие

Омск ОМИ 1989

Рецензенты:

начальник проектировочно-исследовательского
отдела объединения Омскавтотдор К.К. Еловских,
заведующий кафедрой строительства
и эксплуатации автомобильных дорог А.В. Смирнов

Работа одобрена редакционно-издательским советом института
в качестве учебного пособия или специальности 29.10 - строи-
тельство автомобильных дорог и аэродромов.

УДК 626.72:624.139.34

Изыскания и проектирование автомобильных дорог на много-
летнемерзлых грунтах: Учеб.пособие/В.А.Давыдов, С.Д.Бондарев;
Под ред. В.А.Давыдова; ОИИ.- Омск, 1989.- 80 с.

Изложены краткая историческая справка по развитию инже-
нерного мерзлотопедения, основные понятия о многолетнемера-
лых породах (МЛ), их распространение на территории Земли.

Приведены особенности полно-мерзлотного режима земляного
насипа и естественного основания с наличием МЛ, дорожно-
климатическое районирование, принципы проектирования и строи-
тельства дорог, особенности назначения геометрических разме-
ров насыпи (ширины и высоты), основы геомеханического расче-
та, особенности расчета дорожных конструкций на прочность,
конструкции земляного полотна и требования к грунтам, особен-
ности изысканий в туне.

Табл.14. Ил.25. Библиография: 25 наим.

© Омский ордена Трудового Красного
Знамени автомобильно-дорожный
институт им. В.В. Куйбышева, 1989.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие рекомендуется студентам специальности 29.10-строительство автомобильных дорог и аэродромов для изучения особенностей изыскания и проектирования автомобильных дорог на многолетнемерзлых породах (ММП).

Пособие составлено с учетом последних достижений отечественной науки (Союздорнии и его Омского филиала, СибАДИ, ЛМСИ и др.) и обобщения передового опыта проектных и строительных организаций СССР (Союздорпроекта Минтрансстроя СССР, Гипрдорнии Минавтодора РСФСР и др.).

Материал учебного пособия необходим при изучении курса "Изыскания и проектирование автомобильных дорог в сложных природных условиях" (лекции на 5 курсе для студентов дневной формы обучения - 9 семестр, на 6 курсе для студентов вечерней и заочной форм обучения - II семестр), а также при выполнении курсового проекта участка автомобильной дороги в сложных природных условиях (на многолетнемерзлых грунтах) и при дипломном проектировании.

Проектирование дорог в районах распространения ММП приобретает все более важное значение, т.к. происходит интенсивное освоение Сибири и Крайнего Севера, где в основном будут работать будущие инженеры-строители автомобильных дорог и аэродромов как СибАДИ, ЛМСИ, так и других вузов.

Введение, главы 1,2,3,7 учебного пособия написаны канд. техн. наук, доц. В.А.Давыдовым (СибАДИ) совместно с канд. техн. наук, доц. Э.Д.Бондаревой (ЛМСИ); предисловие, главы 4,5,6,8 - В.А.Давыдовым.

Общее редактирование выполнено заведующим кафедрой проектирования автомобильных дорог СибАДИ канд. техн. наук, доц. В.А.Давыдовым.

ВВЕДЕНИЕ

Мировая тенденция развития производительных сил все более отчетливо ориентируется на северные территории. Север играет важную роль и в жизни нашей страны. Это не случайно. Действительно, Север – это крупнейший и самый богатый фонд свободных земель. Но вместе с тем, Север – это весьма слабо изученные пространства, таящие в своих недрах уникальные месторождения ценнейших полезных ископаемых. Наконец, Север – это место обитания многих малых народов, чей быт, уклад жизни и дальнейшее процветание теснейшим образом связаны с его развитием. Вот почему промышленное освоение районов Сибири и Крайнего Севера – одна из крупнейших народнохозяйственных проблем.

Но не только на Севере, где-то за Полярным кругом, но и на всей громадной территории Сибири, от Урала на западе до побережья Чукотки на востоке, человек, осваивая новые районы, неизбежно сталкивается со своеобразием природных комплексов, вызванных наличием вечной мерзлоты, широким распространением мерзлых пород, подземных льдов и различных, неблагоприятных для строительства дорог, зданий и аэродромов, криогенных процессов (бугров иучения, курумов, термокарста, солифлюкционных образований, растрескивания верхних слоев почвы и т.д. и т.п.).

В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986–1990 гг. и на период до 2000 года" в раздел 1 сказано: "...продолжалось формирование и развитие крупных территориально-производственных комплексов. Ускоренно осваивались природные богатства восточных и северных районов страны. Две трети общесоюзной добычи нефти и свыше половины добычи газа теперь дает Западная Сибирь" [1]. В соответствии с решениями ХХУП съезда КПСС на Крайнем Севере и в Сибири предстоит решать много сложных и ответственных задач. Поэтому очень важно "... заставить понять всех, что суровый этот край нужно не осваивать, а обживать. Обживать основательно, обживать умно, обживать предусмотрительно...".

Широкое освоение Севера, Арктики и Космоса примерно началось в одно время – в 50-х годах XX столетия, т.е. совпало с началом научно-технической революции. Это не случайное совпадение: раньше уро́чище развития производительных сил не позволяло осваивать эти

огромные, труднодоступные и суровые по природным условиям прoстранства.

К настоящему времени накопилось большое количество фактов, подтверждающих, что осваивать Север такими же методами и техникой, как более южные зоны, Н Е Л Ъ З Я , особенно, если учесть беспрецедентную уязвимость экологии Севера.

Хотелось бы, чтобы огромные вновь осваиваемые просторы Севера были одними из первых, где требования экологии станут важнейшими факторами при решении вопросов развития и размещения крупной промышленности, строительства городов, поселков, железных и автомобильных дорог и аэродромов. В этих районах с легко нарушаемой природной средой по-другому просто Н Е Л Ъ З Я .

I. ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОКРИОЛОГИИ (МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЯ)

Дать правдивое и стойкое описание этапов и путей становления геокриологии и отразить в этом описании действительные заслуги стран и лиц, способствовавших познанию многолетней криолито-зоны как географического явления, – значит решить актуальную и весьма сложную задачу.

В истории развития инженерной геокриологии (мерзлотоведения) можно выделить два периода и несколько этапов.

I.I. Дореволюционный период

I этап. Сведения о многолетнемерзлых породах (ММП). Местным жителям района распространения многолетнемерзлых пород несомненно было известно об их существовании, т.к. им приходилось сталкиваться с мерзлыми породами при постройке своих жилищ, во время охоты и рыбной ловли, при хранении добычи (мяса, рыбы). В литературе первые сведения о мерзлых породах стали появляться, по-видимому, лишь с XVII века. В это время усилились поиски русскими людьми Северного морского пути из России в Китай, Индию и путешествия в северные страны стали более частыми. В 1598 г. составлено "Описание чого ради невозможно от Архангельского города морем проходить в Китайское государство и оттуда к Восточной Индии", в котором сказано, что на северо-востоке Новой Земли в середине июня "на берегах еще не таял снег и олени не могли себе пищу приобрести".

В XVII веке в связи с продвижением русских на восток и север Сибири в Москву стали поступать первые сведения о мерзлых породах севера Сибири. Так, якутские воеводы П.Головин и М.Глебов сообщали в Москву: "А Якутском - де, государь, по сказам торговых и промышленных служилых людей, хлебной пашни не чаять; земля - де, государь, и среди лета вся не растаивает".

Первое обобщение данных о мерзлых породах принадлежит русскому историку и географу начала XVIII века В.Н.Татищеву. В своих трудах он пишет о наличии мерзлых пород.

II этап. Накопление фактов наличия ММП и первое научное объяснение их образования (вторая половина XVIII – первая половина XIX в.). Это было время накопления фактов и первых научных сообщений М.В.Ломоносова о "замерзлой земле". В 1757 г. В.М.Ломоносов высказывал ряд интересных научных положений о природе образования "замерзлой земли", о значении рельефа и суровых климатических условий в развитии толщ мерзлых пород и создании запасов холода и подземных льдов, о длительности этого процесса, о необходимости учитывать строение "внутренности земли" для понимания распределения тепла и холода в земных недрах. Им заложено начало учения о теплообороте между земной корой и атмосферой, между внутренним и внешним холодом. В этот период были получены материалы о мерзлых грунтах в Якутии, Забайкалье и других районах. Тогда же Майдлбтон подтвердил, что в Гудзоновом заливе породы на глубине никогда не оттаивают.

В первой половине XIX в. на севере европейской части России мерзлую зону изучал Шренк. На севере Сибири А.Е.Фигурин в 1820–23 гг. при исследовании залежей подземных льдов большую часть из них отнес к "трещинным жильным". В 1825 г. в Березове А.Эрман впервые измерил температуру мерзлых пород в пробуренной им скважине глубиной 18,2 м. В 1828 г. он же пробурил скважину в Обдорске, в которой он на глубине 6,4 м замерил отрицательную температуру.

В 1828 г. Ф.Шергин, служащий русско-американской компании, закончил проходку "колодца" в Якутске, он за 9 лет достиг глубины 116,4 м. Так была создана знаменитая Шергинская шахта, которая пропала часть толщи мерзлых пород. В апреле 1829 г. А.Эрман определил температуру мерзлых пород в Шергинской шахте на глубине 15,7 м. Она составила минус 6 °С. Большое значение для изучения мерзлых пород имела трехлетняя экспедиция академика А.Ф.Миддендорфа в 1843–1846 гг. Он измерил температуру мерзлых пород в Шергинской шахте до глубины 116 м и в ряде других мест Сибири.

Латак, в первой половине XIX в. были получены данные о температуре мерзлой зоны и ее мощности, условных залегания и распространения на больших площадях Сибири.

Ш этап. Ширкис исследовал ММП (вторая половина XIX – начало XX в.). Этот этап отмечен широкой волной исследований вечной мерзлоты как в пределах Евразии, так и в Северной Америке и на островах Северного Ледовитого океана. Эти исследования связаны с именами Лопатина, Майделя, Ячевского, Толля, Богданова, Обручева, Польякова, Мывова, Поля, Сумгина и многих других инженеров-географов и геологов. Потребность всестороннего глубокого изучения подземной криосферы Сибири была в этот период вызвана усилением сельскохозяйственного и промышленного освоения ее территории, строительством Великой Транссибирской железнодорожной магистрали, развитием горного дела. Незнание законов развития вечной мерзлоты повлекло за собой деформацию и разрушения некоторых инженерных сооружений и в связи с этим большие убытки. Возникли крупные затруднения в деле водоснабжения Забайкальской и Амурской железных дорог. С началом строительства в 90-х годах XIX в. Великого Сибирского железнодорожного пути, который в пределах Восточной Сибири, Забайкалья и далее на восток пролегал по мерзлым грунтам, строители непосредственно столкнулись с большими затруднениями при проходке выемок в мерзлых породах, при организации водоснабжения железнодорожных станций, строительства железнодорожного полотна и различных других сооружений. Поэтому по просьбе Управления строительства Сибирской железной дороги была создана специальная комиссия Русского географического общества под председательством профессора Петербургского горного института И.В.Мушкетова, которая опубликовала и разработала в 1895 году первую "Инструкцию для изучения мерзлоты почвы в Сибири". Членами комиссии были А.И.Воейков, В.А.Обручев, М.Л.Дикачев, К.И.Богданович.

Созданием этой инструкции было положено начало комплексному изучению подземной криосферы. В 1889 г. А.И.Воейков опубликовал первую сводку о мерзлых породах по линии строительства железной дороги в Сибири. Он увязал развитие промерзания земной коры с изменением климатических условий.

В первой четверти XX в. исследования мерзлых пород начали развиваться более широким фронтом. Ч.С.Богданов в 1912 г.

в книге "Вечная мерзлота и сооружения на ней" осветил приемы строительства сооружений в условиях вечной мерзлоты Забайкалья и внес значительный вклад в развитие инженерного мерзлотоведения. В 1916 г. была опубликована капитальная работа А.В.Львова "Поиски и испытания водоисточников водоснабжения на Западной части Амурской железной дороги в условиях вечной мерзлоты почви".

1.2. Послереволюционный период

1 этап (1917-[1945 гг.]) - оформление мерзлотоведения как науки (школа М.И.Сумгина). В Москве создается научный центр по изучению подземной криосферы.

После Великой Октябрьской социалистической революции начался новый период развития мерзлотоведения как самостоятельной науки, созданной трудами советских мерзлотоведов. Было положено начало планомерным и целенаправленным исследованиям вечной мерзлоты и организованы научные органы для проведения этих исследований.

В 1927 г. по инициативе академика В.И.Вернадского было создано в системе Академии наук СССР первое научное учреждение по изучению подземной криосферы, а для координации всех мерзлотоведческих работ в стране - Комиссия по изучению вечной мерзлоты (КИВМ), во главе которой стал академик В.А.Обручев. Необходимость основания такого учреждения была обусловлена задачами широкого освоения районов Севера и Востока СССР.

В период с 1930 по 1936 гг. Комиссией было созвано пять совещаний по вечной мерзлоте, на которых обсуждались научные и практические достижения, координировались работы по мерзлотоведению в СССР. Начиная с 1927 г., последовательно приступают к работе научно-исследовательские мерзлотные станции в Сковородине, Петровск-Забайкальском, Анадыре, Игарке, Якутске, Воркуте, Норильске, Забайкалье, Братске.

В 1936 г. КИВМ была реорганизована АН СССР в Комитет по вечной мерзлоте, созвавши в 1939 г. VI Всесоюзную конференцию по мерзлотоведению. Работы Комитета непосредственно в районах вечной мерзлоты носили преимущественно стационарный характер, что позволило еще глубже проникнуть в механизм формирования и развития мерзлых пород. В 1939 г. Комитет был реорганизован в Институт мерзлотоведения им. В.А.Обручева

АН СССР (ИИМЕРО), который имел специальную мерзлотную лабораторию в Москве, научно-исследовательские мерзлотные станции в Воркуте, Игарке, Якутске, Анадыре, Чульмане (на Алдане) и стационар в районе Загорска (Подмосковье).

В 1940 г. Институт мерзлотоведения опубликовал первое пособие по мерзлотоведению [4]. Таким образом, накануне Великой Отечественной войны Институт мерзлотоведения (г.Москва) стал ведущим учреждением по вопросам изучения мерзлых горных пород и подземной криосфера СССР.

2 этап. Послевоенный Московский (1945-1960 гг.)

Мерзлотоведение (или геокриология) созрело к этому времени как наука, в нем формируются крупные самостоятельные разделы знаний.

В 1953 г. на геологическом факультете МГУ была организована первая в мире кафедра мерзлотоведения, ставшая важным центром подготовки специалистов-мерзлотоведов и ведущая большой объем научно-исследовательских работ в этой области. За этот период разработаны многие теоретические и методические вопросы мерзлотоведения, в частности, впервые разработаны метод анализа частных и общих закономерностей формирования сезонно- и многолетнемерзлых толщ, а также теория и практика мерзлотного прогнозирования (руководитель работ д-р геолого-минер. наук, проф. В.А.Кудрявцев).

В 1956 г. на VIII Международном совещании по мерзлотоведению было представлено 89 научных и производственных учреждений, в том числе 45 организаций, работающих вне Москвы.

В 1959 г. вышла сводная работа по общему мерзлотоведению [5]

3 этап. Якутско-Московский (1961-1990 гг.)

В 1961 г. Якутское отделение Института мерзлотоведения АН СССР было реорганизовано в Институт мерзлотоведения Сибирского отделения АН СССР. Московский институт мерзлотоведения был исключен из учреждений, а его отделы были переданы в ПИИИС Госстроя СССР.

В 1966 г. было создано УП Всесоюзное межведомственное совещание по геокриологии (мерзлотоведению) с участием многочисленных научных институтов и производственных организаций, а также ученых из Монголии, Польши и Чехословакии. Труды этого

го совещания были опубликованы в восьми выпусках тезисов и докладов участников совещания.

В эти годы мерзлотоведение успешно развивалось также в отделах институтов Госстроя (ПНИИС, НИОСП), в институте Всегеогео, на кафедрах высших учебных заведений (МГУ, ЧГИСИ, ЛГИ и др.).

В 1970 г. в Москве при АН СССР создается Совет по криологии Земли, в состав которого вошли известные учёные Москвы, Ленинграда и Сибирского отделения АН СССР.

Совет по криологии Земли АН СССР провел большую работу по созыву в 1973 г. в Якутске II Международной конференции по мерзлотоведению, которая подвела итоги современного мерзлотоведения и наметила пути его дальнейшего развития в международном аспекте. III Международная конференция по мерзлотоведению была проведена в Канаде в 1978 г.

1.3. Инженерное мерзлотоведение в транспортном строительстве

Строители железных дорог столкнулись с вечномерзлыми грунтами еще в XIX веке при строительстве Транссибирской железнодорожной магистрали. При этом российские инженеры всерьез занялись изучением такого феномена, каким является вечная мерзлота, или, как еще ее называют, "Русский Сфинкс".

Однако первый нормативный документ по транспортному строительству появился только в 1939 г. [7], разработанный большим коллективом авторов под руководством профессора Ленинградского института инженеров транспорта А.В.Ливеровского и доц. К.Д.Морозова (в разработке этого документа принимали участие профессоры М.И.Сумгин, В.В.Григорьев, В.О.Цюхер, А.П.Еремин, Н.Т.Шнейковский, С.Л.Пастамов, Л.И.Бернацкий, М.Ф.Срибин, Н.И.Быков, доценты А.В.Патилеев, А.Н.Цитович, инженера А.М.Чекотило, К.В.Петров, С.П.Качурин, Н.Д.Белокрылов, Н.Н.Толстыхин, М.И.Куров, С.Л.Колесников, В.В.Еланегский, геолог Сахарова).

После Великой Отечественной войны исследования продолжались на строящихся и построенных железных дорогах институтами ЦНИИС и СибНИИС. В 1961 г. все материала исследований были обобщены, при этом подготовлены и утверждены Минтрансстроем СССР технические указания [10].

В 1956-1962 гг. исследованиями в районах вечной мерзлоты занимался головной институт Союздорнии (г.Москва). Научную

работу по исследованию особенностей проектирования и строительства автомобильных дорог и аэродромов вел в эти годы д-р техн. наук, проф. Н. А. Пузаков. В эти же годы (1956–1961 гг.) в районах Крайнего Севера, Красноярского края, в районе Чорильского горно-металлургического комбината им. А. П. Завенягина проводились исследования под руководством д-ра техн. наук, проф. И. А. Золотаря (ВОЛММТ), который подготовил серьезную обобщающую монографию по применению гибкодисперсных грунтов в дорожном строительстве.

В 1962 г. под руководством д-ра техн. наук Н. А. Пузакова (Союздорнии) подготовлены технические указания [11]. В подготовке этого документа принимали участие канд. техн. наук Е. В. Былоожеский (снегоборьба), инж. Е. В. Уткин (борьба с наледями), А. Т. Якубова (мерзлотно-грунтовые обследования), инженеры А. Е. Дюков, М. Н. Елагин, Н. А. Ймакин, П. А. Баранов, М. М. Антошкин, В. Н. Тулумбасов (автомобильные дороги в районах Арктики), инженеры В. А. Ткачев, Х. Х. Амиров, Д. Н. Изотов, В. В. Ромм, В. А. Толчесев, канд. техн. наук И. П. Матыш под руководством канд. техн. наук М. И. Иванова (аэродромы), а также д-р техн. наук А. А. Калерт, канд. техн. наук А. И. Золотарь, Н. А. Перетрухин, инж. Н. С. Цеплюга.

В этот период тематику научных работ по зоне вечной мерзлоты в головном институте Союздорнии закрыли, финансирование этих работ прекратилось. Руководитель этой работы д-р техн. наук, проф. Н. А. Пузаков вынужден был перейти в МАДИ на кафедру строительства и эксплуатации автомобильных дорог к д-ру техн. наук, проф., заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, лауреату Государственных премий Н. Н. Иванову, где он работал до 1973 г. в должности профессора кафедры СЭД МАДИ.

Одновременно с закрытием темы в головном институте Союздорнии с 1963 г. начинаются исследования по разработке норм и технических условий по проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты в Омском филиале Союздорнии под руководством канд. техн. наук Мишнева А. А. При этом создается научная группа, занимающаяся изучением прочности и устойчивости земляного полотна автомобильных дорог:

кандидат техн. наук Б. И. Попов (работает в филиале с 1962 г. по настоящее время), А. С. Плоцкий (работает в филиале с 1963 г. по настоящее время), Р. З. Порицкий (работал в филиале с 1963 г. по 1973 г., затем переехал в Минск и работает в Белдорнии

до сих пор), В.А.Давыдов (работал в филиале почти 13 лет, с 1964 по 1976 гг., затем перешел в СибАДИ, где работает до настоящего времени); а также инженеры Н.А.Голенко, Л.Б.Зотова, Б.Ф.Бржезинский, С.М.Козырев. Позднее подключились к этой тематике с уклоном на автозимники и строительство дорог на болотах следующие специалисты-дорожники: канд.техн.наук Н.Ф.Савко работал в филиале с 1962 по 1974 гг. (погиб в Магадане), канд.техн.наук Н.М.Тупицын (работал в филиале с 1964 по 1978 гг., затем перешел в СибАДИ, где работает по настоящее время), инж.А.П.Казаков (работает в филиале с 1966 г. по настоящее время). Позднее к этой же тематике подключились исследователи дорожных одежд и материалов (Н.В.Матлаков с 1967 по 1973 гг. Ю.Е.Никольский с 1967 по 1987 гг., А.Г.Широков с 1967 по 1982 гг., умер после командировки в Афганистан, Б.Б.Самойленко с 1972 г., с перерывами, по настоящее время и др.).

В результате многолетних исследований с 1962-63 гг. по 1975-77 гг. Сибирским филиалом Союздорнии были организованы наблюдения за прочностью и устойчивостью дорожных конструкций на автомобильных дорогах в районах вечной мерзлоты (в р-не г.Норильска, на автодорогах Ленск-Мирный, Мирный-Чернишевск, Вильейская ГДС-Айхер-Трубка Удачная, Якутск-Покровск, Якутск-Намцы, Романовка-Богдарин и на др.) На основе этих 10-12-летних наблюдений на постах и опытных участках указанных дорог, а также результатов многолетних обследований дорог были разработаны дорожно-климатическое районирование территории СССР, занятой вечной мерзлотой, принципы проектирования и строительства дорог на вечномерзлых грунтах, изучены особенности водно-мерзлотного режима земляного полотна, разработаны особенности расчета дорожных одежд на прочность и конструкции земляного полотна дорог с учетом принципов проектирования, а также технология строительства земляного полотна и дорожных одежд в условиях наличия вечномерзлых грунтов и с учетом резко-континентального климата - жаркого лета и низких зимних огрязательных температур воздуха.

Разработаны также указания по организации стационарных наблюдений на дорогах, указания по мерзлотно-грунтовым исследованиям при изысканиях автомобильных дорог, методика расчета насыпи на устойчивость, рекомендации по проектированию и строительству водопропускных труб, технологические схемы сооружения земляного полотна дорог и расчет сроков производст-

ва земляных работ.

Результаты этих исследований и практические рекомендации были включены составной частью в "Инструкцию по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты" (ВСН 84-75 Минтрансстрой СССР. -М., 1976.- 218 с.), разработанную коллективом Омского филиала Союздорнии (руководитель работы канд.техн.наук В.А.Давыдов) с участием ряда организаций: Союздорпроекта (А.В.Волконский, В.И.Земсков, К.А.Постникова, В.К.Чугунов), Гипрордории (И.И.Войкин, Л.В.Дугин, А.М.Чухвичев), Промтранснипроект (А.Ф.Бохин), Белдорнии (Р.Э.Порицкий), СибДНИИС (С.М.Большаков). Эта инструкция действует по настоящее время.

После завершения этой работы исследования продолжались как в Омском филиале Союздорнии, так и в головном институте Союздорнии, а также в СибДНИИ, куда пришли на кафедру проектирования автомобильных дорог доц., канд.техн.наук В.А.Давыдов (с 1977 г.) и Н.М.Тушицын (с 1978 г.).

В 1978 г. были изданы Союздорний "Методические рекомендации по теплотехническому расчету насыпей автомобильных дорог" (М., 1978.- 32 с.), руководитель работы канд.техн.наук В.А.Давыдов, с участием инженеров Б.Ф.Бржезицкого и С.М.Козырева.

В 1980-81 гг. разработана "Инструкция по проектированию промышленных автодорог в районах Восточной Сибири" (руководитель работы канд.техн.наук В.А.Давыдов).

С 1983 г. была издана "Инструкция по проектированию автомобильных дорог для обустройства нефтяных и газовых месторождений на севере Тюменской области" (ВСН 2-134-81), разработанная коллективом авторов из Омского филиала Союздорни и СибНИИГазстроя.

В 1984-85 гг. подготовлена "Инструкция по проектированию и строительству промышленных автомобильных дорог в районах Восточной Сибири" (Минэнерго СССР), руководитель работы канд.техн.наук В.А.Давыдов.

В 1985 г. Омским филиалом Союздорнии подготовлено дополнение № I к ВСН 84-75 по применению синтетических нетканых материалов, руководитель работы канд.т.хн.наук Б.И.Попов.

1985 г. разработана "Инструкция по проектированию и строительству автомобильных дорог для обустройства нефтяных и газовых месторождений на севере Тюменской области и в дру-

тих районах тундры с аналогичными условиями (ВСН 201-85),
руководитель работы канд.техн.наук Б.И.Попов.

В 1984-88 гг. закончена переработка ВСН 84-75 и планируется
ся ее переиздание в 1990-91 гг. Работа выполняется в Омском
филиале Союздорнии, руководитель работы канд.техн.наук
Б.И.Попов, с участием авторов из ряда организаций, включая
СиБАДИ (канд.техн.наук В.А.Давыдов, Н.М.Тупицын) [ВСН 84-89].

На этом краткий исторический очерк о проводимых исследо-
ваниях в области инженерного мерзлотоведения применительно
к автомобильным дорогам можно закончить (по состоянию на
1.01.1989 г.).

2. ВЕЧНОМЕРЗЛЫЕ ГРУНТЫ

2.1. Распространение вечномерзлых грунтов

Вечномерзлые грунты распространены на одной пятой части
сушки Земного шара и встречаются на половине территории (бо-
лее 47%) СССР, большей части Аляски и одной трети террито-
рии Канады.

На территории средних и высоких широт обоих полушарий
верхние слои литосфера на относительно долгий срок охлажда-
ются до отрицательной температуры. Грунты, почвы, породы,
содержащие включения льда, называются мерзлыми, не содержа-
щие в своем составе кристаллов льда - глыбами.

Промышленное освоение новых районов немыслимо без разви-
той сети автомобильных дорог. Площадь распространения мерз-
лых пород в СССР составляет 10 млн.700 тыс.км², превышая
на 1 млн.400 тыс.км² территорию США, включая Аляску.

Тяжелые природные условия рассматриваемой зоны: низкие
отрицательные температуры (до -60°C), суровые и длинные зимы
(7-9 месяцев), близко залегающие к поверхности вечномерзлые
грунты, а также удаленность от экономически развитых рай-
онов страны и слабое развитие транспортной сети (менее 0,2 км
на 100 км² территории) - приводят к тому, что стоимость
строительства дорог в несколько раз превышает стоимость их
строительства в средней полосе.

Высокий уровень промышленно-энергетического потенциала
нашей страны позволил перейти к интенсивному освоению бога-
тейших природных ископаемых, разведанных в районах распрос-
транения вечномерзлых грунтов.

рения вечномерзлых грунтов (в Западной и Восточной Сибири, Якутии и Забайкалье):

Томской и Томской областях - запасов нефти, газа и леса;

Красноярском крае и Иркутской области - редких и цветных металлов, леса и энергетических ресурсов рек;

Якутии - алмазов, золота, угля;

Забайкалье - редких и цветных металлов, минерального сырья и др.

Директивами XXVII съезда КПСС предусмотрено в областях и краях, занятых вечномерзлыми грунтами, значительно "... расширить строительство и реконструкцию автомобильных дорог" [1]. Однако строительство автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты связано с преодолением специфических особенностей природно-климатического характера: наличие вечномерзлых грунтов, преобладание пылеватых грунтов в деятельном (сезоннооттаивающем) слое и избыточное увлажнение местности.

Как показывает многолетний опыт строительства железных и автомобильных дорог в СССР, США и Канаде, отмеченные факты обусловили специфический подход к назначению дорожных конструкций, земляное полотно которых проектируют и строят преимущественно в насыпях (выемки составляют менее 2-3%) из несцементированных обломочных грунтов.

Отечественная и зарубежная практика дала много примеров деформаций и разрушений на автомобильных дорогах в районах вечной мерзлоты, что указывает на недостаточную изученность и неполноту исследований вопросов проектирования прочного и устойчивого земляного полотна на вечномерзлых грунтах.

Применение несцементированных обломочных грунтов в качестве материала для земляного полотна еще не решает проблему его прочности и в то же время приводит к высокой стоимости строительства автомобильных дорог, превышающей в 3-5 раз их стоимость в обычных условиях.

Наиболее эффективными путями снижения стоимости строительства дорог в рассматриваемых районах следует считать:

во-первых, расширение объемов применения местных глинистых грунтов для сооружения земляного полотна;

во-вторых, учет специфических особенностей рассматриваемой зоны при проектировании дорожных конструкций с целью обеспечения их длительной прочности и устойчивости.

Вместе с тем, рациональное проектирование и строительство транспортных сооружений, в первую очередь земляного грунта.

на вечномерзлых грунтах должны базироваться на тщательном изучении материалов детальных геокриологических исследований.

В последние годы значительно повысился технический уровень проектирования и строительства земляного полотна автомобильных дорог на вечномерзлых грунтах. Однако еще недостаточно технической, учебно-методической литературы, нормативных и научно-технических документов, обосновывающих рабочие конструкции, материалы и технологии строительства автомобильных дорог на вечномерзлых грунтах.

2.2. Основные понятия, термины

Грунты называются мерзлыми, если они имеют нулевую или отрицательную температуру и содержат в своем составе лед. Грунты называются вечномерзлыми, если они находятся в мерзлом состоянии в продолжение многих лет (от 3-х и более). В их состав входят минеральные частицы, лед, вода и воздух. Величина, форма и состав этих составляющих характеризуют особую криогенную (мерзлотную) текстуру. Рассмотрим массивную, слоистую и сетчатую текстуры (рис. 2.1). Массивная текстура (рис. 2.1, а) характеризуется наличием в основном порового льда. Слоистая текстура (рис. 2.1, б) представляет собой чередование ледяных включений в виде прослоек и линий с минеральными слоями, которые имеют массивную текстуру. Сетчатая текстура (рис. 2.1, в) формируется ледяными включениями, располагающимися в виде сетки.

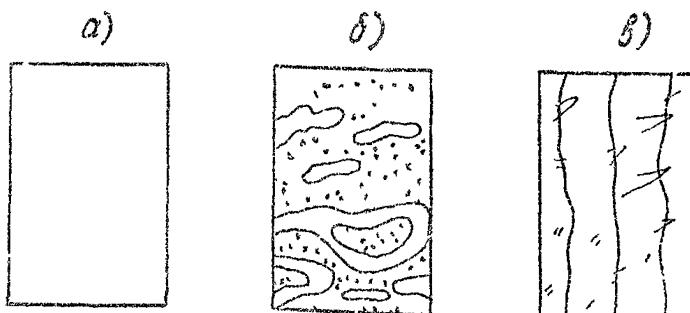


Рис. 2.1. Основные виды текстур мерзлых грунтов
а - массивная; б - слоистая; в - сетчатая

Вечномерзлые грунты классифицируются: I- по физическому состоянию (или температуре); II- по территориальному распространению; III- продолжительности существования

I. По физическому состоянию:

- низкотемпературные (твёрдомерзлые), то есть прочно спаянные льдом, практически несжимаемые грунты с температурой ниже границы замерзания грунтов (для песков пылеватых температура замерзания ниже минус 0,3 $^{\circ}\text{C}$, для супесей ниже минус 0,6 $^{\circ}\text{C}$, для суглинков ниже минус 1 $^{\circ}\text{C}$ и для глины ниже минус 1,5 $^{\circ}\text{C}$);
- высокотемпературные (пластичномерзлые), то есть с большим содержанием незамерзшей воды, с температурой ниже 0 $^{\circ}\text{C}$ и выше температуры замерзания грунтов, обладающие пыскими свойствами и характеризуемые способностью скиматься под нагрузками от сооружения.

II. По территориальному распространению вечномерзлых грунтов:

- районы географически сплошной вечной мерзлоты, то есть обширные пространства, в пределах которых вечная мерзлота, как правило, наблюдается повсеместно;
- районы, в пределах которых обширные пространства с вечномерзлыми грунтами на более или менее значительном протяжении разделены таликами. Талики представляют собой "мягкие породы", ограниченные в своем распространении мерзлыми породами;
- острова и районы островов с вечномерзлыми грунтами отделены от общего вечномерзлого массива.

III. По продолжительности существования

- кратковременномерзлые грунты (в течение нескольких суток);
- сезонномерзлые грунты (в течение нескольких месяцев, зимы года);
- многолетнемерзлые или вечномерзлые грунты (в течение двух лет, до сотен, превыше сотен и даже нескольких лет) то есть существующие "вечно".

Кроме того, могут быть случаи, когда верхний слой грунта при замерзании не сливается с вечномерзлыми (несливавшись мерзлота) и сливается (слившаяся сливавшаяся мерзлота)

(рис. 2.2).

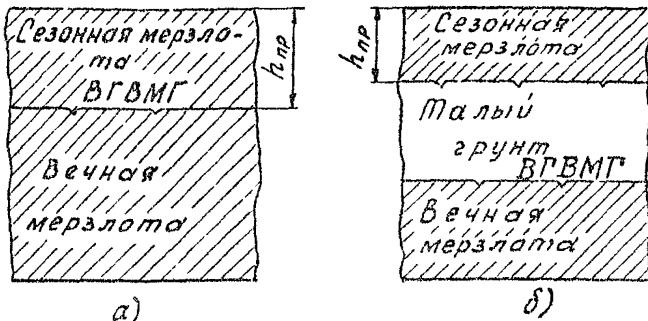


Рис. 2.2. Сливающаяся (а) и несливающаяся (б) вечная мерзлота

Полная глубина сезонного оттаивания $h_{\text{пр}}$ устанавливается замерами в конце осеннего периода (X и XI месяцы). На некоторой глубине, называемой глубиной нулевых амплитуд, где не сказываются сезонные колебания температур, замеряют постоянную температуру вечномерзлого грунта. Эта температура с отсутствием амплитуд считается основной характеристикой среднегодовой температуры вечномерзлых грунтов. Однако она непостоянна даже для одного конкретного района, а изменяется в зависимости от состава пород, их льдистости, экопозиций, наличия грунтовых вод и т.п. (рис. 2.3). На рис. 2.3 обозначено:

- A_n – годовая амплитуда температур на поверхности земли, $^{\circ}\text{C}$;
- A_1 – годовая амплитуда температур почвы на глубине H_1 , $^{\circ}\text{C}$;
- A_2 – годовая амплитуда температур почвы, толщи пород на глубине H_2 , $^{\circ}\text{C}$; A_3 – то же на глубине H_3 , $^{\circ}\text{C}$ и т.д.;
- θ_0 – нулевая амплитуда температур толши пород, т.е. $= 0$ $^{\circ}\text{C}$;
- H_0 – глубина нулевой амплитуды пород, м; $H_{\text{пр}}^{\text{ max}}$ – максимальная глубина оттаивающих летом грунтов, м;
- ВГВМГ – верхний горизонт вечномерзлых грунтов;
- НГВМГ – нижний горизонт вечномерзлых грунтов; t_0 – отрицательная температура вечномерзлых грунтов в данной точке (пункте) поверхности земли, $^{\circ}\text{C}$;
- 1 – кривая самых низких отрицательных температур толши пород по глубине;
- 2 – кривая самых высоких положительных и отрицательных температур толши по глубине.

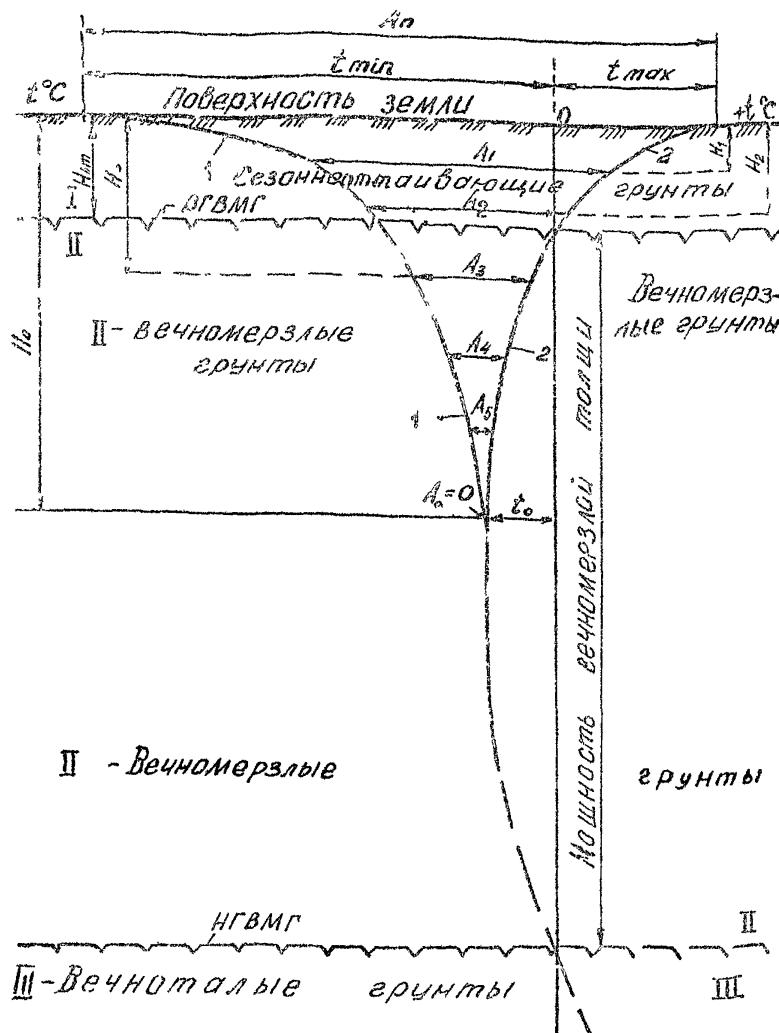


Рис. 2.3. Изменение температуры по глубине сезонно-оттаивающего слоя грунта и вечномерзлой толши пород

3. ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЗОНЫ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Разнообразие природно-климатических условий СССР учитывают с помощью дорожно-климатического районирования, нашедшего отражение в нормативных документах (СНиП 2.05.02-85, ВСН 46-87 и др.)

Многолетний опыт применения существующего дорожно-климатического районирования показал, что оно не в полной мере удовлетворяет практике проектирования дорог и требует дальнейшего уточнения и детализации.

Целесообразно территорию Советского Союза разделить на два примерно равных по площади региона. первый, основой особенности которого является сезонное промерзание грунтов, и второй, в котором поверхностный слой грунтов протаивает на некоторую глубину летом, а остальную часть года находится в мерзлом состоянии (зона вечномерзлых грунтов). Линией раздела регионов следует принять границу распространения вечномерзлых грунтов на территории СССР.

Изучение природных условий зоны вечной мерзлоты показало, что на ее территории отчетливо выражено зональное изменение основных физико-географических факторов, что обуславливает необходимость деления территории зоны на подзоны.

На основе исследований [14, 16, 17, 22], проведенных Омским филиалом Сибэкспернини (Р.З.Порицкий, В.А.Давидов и др.), и результатов многолетних наблюдений за мерзлотным режимом на постах и опытных участках автомобильных дорог, зона вечной мерзлоты разделена на три характерные подзоны (рис.3.1): первая I_1 - северная подзона низкотемпературных вечномерзлых грунтов (НТВМГ) сплошного распространения с высокой влажностью грунтов сезонооттаивающего слоя (влажность грунтов выше предела текучести); вторая I_2 - центральная подзона НТВМГ сплошного распространения с умеренной влажностью грунтов сезонооттаивающего слоя ($W_{th} = 0,7-1$); третья I_3 - южная подзона высокотемпературных вечномерзлых грунтов (ВТВМГ) сплошного и островного распространения с умеренной влажностью сезонооттаивающего слоя ($W_{th}=0,7-1$).

В основу районирования положены факторы, оказывавшие решающее влияние на устойчивость дорожных конструкций в этой зоне: вид грунта сезонооттаивающего слоя и его криоген-

ность, характер распространения вечномерзлых грунтов и их температура, мощность слоя сезонного оттаивания. Совокупность этих признаков обусловлена сочетанием климатических, грунтово-гидрологических и мерзлотных особенностей и присуща в определенной степени природным ландшафтам земной поверхности. Неизвестно, каждый природный ландшафт является уникальным, обладающим неповторимой в целом совокупностью физико-географических условий, а также типичным и наиболее распространенным комплексом природных и территориальных особенностей.

Поэтому за основу для выделения границ подзон взяты границы зональных типов ландшафтов. В схеме деления территории зоны вечной мерзлоты на дорожно-климатические подзоны (см.рис.3.1) принята нумерация подзон I_1 , I_2 , I_3 , обозначающая: первая подзона I дорожно-климатической зоны; вторая подзона I дорожно-климатической зоны и т.д. Такая форма зонирования позволяет не изменять общепринятых названий дорожно-климатических зон (см.ВСН 46-83).

Характеристика природных условий и примерные географические границы районов приведены в табл.2.1. Наиболее неблагоприятной для дорожного строительства является первая подзона I_1 , где широко распространены жильные и подземные льды, близко залегающие к поверхности земли. Здесь в большинстве мест необходимо проектировать и строить дороги с минимальным нарушением естественного режима местности, используя, как правило, первый принцип проектирования.

Природно-климатические условия второй подзоны I_2 позволяют проектировать земляное полотно по второму принципу с оттаиванием грунтов основания с учетом возникающих при этом деформаций. Третья подзона I_3 более благоприятна для дорожного строительства. Здесь вечномерзлые грунты встречаются или в виде сильнокомпактной вечной мерзлоты, или в виде отдельных мерзлых островов среди талой толщи грунта. В горных районах в связи с зональностью необходимо учитывать изменение природно-климатических условий, по мере увеличения высоты пояса. В гористой местности вечномерзлые грунты обычно встречаются на заболоченных участках, склонах северной экспозиции и пониженных затененных местах.

Земляное полотно на участках островной мерзлоты следует проектировать и строить по третьему принципу, то есть с обеспечением предварительного оттаивания грунтов основа-

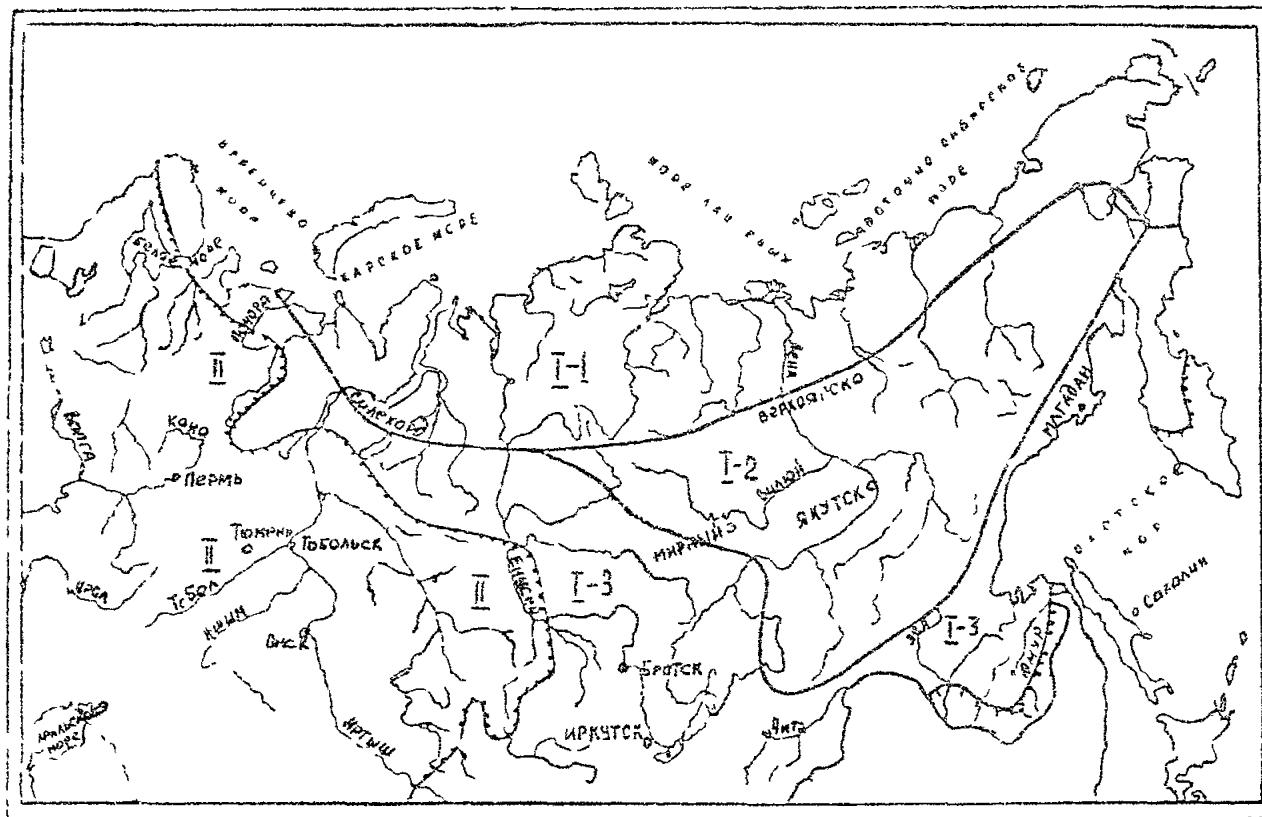


Рис.3.1. Схема дорожно-климатических районов зоны вечной мерзлоты:
I₁ - северный; I₂ - центральный; I₃ - южный; II - дорожно-
климатическая зона

Таблица 3.1

Характеристика и границы подзон зоны вечной мерзлоты

Подзона вечной мерзлоты	Характеристика гидрологических мерзлотно-грунтовых условий	Примерные границы районов		
		1	2	3
I ₁ - северная подзона низкотемпературных вечномерзлых грунтов (НТВГ) сплошного распространения	<p>Сплошное распространение вечномерзлых грунтов мощностью от 200 до 900 м и более.</p> <p>Среднегодовая температура вечномерзлых грунтов от -5 до -10 °C и ниже.</p> <p>Глубина сезонного оттаивания от 0,2 до 2 м (преимущественно менее 1 м).</p> <p>Высокое содержание в вечномерзлых грунтах льдов различных типов и их неглубокое залегание.</p> <p>Грунты глинистые, пылеватые, илловатые, тундровые и болотные со среднегодовой суммарной влажностью более предела текучести. Рельеф - равнины и низменности. Интенсивное развитие криогенных процессов</p>			Включает зону тундры и лесотундры с пятнистым микрорельефом
I ₂ - центральная подзона низкотемпературных вечномерзлых грунтов (НТВГ) сплошного распространения	<p>Сплошное распространение вечномерзлых грунтов мощностью от 50 до 400 м</p> <p>Среднегодовая температура вечномерзлых грунтов от -1 до -5 °C</p> <p>Глубина сезонного оттаивания от 0,8 до 3 м.</p> <p>Грунты скальные, щебенистые, гравийно-галечниковые и глинистые со среднегодовой суммарной относительной влажностью от 0,7 до 1,0 относительно предела текучести.</p> <p>Рельеф в основном гористый, частично нагорья и сглаженный равнинный</p>			<p>Расположен севернее линии Нарьян-Мар - Салехард-Курейка - Трубка Удачная - Верхоянск-Дружино - Горный Мис-Марково</p> <p>Включает таежную зону, зону смешанных лесов.</p> <p>Расположен восточнее линии устье реки Нижняя Тунгуска-Ергобачен - Ленск, Бодайбо - Бодарин;</p> <p>севернее линии Могоча-Сковородино - Зея-Охотск-Палатка - Слагутское.</p> <p>С севера ограничен I районом.</p>

Окончание табл. 3.1

1	1	2	1	3
I ₃ - южная подзона высоко- температурных вечно- мерзлых грунтов (ВТМГ) островного и частично сплошного распространения	Преимущественно островное распространение вечномерзлых грунтов мощностью до 50-100 м. Среднегодовая температура вечномерзлых грунтов выше -1 °C. Глубина сезонного оттаивания достигает 4 м и более. Грунты глыбчатые, глинистые, песчаные, торфоглинистые в западной части района и щебенистые, галечниковые и глинистые в восточной части района со среднегодовой суммарной относительной влажностью от 0,7 до 1,0 относительно предела текучести. Рельеф равнинный в западной части района и горный или холмистый - в восточной		Включает таежные, лесостепные и степные зоны, побережье Охотского моря. Расположен севернее южной географической границы вечно мерзлых в Европейской части ССР, на Дальнем Востоке и севернее южной государственной границы с Монголией и Китаем в Восточной Сибири. Включает северную и центральную часть Камчатки	

Примечания :

1. Границы дены примерно, их следует корректировать в процессе проектно-изыскательских работ в соответствии с характеристикой условий местности (см. текст и настоящую таблицу).
2. В горных районах в связи с вертикальной зональностью необходимо учитывать изменения природно-климатических условий по мере увеличения высоты пояса.
3. В гористой местности вечномерзлые грунты обычно встречаются из заболоченных участках, на склонах северной экспозиции и в пониженных затененных местах.
4. Таблица разработана В.А.Лавыдовым.

ния и осушения дорожной полосы до возведения земляного полотна. Для более детальной характеристики условий района расположения трассы автомобильной дороги принято делить на участки (типы местности) по характеру поверхностного стока и степени увлажнения. Такое деление на типы местности возможно также для зоны вечной мерзлоты с введением дополнений, отражающих специфические мерзлотно-грунтовые условия этой зоны (табл. 3.2), которые, в свою очередь, определяют выбор и расчет дорожных конструкций.

Т а б л и ц а 3.2
Типы местности по характеру поверхностного стока
степени увлажнения и мерзлотно-грунтовым условиям

Тип местности	Условия увлажнения		Характерные признаки
	1	2	
1-й (сухие места)	Без избыточного увлажнения. Поверхностный сток обеспечен. Естественная относительная влажность грунтов менее 0,8 от предела текучести		Каменистые возви- шенности, крутые склоны сопок, пес- чаные и гравийно- галечниковые косы с мощностью се- зоннооттаивающего слоя более 2,5 м. Грунты гравийно- галечниковые, песчаные, а так- же супесчаные, глинистые, непро- садочные
2-й (сухие места)	Избыточное увлажнение в отдельные периоды го- да. Поверхностный сток не обеспечен. Естествен- ная относительная влаж- ность грунтов от 0,8 до предела текучести		Плоские водораз- делы, пологие склоны гор и их шлейфи с мощно- стью сезонноот- таивающего слоя от 1,0 до 2,5 м. Грунты глинистые просадочные
3-й (гидравлические места)	Постоянное избыточное увлажнение. Водоотвод не обеспечен. Надмерз- лотные и длительно стоящие (более 20 суток) поверхностные воды. Естественная относительная влажность грунтов выше предела текучести		Марии, заболочен- ные тальи, ги- ги, замкнутые впади- ны с развитым мохогорячным по- кровом и малой мощностью (до 1м) сезоннооттаива- ющего слоя. Грунты глинистые сильно просадоч- ные, содержащие препелях двой-

Окончание табл. 3.2

1	2	3
		ной мощности сезонооттаивающего слоя линзы льда толщиной более 10 см

x) Грунты считаются условно непросадочными при относительной степени просадочности $\delta < 0,03$, просадочными — при $0,03 < \delta \leq 0,1$ и сильнопросадочными — при $\delta > 0,1$. Степень просадочности определяется по формуле $\delta = \frac{G_m - G_n}{G_m} \cdot 100$;

где G_m — объемный вес скелета в мерзлом состоянии, $\text{г}/\text{см}^3$;
 G_n — объемный вес скелета грунта, оттаявшего под нагрузкой

4. ПРИЧИНЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В РАЙОНАХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Обычно у поверхности земли находится слой, который ежегодно летом оттаивает, а зимой заморзает. Он называется деятелем (сезонооттаивающим) слоем (см.рис. 2.3 — I).

Для инженерных целей важнейшим вопросом являются изучение физических процессов в сезонноталом (действительном) слое и определение его толщины, поскольку инженерные сооружения главным образом возводятся на этом и в этом слое.

Постройка дороги вносит большие изменения в природный режим вечномерзлых грунтов. Влияние этих изменений необходимо все время иметь в виду, принимая те или иные проектные решения. Вырубка деревьев и кустарников на придорожной ленте и удаление мохового покрова способствует увеличению толщины деятелевого слоя. При оттаивании лылеватые льдонасыщенные вечномерзлые грунты из твердого состояния переходят в разжиженное, растекаясь под действием собственного веса.

Оттаивание вечномерзлого грунта под невысокими насыпями в зависимости от количества льда, содержащегося в грунте, вызывает дополнительные осадки или полное расплывание насыпей. На участках с близким к поверхности залеганием погребенного льда при таянии на полосе отвода могут возникать провальные озера (термокарстовые явления).

Откосы выемок, разработанных в вечномерзлых грунтах и содержащих прослойки льда при оттаивании, подвержены споливам.

Наоборот, средние и высокие насыпи, создавая теплоизоляцию, способствуют поднятию уровня вечной мерзлоты, которая может входить в тело насыпи.

Наиболее распространенный во всех зонах вид деформации — лучение земляного полотна. Оно происходит вследствие объемного расширения воды в связном грунте, при этом наибольшее пучение вызвано пополнительным поступлением воды, перемещающейся в грунт из нижележащих талых слоев грунта. Пучение интенсивно проявляется в южной части зоны вечной мерзлоты. Здесь же наблюдаются значительные деформации земляного полотна, возникающие из-за затопления его наледями. Изменение режима подземных вод и водотоков зимой при промерзании грунта часто приводит к прорыву их на поверхности и затоплению скружающей местности и дорожных сооружений, сопровождающемуся полным разрушением проезжей части.

На Крайнем Севере, наоборот, значительные деформации (термокарстовые образования, просадки и осадки) возникают в результате протаивания грунтов деятельного слоя.

Различные мерзлотно-грунтовые условия, характеризующиеся разными типами местности, обусловливают дифференцированный подход к проектированию и строительству земляного полотна автомобильных дорог.

Гидroteхнические, промышленные и жилые сооружения в большинстве случаев своими фундаментами опираются на вечномерзлую толщу, почти не меняющую своих свойств во времени. Основной элемент автомобильной дороги — земляное полотно, которое возводится на грунтовом слое, изменяющем в годовом периоде свои свойства под воздействием природных факторов, в первую очередь, температуры воздуха и влажности грунта. Из этого следует, что устойчивость дорожной конструкции в период эксплуатации зависит главным образом от состояния грунта основания (мерзлое или талое) его вида и влажности.

В настоящее время рекомендуется использовать грунты сезоннооттаивающего слоя в качестве основания земляного полотна по одному из следующих принципов:

первый — сохранение вечномерзлых грунтов в основании земляного полотна в течение всего периода эксплуатации дороги;

второй — частичное оттаивание мерзлых грунтов основания на величину, определяемую расчетом;

третий — оттаивание вечномерзлых грунтов до начала строй-

чельства дороги и осушение придорожной полосы

5. ОСОБЕННОСТИ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ НЕДЕСТКОГО ТИПА

Своеобразные гидрологические условия в сочетании с суровыми природно-климатическими факторами зоны вечной мерзлоты предопределяют особый водно-тепловую режим земляного полотна автомобильных дорог.

Оттаивание земляного полотна и основания в зоне вечной мерзлоты протекает по схеме (рис.5.1,Б), подобной схеме промерзания чайвима. во II ландшафтно-климатической зоне СССР (рис.5.1,В) так как имеет место одинаковое направление потоков генца (в зоне вечной мерзлоты) и потоков холода (в районах сезонного промерзания). В рассматриваемой зоне оттаивание происходит сверху и продолжается в течение всего теплого периода года, пока не установится динамическое равновесие между потоками тепла сверху от атмосферы и потоками холода снизу от вечномерзлых грунтов.

Процесс промерзания земляного полотна и основания в зоне вечной мерзлоты (см.рис.5.1,Б) подобен схеме процесса оттаивания в средней полосе страны (см.рис.5.1,В). В обоих случаях имеет место двустороннее направление потоков: холода - в зоне вечной мерзлоты, тепла - в средней полосе страны.

Промерзание в зоне вечной мерзлоты происходит с двух сторон: сверху - за счет отрицательных температур воздуха, снизу - за счет охлаждения от вечномерзлых грунтов.

Таким образом, в зоне вечной мерзлоты в течение всего теплого времени года в земляном полотне или в основании разрабатываемой мерзлой (вечномерзлой), практически несжимаемый слой грунта и незначительной глубине оттаивания (до 1,5 м).

Как установлено (Н.А.Цытович и др.), модули упругости (изоформации) мерзлых глинистых грунтов имеют высокие значения, а галых - в несколько раз (иногда в десятки раз) меньше. В первоначальном состоянии от мерзлого к талому величина модуля упругости может иметь различные промежуточные значения, которые уменьшаются как за счет перехода мерзлого состояния грунта в талое, так и более глубокого расположения мерзлого слоя грунта. Это полотно -

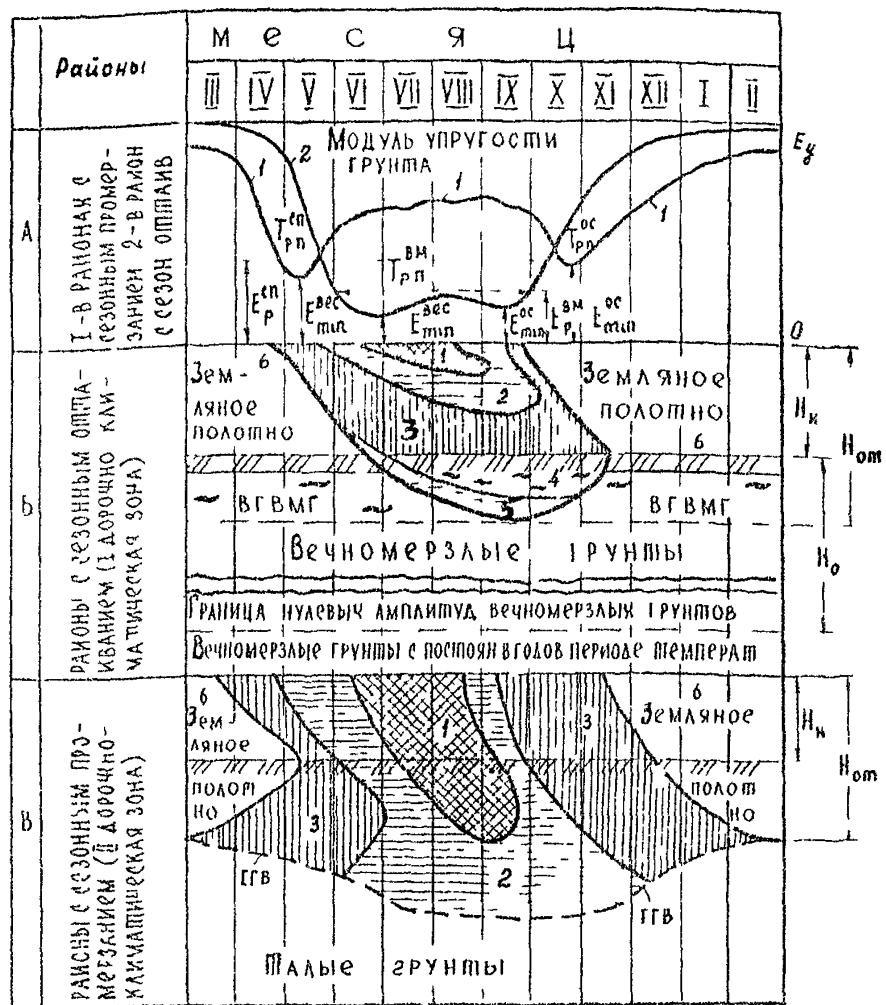


Рис. 5. Г. Схема годового цикла водно-теплового режима земляного полотна и основания в районах вечной мерзлоты и сезонного оттаивания грунтов:

А - изменения модуля упругости грунта земляного полотна в горючом периоде; Б и В - схемы ледотаяивания, промерзания и увлажнения; 1 - сухой талый грунт; 2 - влажный талый грунт; 3 - галый грунт повышенной влажности; 4 - пересушенный талый грунт; 5 - нацилмерзлотная вола; 6 - твердоледогрязный грунт; 7 - прослойки и линзы льда; H_n - высота пучин; H_{om} - мощность слоя оттаивания (промерзания); H_0 - глубина расположения границы нулевых амплитуд

ние имеет большое практическое значение для проектирования и строительства дорог в указанных районах, так как регулированием глубины расположения вечномерзлого слоя грунта можно повысить величину эквивалентного модуля упругости грунта земляного полотна, увеличивая таким образом прочность всей дорожной конструкции.

Многолетние исследования на дорогах Якутской и Бурятской АССР позволили проследить за изменением модулей упругости и деформации в процессе оттаивания, которые определяли с помощью пресса и жестких металлических штампов диаметрами 20, 25 и 34 см. При $H_{\text{от}} = 0$, то есть, когда грунт был мерзлым, модули упругости, по данным наших опытов, имели огромную величину: $E_y = 2 \times 10^2 - 25 \times 10^3 \text{ кгс/см}^2$, а $E_d = 0,4 \times 10^3 - 5 \times 10^3 \text{ кгс/см}^2$. При глубине оттаивания 4-5 см модуль упругости составлял уже $1800 - 2190 \text{ кгс/см}^2$, а деформации $- 629 - 347 \text{ кгс/см}^2$.

Затем по мере увеличения глубины оттаивания грунта величина его эквивалентного модуля упругости быстро уменьшалась. Это происходило вследствие перехода грунта из мерзлого состояния в талое (за счет разрушения в нем льдоцементирующих связей) и удаления от поверхности более прочного мерзлого слоя грунта.

При глубине оттаивания, равной 3-4 диаметрам штампа, модули упругости достигали минимальных значений, близких по абсолютной величине к модулям плотности талого грунтового полуустройства. Таким образом, при глубине оттаивания более 4 диаметров штампа влияние мерзлого слоя практически прекращается (составляет менее 4-5 %). Это явление необходимо учитывать при расчетах прочности дорожных конструкций. На величину модуля упругости кроме влажности и плотности глинистого грунта значительное влияние оказывает положение мерзлого слоя при оттаивании, ограничивающего зону обжатия грунта. Вопрос о распределении напряжений и деформаций до настоящего времени наиболее полно разработан только применительно к упругому изотропному полуустройству при действии статических нагрузок. Величины сжимающих напряжений, возникающих на контакте грунтового слоя и жесткого основания, исследовались за рубежом (Мелан, Бюо, Моргерр и др.) и в нашей стране (О.Я.Шехтер, К.Е.Егоров, М.И.Горбунов-Посадов и др.). Получены аналитические решения и разработаны приемы численного определения напряжений и деформаций.

Согласно этим решениям, а также опытным данным О.Ф.Илии-

тина в ХАИ, В.А.Павидова в Омском филиале Союздорнии и др. установлено, что величина осадки в системе с несжимаемым основанием меньше, чем в однородном полупространстве. Была получена картина распределения сжимающих напряжений в слое грунта ограниченной толщины на несжимаемом основании. При этом установлено, что наличие жесткого несжимаемого слоя вызывает концентрацию напряжений по оси нагрузки. Отгравивание грунта создает сложную многослойную систему, которую с некоторыми допущениями можно принять за двухслойную.

Величину эквивалентного модуля упругости системы - талый (верхний) плюс мерзлый (нижний) слой - можно определить, принимая мерзлый слой грунта абсолютно несжимаемым. В этом случае влияние нижнего более прочного и жесткого слоя уменьшает осадку под нагрузкой верхнего талого однородного грунта, повышая таким образом прочность системы - упругопластичный слой грунта плюс жесткое несжимаемое основание. Это явление можно учесть, используя решение К.Е.Горрова, основанное на формуле Маргера:

$$\beta = \int^{\infty} \chi \left(\frac{r}{H} t \right) \chi \left(\frac{R}{H} t \right) \frac{sh^2 t}{sh t \cdot ch t + t} \frac{dt}{t} \quad (5.1)$$

где R - радиус штампа, см; t - расстояние от центра круглого штампа до точки, перемещения которой определяют, см; χ - функция Бесселя нулевого порядка первого рода; χ - функция Бесселя нулевого порядка второго рода; sh , ch - соответственно гиперболические синус и косинус; t - произвольный параметр интегрирования; H - мощность талого слоя грунта, см.

Для точек, расположенных под центром нагруженной площадки, то есть при $\gamma = 0$, $\chi_0 = 1,0$, коэффициент влияния жесткого несжимаемого слоя на величину модуля упругости является обратной величиной коэффициента β :

$$\lambda = \frac{1}{\beta} = \frac{\chi_0}{\chi_0 \left(\frac{R}{H} t \right)} \frac{sh^2 t}{sh t \cdot ch t + t} \frac{dt}{t} \quad (5.2)$$

Таким образом, влияние мерзлого слоя на прочность отапливаемого грунта может быть определено по формуле (5.2) или по графику (рис. 5.2).

В грунтах земляного полотна и основания, как правило, прочность по глубине неоднородна (в верхних слоях меньше, а в нижних больше) и в течение всего периода оттапливания имеет не постоянные значения см, рис. 5.2), указанную закономерность

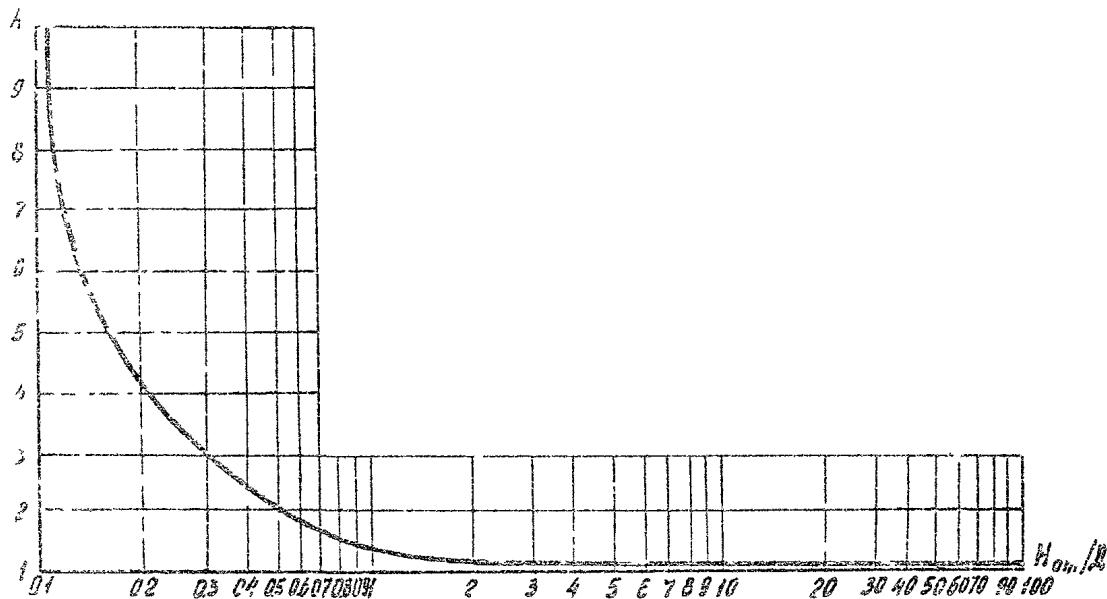


Рис.5.2. График для определения коэффициента влияния
мерзлого слоя A на величину модуля упругости
(деформации) в зависимости от относительной глубины
залегания мерзлого слоя $H_{0,0}/R$

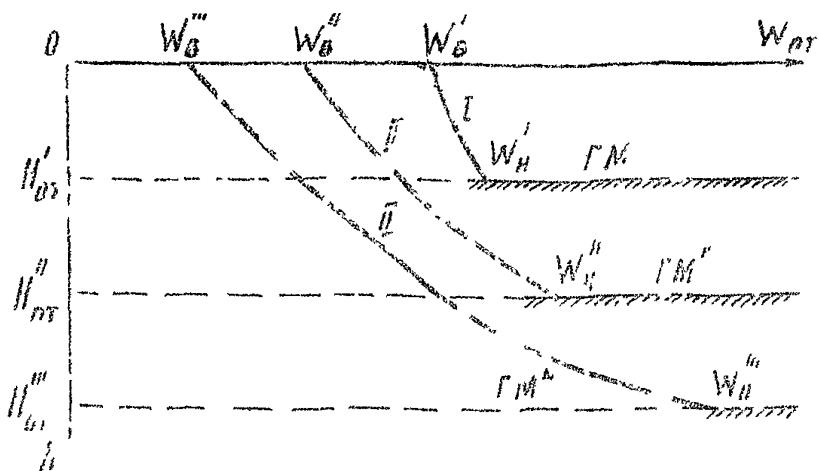


Рис.5.3. Изменение влажности суглинов по мере оттаивания сляя насыпи в течение весенне-летнего периода: I - влажность грунта в весенний период (начало оттаивания); II - влажность грунта в начале летнего периода; III - влажность грунта в конце летнего периода; ГМ - горизонт мерзлоты

для естественных условий зоны вечной мерзлоты отмечали кр.р.И.А. Бузаков и мерзлотоведы, однако практических рекомендаций по ее учету при оценке прочности грунтов не было сформулировано.

Характерные эпюры распределения влажности по глубине оттаившего слоя в расчетный период (весна-лето) были установлены автором в процессе исследования автомобильных дорог в зоне вечной мерзлоты [14, 16, 22]. В начале оттаивания земляного полотна (весна) полотно удаляло влажность верхнего активного зоны грунта (весенний период), затем, по мере опускания грунта оттаивания вниз, вслед за горизонтом мерзлоты опускается влага под действием гравитационных сил.

1. Первый период за счет испарения с поверхности в единичных просыхают верхние слои земляного полотна, в которых на границе с морозом грунтом наблюдается маловлажность, нередко достигающая предела текучести. Изменение влажности определяется горизонтальным положением по глубине, что следует учитывать в проекции нагрузок на дорожных конструкций.

12. Тогда проекция данных на глубину влажности дает [14, 16] второй опи-

установлено (1966 г.), что при глубине оттаивания более величины h_0 , равной 3 диаметрам штампа, влажность грунта по слоине распределяется по экспоненциальной зависимости. Следовательно зная влажность верхнего и нижнего слоев, можно по зависимости $E = f(h)$ определить соответствующие значения модулей упругости или деформации любого слоя грунта. При этом целесообразно использовать метод вычисления осадок и напряжений отдельных слоев, основанный на решении задач по законам теории упругости. Многослойная система дорожной конструкции может рассматриваться как упругое неоднородное полупространство, состоящее из однородных слоев, связанных между собой условием непрерывности напряжений и перемещений. Каждый из слоев характеризуется определенной толщиной, модулем упругости и коэффициентом Пуассона. Величину эквивалентного модуля упругости на поверхности неоднородного по глубине земляного полотна можно получить, используя решение Б.И.Когана, разработанное для конструирования дорожных одежд. На основе этого решения разработана [15] nomogramma (см.рис.5.4). В общем виде график изменения модуля упругости грунта от глубины оттаивания с учетом мерзлого слоя и неоднородного увлажнения описывается уравнением

$$E_y^{\text{общ}} = E_y^0 \left[1 + \frac{\rho}{\rho_m} + \frac{\rho}{(\rho/\rho_m)^2} \right], \quad (5.3)$$

где выражение в квадратных скобках названо обобщенным коэффициентом влияния мерзлого слоя грунта и неоднородного увлажнения его по глубине Δy ; ρ и ρ_m – коэффициенты, зависящие от типа грунта, величины относительной деформации и других факторов (табл.5.1); E_y^0 – модуль упругости однородного массива грунта при определенных значениях его влажности и плотности.

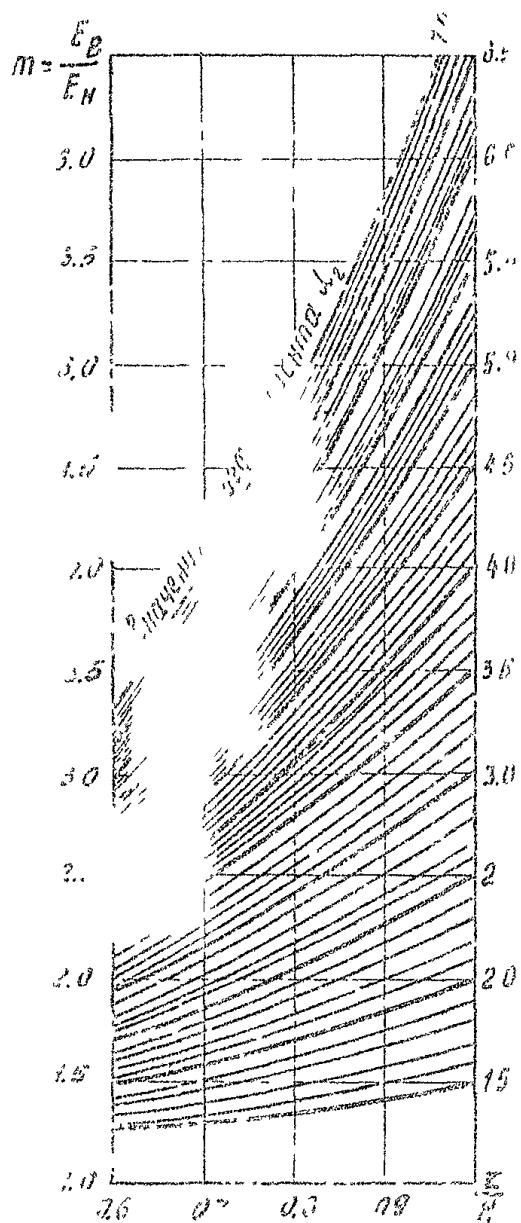
На рис.5.5 приведен пример зависимости общего модуля деформации грунта (сущес.) земляного полотна на одном из опытных участков, построенных на автомобильной дороге У катерогии в Бурятской АССР.

По исследованиям Н.А.Пузакова, В.Ф.Бабкова, С.А.Голованенко, И.А.Золотаря, В.М.Сиденко и др. [13] снижение прочности (модуля деформации и модуля упругости) грунтов земляного полотна (см.рис.5.1, А) в районах сезонного промерзания происходит весной на незначительный срок $T_{пр}^{min}$, исчисляемый 5–15 днями в IV и 15–30 днями в II и III дорожно-климатических зонах.

По исследованиям В.А.Давыдова [14, 16] в зоне вечной мерзлоты прочность земляного полотна в течение весенне-летнего периода понижается до очень малых величин $E_{min}^{\text{вес}}$, $E_{min}^{\text{лет}}$ (см. рис. 5.1, А), а продолжительность расчетного периода $\tau_{\text{рас}}$ увеличивается до 1,5-4,0 и более месяцев, то есть практически достигает 0,7-0,9 всего периода теплого времени года. Этот существенный фактор - длительность ослабленного (расчетного) состояния грунтов земляного полотна - необходимо учитывать в расчетах прочности дорожных одежд, что повысит надежность и долговечность всей дорожной конструкции (см.рис.5.5).

Т а б л и ц а 5.1
Значения параметров β и C и минимальных (критических) значений модуля деформации E_g при относительной глубине оттаивания грунта Н/Д

Грунт	Относительная деформация при λ	Критические точки			E_g^{min}	Н/Д
		$E_g^{\text{с}}$	β	C		
Экспериментальные средние кривые						
Супеси	0,01	420	-2,42	5,07	300	4,5
	0,02	305	-2,23	4,8	220	4,0
	0,03	220	-2,23	3,9	150	3,5
Экспериментальные минимальные кривые						
	0,01	300	-4,2	7,3	120	3,5
	0,02	230	-3,7	6,2	100	3,3
	0,03	160	-3,0	4,5	80	3,0
Экспериментальные средние кривые						
Суглинки	0,01	340	-3,3	6,6	200	4,0
	0,02	270	-3,1	5,5	150	3,5
	0,03	200	-3,0	4,5	100	3,0
Экспериментальные минимальные кривые						
Глины	0,01	200	-4,2	6,3	60	3,0
	0,02	150	-3,7	5,2	50	2,8
	0,03	100	-3,0	3,75	40	2,6



Фиг. 2.4. Номограмма для расчета коэффициента отражения продольного волны от границы двух сред в зависимости от величины коэффициента модуля упругости и плотности волны в первом из них

Составлено Г.И. С.

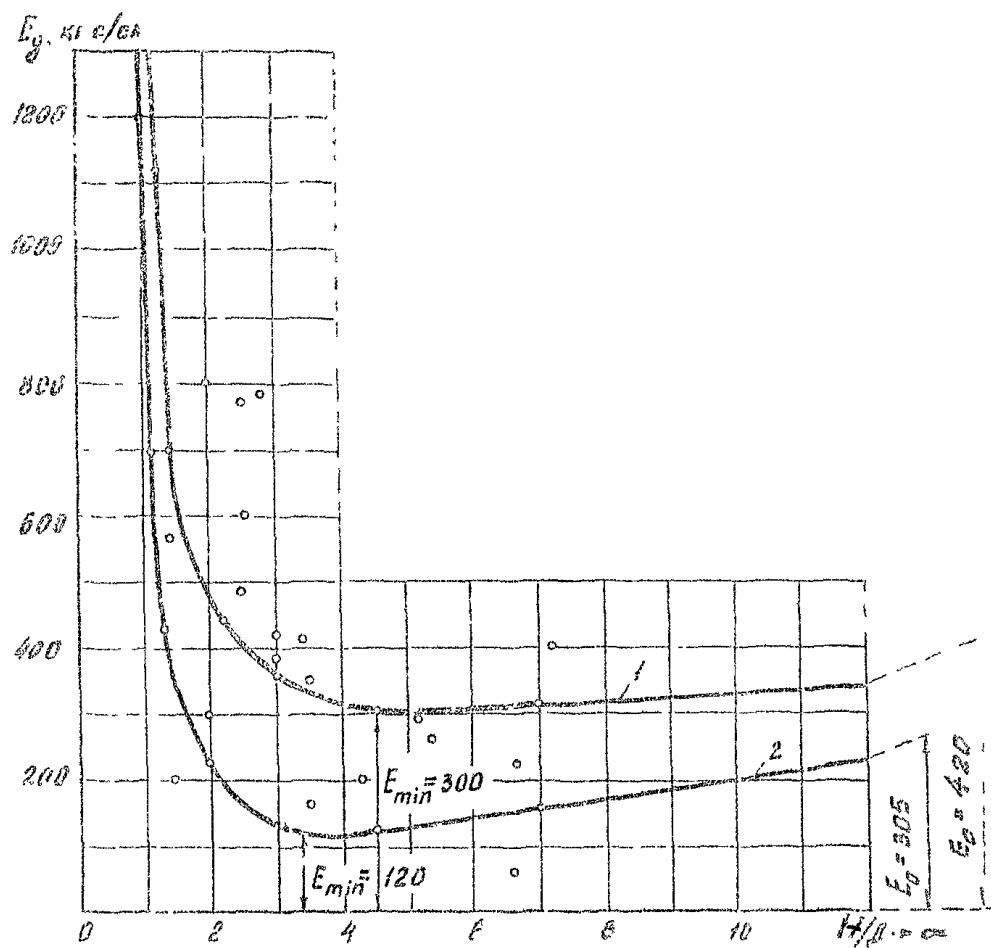


Рис. 5.5. Изменение модуля деформации оттаивающего супесчаного грунта (при $\lambda_0 = 0,01$) на одном из опытных участков: 1 - для средних значений модуля деформации; 2 - для минимальных значений

СОБСТВЕННОСТИ РАСЧЕТА ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОЧНОСТЬ

При расчете прочности конструкции дорожных одежд в зоне ежедневного морозотеплого цикла следует учитывать основные факторы водно-теплового режима земляного полотна, руководствуясь в основном СН 46-83 и ВСН 84-75. При этом дорожная конструкция (земляное полотно в чомилекое с дорожной одеждой) должна удовлетворять трем условиям:

$$E_{\text{дн}}^{\text{одн}} > E_{\text{тр}}^{\text{р}} \quad (6.1)$$

$$\sigma_p \leq R \quad (6.2)$$

$$\sigma \leq |T_a| \quad (6.3)$$

где $E_{\text{дн}}^{\text{одн}}$ - общий модуль упругости дорожной конструкции, MPa ; $E_{\text{тр}}^{\text{р}}$ - требуемый модуль упругости дорожной конструкции, определяемый по формуле (6.4) в зависимости от расчетной нагрузки, состава и интенсивности дорожного движения и длительности расчетного периода. MPa ; σ_p - наибольшее растягивающее напряжение при изгибе в материале рассматриваемого слоя одежды, MPa ; R - предельно допустимое растягивающее напряжение при изгибе в материале конструктивного слоя с учетом усталостных явлений, MPa ; T_a - наибольшее активное напряжение сдвига в грунте или связанным материале конструктивного слоя одежды, которое слагается из активных напряжений сдвига от временной нагрузки T_a и веса вышележащих слоев T_a , MPa ; $[T_a]$ - допустимое активное напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в слое дорожной одежды, MPa .

Численные величины $E_{\text{дн}}^{\text{одн}}$, σ_p , R , T_a , $[T_a]$ определяют по рекомендациям и указаниям ВСН 46-83.

Требуемый модуль упругости дорожной конструкции определяют по формуле

$$E_{\text{тр}}^{\text{р}} = E_{\text{тр}} K = \frac{P}{L_y} K \quad (6.4)$$

где $E_{\text{тр}}$ - требуемый общий модуль упругости дорожной конструкции, определяемый по ВСН 46-72 то есть без учета длительности расчетного периода; P - нагрузка от расчетного автомобиля на дорожное покрытие, MPa ; L_y - допустимый упругий прогон дорожной конструкции, устанавливаемый в зависимости

от материала покрытия и условий его работы в рассматриваемом районе; K - коэффициент учитывающий длительность расчетного периода.

Автором установлены следующие средние значения коэффициента K для всех дорожно-климатических районов зоны вечной мерзлоты: для района I_1 - $K=1,3$, I_2 - $K=1,2$; I_3 - $K=1,1$. Разработаны также nomogramma (рис. 6. 1), позволяющая дифференцированно определить коэффициент K для различных конкретных пунктов зоны вечной мерзлоты.

Нормативные нагрузки на дорогах общей сети (I_1 -я категория) и для городских дорог принимают по ВСН 46-33.

На подъездных и внутренних дорогах промышленных предприятий нормативную нагрузку для дорог III и IV -й категорий принимают на основе технико-экономических расчетов из условий проектирования принятых расчетных типов автомобилей и автопоездов.

Влияние мерзлого слоя на прочность при известной глубине оттаявания дорожной конструкции учитывают по формуле

$$\bar{E}_y(g) = A'_y(g) E_y(g), \quad (6.5)$$

где $\bar{E}_y(g)$ - общий модуль упругости (деформации) оттаявшего грунтового массива, MPa ; $E_y(g)$ - расчетное значение модуля упругости (деформации) грунта, определяемое по табл. 6.1 и 6.2 или при известной расчетной влажности по графикам (рис. 6.2, 6.3); $A'_y(g)$ - комплексный коэффициент, учитывающий влияние мерзлого слоя в зависимости от глубины оттаявания (Чот или Нот/Д) и неоднородное увлажнение земляного полотна и сезоннооттаяющего слоя по глубине; определяют по табл. 6.3.

Таблица 6.1

Значения E_y и E_d

Грунт основания	Расчетные значения.	
	E_y	E_d
Суглинок пылеватый	90-150	30-60
Супесь пылеватая	110-120	40-80
Песок мелкий пылеватый	140-260	70-120
Суглинок с примесью до 20 % щебня	150-240	70-90
Суглинок с примесью до 50 % щебня	190-280	90-120

Примечание. Значения модулей упругости приведены по Н. А. Даентову, а модулей - по И. А. Чуякову.

Расчетные прочностные и деформативные характеристики материалов принимают по ВСН 46-83, грунтов естественного основания – по табл. 6.1 и грунтов земляного полотна – по табл. 6.2.

Расчетные значения прочностных характеристик σ и ϕ грунтов естественного основания принимают по СНиПу.

Величины расчетных модулей упругости и деформации, сцепления и угла внутреннего трения установлены в работах В.А.Давидова [14, 16, 22] на основе фактического материала, полученного при многолетних обследованиях дорог и обработанного методами математической статистики (см. табл. 6.2).

Зависимость модуля деформации грунтов от их влажности (см. рис. 6.2) может быть выражена уравнением

$$E_d^{\lambda\sigma} = E_d^r / \nu_{\text{огн}}^n, \quad (6.6)$$

где $E_d^{\lambda\sigma}$ – модуль деформации грунта при определенных значениях относительной деформации ($\lambda = 0,01; 0,02; 0,03$ и т.д.) и относительной влажности $\nu_{\text{огн}}$, МПа; E_d^r – значение модуля деформации грунта, которое соответствует влажности предела текучести, МПа; n – безразмерный коэффициент, зависящий от типа грунта и его физико-механических свойств.

Значения модулей деформации грунтов на пределе текучести E_d^r и коэффициентов n устанавливают экспериментально. Выполненная статистическая обработка многочисленных экспериментальных данных позволила установить значения E_d^r и n для характерных грунтов зоны вечной мерзлоты (табл. 6.4).

Модуль упругости грунтов земляного полотна является более стабильной характеристикой. Он в меньшей мере зависит от относительной деформации грунта. Основное влияние на величину модуля упругости грунта оказывает его влажность.

Статистическая обработка фактических данных по определению модуля упругости E_y грунта позволила вывести аналогичную зависимость:

$$E_y = E_y^r / \nu_{\text{огн}}^n, \quad (6.7)$$

где E_y – значение модуля упругости грунта, соответствующее определенной влажности $\nu_{\text{огн}}$, МПа, E_y^r – значение модуля упругости грунта, соответствующее влажности предела текучести

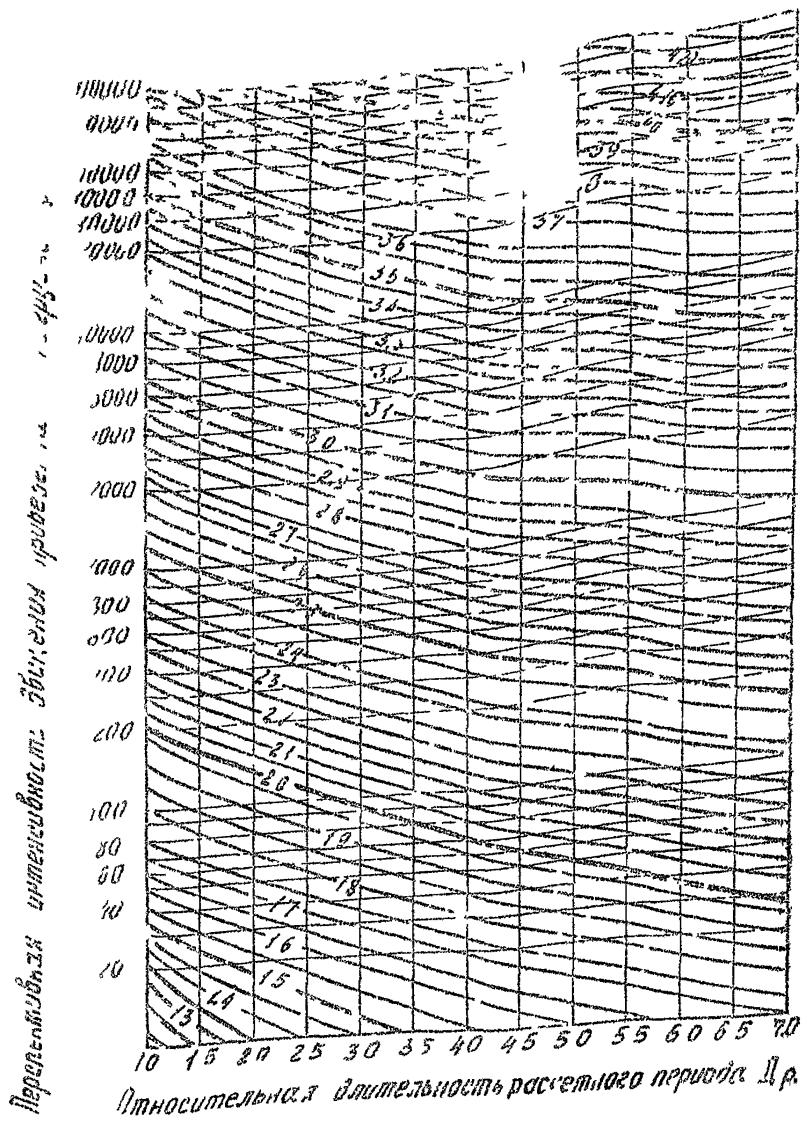


Рис.6.1. Номограмма значений коэффициента \bar{v} , учитывающего относительную длительность расчетного периода $\bar{\Delta}_p$, повторность и линейность воздействия транспортных средств расчетной характеристики движения M_p

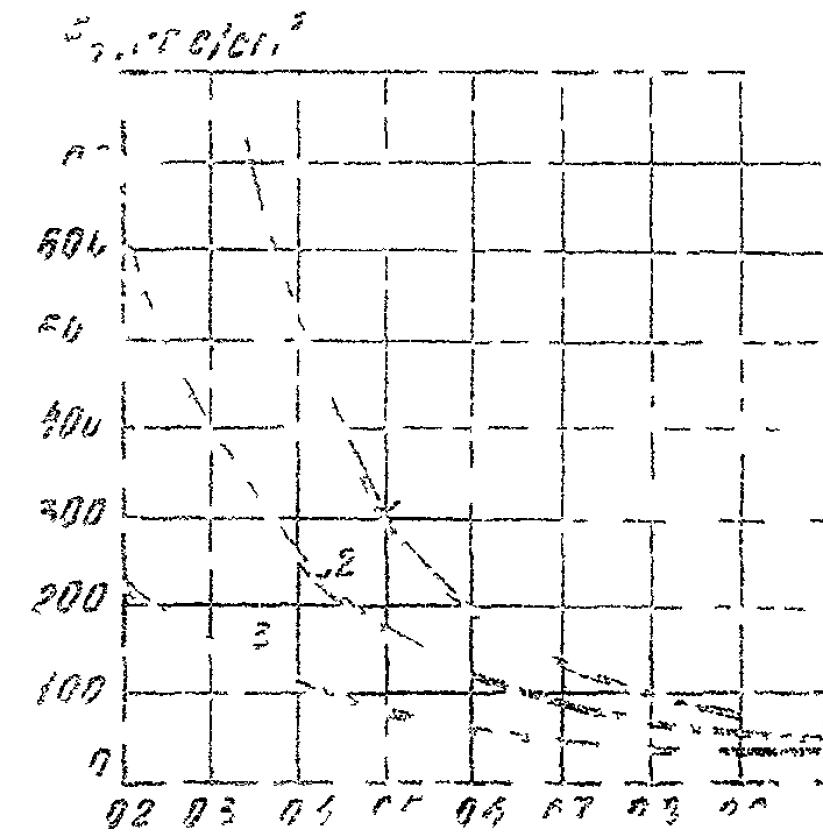
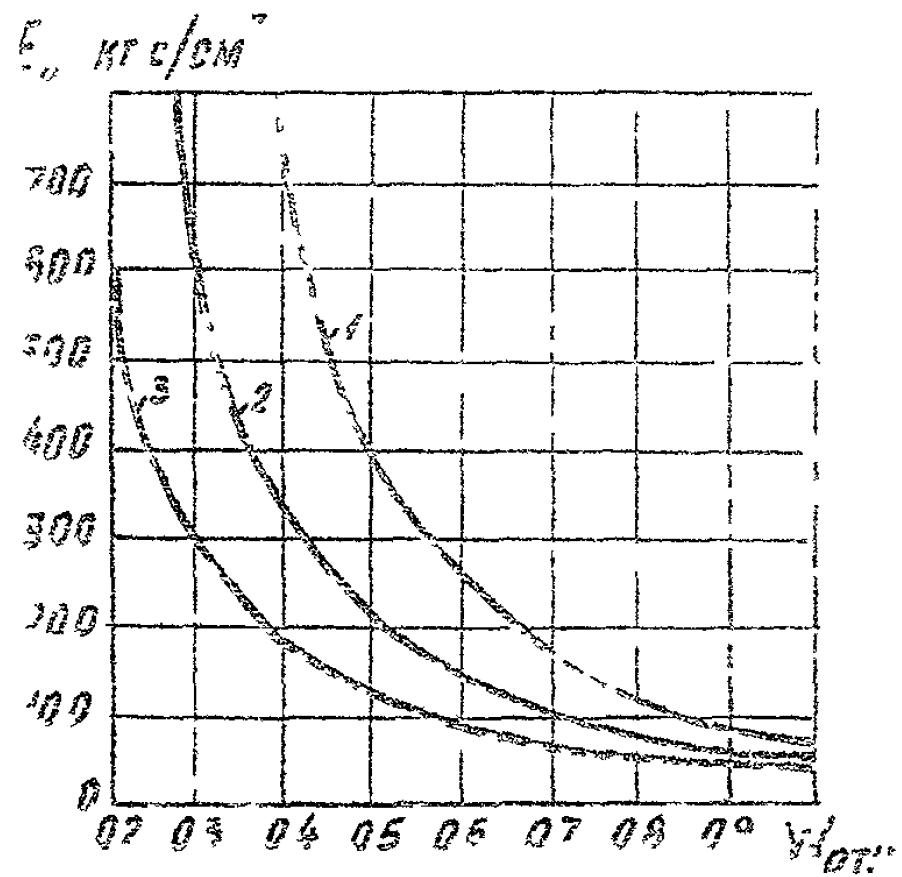


Рис.6.2 Зависимость модуля деформации грунтов земляно-погодных от влажности: а - суглинки; б - суглиники ГЛГ
 1, 2, 3 - соответствующие при $\lambda_r = 0.07$; 0.02; 0.73

2 2 0 3 2 1 9 6.2

10500-7 534 0 ИСВАЛЕН													
		I ₃ - в раз		I ₂ - центральная				северная					
		W ₀	z ₀	C	ψ	W ₀	E ₀	C	ψ	W ₀	E ₀	C	ψ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Сух. легкие, ог- жидные смеси		6.46	570	0,18	37	0,50	500	0,45	35	0,56	450	0,44	36
Пески пылеватые, сухие тяжелые		0,56	420	0,42	36	0,59	350	0,39	33	0,63	350	0,36	32
Сух. легкие и тяжелые		0,68	280	0,60	48	0,71	250	0,54	44	0,75	240	0,5	43
Сухие пылеватые и глинистые пески, сухие к легким пылеватым и тяжелым		0,82	180	0,18	16	0,83	175	0,16	14	0,84	160	0,15	11
Сухие легкие, ог-жидные смеси		0,53	60	0,44	26	0,56	420	0,43	34	0,65	440	0,4	33
Пески пылеватые, сухие тяжелые		0,75	250	0,3	34	0,4	285	0,27	20	0,75	230	0,25	22
Сухие легкие и сухие, глины		0,71	290	0,35	38	0,82	160	0,39	38	0,86	160	0,38	37
Пески пылеватые и глинистые пылеватые, сухие легкие и тяжелые		0,99	140	0,76	74	0,92	150	0,72	72	0,91	130	0,72	70

Окончание табл. 5.2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3-й	Супеси легкие, оптимальные смеси	0,54	440	0,4	35	0,62	360	0,39	33	0,71	300	0,35	31	
	Пески пылеватые, супеси тяжелые	0,78	260	0,2	22	0,80	250	0,22	20	0,82	240	0,18	15	
	Суглинки легкие и тяжелые, глины	0,82	180	0,26	32	0,84	160	0,25	30	0,87	150	0,23	26	
	Супеси пылеватые и тяжелые пылеватые, суглинки легкие пыле- ватые и тяжелые пыле- ватые	0,93	120	0,14	II	0,94	110	0,12	10	0,95	100	0,09	8	

51

Примечания:

1. Значения модулей, влажности и показателей сдвига даны для однородных по зерновому составу грунтов мощностью слоя не менее 0,6 м при требуемом уплотнении.
2. Расчетные показатели грунтов приведены при 5%-ной обеспеченности.
3. Значения E_u и C даны в $\text{кгс}/\text{см}^2$, значения угла внутреннего трения -- в градусах.

Таблица 6.3

Значения коэффициентов λ'_y , λ'_z

Относительная влажность грунта, %	Глубина отсыпания, м	Суспеси			Суглинки и глины		
		λ'_y	λ'_z	λ'_y	λ'_z	λ'_y	λ'_z
0,125	4	354,1	362,2	292,2	304,2		
0,25	2	81,3	85,4	67,0	69,4		
0,5	1	17,7	18,4	14,0	14,1		
1,0	0,5	3,4	3,5	2,45	2,5		
1,5	0,33	1,28	1,31	0,84	0,86		
2,1	0,24	0,64	0,65	0,41	0,42		
3,5	0,2	0,50	0,51	0,34	0,35		
3,0	0,17	0,43	0,45	0,33	0,34		
3,3	0,15	0,43	0,45	0,35	0,36		
2,5	0,14	0,44	0,46	0,36	0,37		
4,0	0,13	0,45	0,46	0,38	0,40		
4,5	0,11	0,47	0,49	0,41	0,43		
4,8	0,10	0,49	0,50	0,44	0,46		
5,0	0,10	0,50	0,51	0,46	0,47		
6,0	0,09	0,53	0,55	0,50	0,52		
10,0	0,05	0,65	0,69	0,64	0,68		
	0	1,0	1,0	1,0	1,0		

Таблица 6.4

Значения модуля деформации грунта

Грунт	$\lambda'_y = 0,01$		$\lambda'_y = 0,02$		$\lambda'_y = 0,03$	
	E'_y	n	E'_y	n	E'_y	n
Суспеси	60	2,42	50	2,07	45	1,62
Суглинки и глины	50	2,32	45	1,80	36	1,18

грунта, МПа; λ'_y — относительная влажность грунта; n — коэффициент, зависящий от вида грунта.

Уч. № 1 (6.6) и (6.7) справедливы в пределах значений от-

носительной влажности грунта от 0 до 1 с шагом 0,1 (см. рис. 6.3). Значения модулей упругости на протяжении текучести грунта E_y и коэффициента m устанавливают экспериментально. На основании статистической обработки многоочисленных экспериментальных данных значения E_y , m для каждого грунта, взятых вдоль меридиона почвенно-растительного покрова, приведены в табл. 6.5.

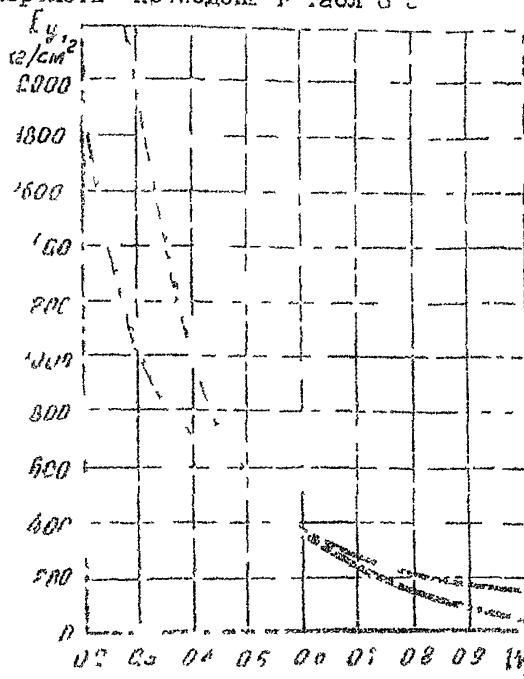


Рис. 6.3. Зависимость модуля упругости грунта от его влажности: 1 — суглинки и глины; 2 — супеси

Таблица 6.5
Значения модуля упругости грунтов

Грунт	E_y kg/cm^2	m
песок	80	1,59

7. ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫСОТЫ НАСЫПИ И ШИРИНЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА МЛП

Как уже отмечалось, в рассматриваемом зоне проектирования плана трассы, продольного и поперечного профилей имеет ряд особенностей, обусловленных природно-климатическими и мерзлотно-грунтовыми условиями.

Наиболее экономично проектировать и строить дорогу по кратчайшему направлению между зашитыми грузообразующими пунктами, которому соответствует прямая линия. Однако в рассматриваемой зоне такому трассированию препятствуют не только элементы рельефа земной поверхности, встречающиеся в любых условиях (горы, овраги, реки, озера, болота), но и специфичные для вечной мерзлоты явления (буగры и скульптуры, термокарстовые впадины, участки с солифлюкционными явлениями, наледи, мандрирующие озера, скопления массивов подземного льда, мари).

Основные технические нормы и требования по проектированию изложены в продольного профиля автомобильных дорог изложены в специальной (СНиП 2.05.02-85, ВСН) и учебной литературе. Особенности изысканий и проектирования дорог в районах вечной мерзлоты изложены в специальной инструкции Г257, разработанной коллектиком научных работников Омского филиала Сибздорнии с участием проф. Н.А. Нузакова (МДИ) и проф. И.А. Золотаря (СОЛАТТ).

Конструирование поперечных профилей земляного полотна базируется на принципах проектирования, изложенных в разделе 4. При этом большое значение придается назначению высоты земляного полотна и его ширины. Высоту земляного полотна следует назначать по геопротектическому расчету, используя рекомендуемые методы расчета промерзания, протаивания грунтов и насыпей дорог, ширину земляного полотна по расчету в зависимости от габаритов преобладающего типа машин, обретающихся по дорогам.

Обследование дорог, выполненные в течение 1964-1974 гг. показали, что в рассматриваемых районах автомобили большой грузоподъемностью составляют до 60 %.

При ширине проезжей части 6-7 м проектная скорость движения (соответственно 40-60 км/ч) автомобилями по мостоподъемным участкам, так называемым изогибам, оказалось, что 5-10 км/ч, что является за собой выполнение функционально-транспортной

издергки и керечко создает аварийную ситуацию, особенно гра-
-тс гречах с большими автомобилиями.

Ширину полосы движения B_x для дорог с двусторонним
движением определяют по формуле

$$B_x = \frac{K_x \cdot C_x}{2} + 0,10$$

где K_x — ширина кузова автомобиля, м; C_x — ширина колеи ав-
томобиля x , м; V_x — расчетная скорость движения автомобиля,
м/ч.

Полученную по расчету ширину проезжей части следует
округлить до 0,5 м. Ширина обочин назначается не менее
2,5 м с тем, чтобы обеспечить движение гусеничного транс-
порта по ним и столику автомобилей, так как устраивать
объезды в рассматриваемом зоне практически невозможно, а
частую недопустимо (при наличии льдонасыщенных грунтов
 деятельного слоя).

Если взять дорогу У категории с преобладающим движением
автомобилей типа БелАЗ-540, то полученная ширина земля-
ного полотна будет равняться 14-15 м.

Например, для автомобиля груза БелАЗ-540

$$B_x = \frac{3,48 + 2,70}{2} + 1 + 0,01 \times 53 = 4,6 \text{ м.}$$

Тогда ширина земляного полотна при обочинах 2,5 м

$$B = 2 \times B_x + 2B_0 = 2 \times 4,6 + 2 \times 2,5 = 14,2 \text{ м.}$$

Принимаем $B = 14$ м. При обочинах шириной 3 м соответст-
венно $B = 15$ м.

8. КОНСТРУКЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ТРЕБОВАНИЯ К ГРУНТАМ

8.1. Требования к грунтам земляного полотна

В рассматриваемых районах необходимая прочность и устой-
чивость земляного полотна в значительной мере зависит от каче-
ства грунтов, используемых для его возведения.

Исследования показали, что на мятых и участках с высокой
влагостью и льдонасыщенностью (мокрые места) земляное полотно
предпочтительнее отсыпать из несцементированных щебеночных и
песчаных грунтов (кроме ильевых), а также водоустойчивых
материалов и отходов промышленности (стекла дробильно-сортиро-

вочных заводов, металлургические шлаки, хорошо обожженные породы и др.).

В верхнюю часть насыпи допускается укладывать камни размером ребра не более 30 см. При этом обязательна послойная, по 30-40 см, оголка земляного полотна и уплотнение грунтов катками на пневматических гусаках, что способствует заполнению пространства между крупными камнями более мелкими фракциями материала и увеличению плотности насыпей.

На всех типах местности допускается применять и глинистые грунты, удовлетворяющие требованиям табл. 8.1.

Степень пригодности глинистых грунтов для сооружения земляного полотна устанавливают испытанием грунтовых проб и образцов, отобранных в карьерах и резервах, с определением зернового состава, влажности на границе раскатывания и текучести, оптимальной влажности и максимальной плотности грунта объемного и удельного весов, засоленности грунта методом водной вытяжки, набухания по стандартной методике, коэффициента влагонакопления грунта.

Коэффициент влагонакопления $K_{\text{влн}}$ промерзающих глинистых грунтов должен быть не более значений, указанных в табл. 8.2.

На участках первого и второго типов местности (сухие и сырые места) применяют местные глинистые грунты с влажностью, не превышающей допустимую из условия уплотнения (табл. 8.3).

При более высоких значениях влажности должны быть предусмотрены мероприятия по заблаговременному осушению грунтов. Для определения степени увлажнения грунтов в сравнении с оптимальной величиной последней может быть установлена через предел текучести (легко определяемый как в лабораторных, так и в полевых условиях) по следующим зависимостям (А.С. Плоцкого):

супесь легкая $W_{\text{влн}} = 0,70 W_{\text{тек}}$

суглинок легкий пылеватый $W_{\text{влн}} = 0,60 W_{\text{тек}}$

суглинок тяжелый, глина пылеватая $W_{\text{влн}} = 0,55 W_{\text{тек}}$.

Ориентировочные значения оптимальной влажности для характеристики грунтов зоны вечной мерзлоты можно определять также по данным табл. 8.4.

Местные глинистые грунты можно применять для возведения земляного полотна только при соблюдении требований к ним по гранулометрическому составу и в порядке послойной их укладки.

Таблица 8.1

Требования к глинистым грунтам земляного полотна

Часть жения	Глубина располо- жения	Покрытия насы- ти	Тип местности и зона до- рожной одежды,	Покрытия капитальные			Покрытия усовершенствованые			Покрытия переходного и низкого типов		
				облегченные								
				1	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	VII ₀	VIII	IX	X	II
Верх- няя	До 1,5	Супеси легкие, суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых частиц не более 15%	Супеси легкие, суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых частиц не более 5%	Супеси легкие и суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 50% и глинистых частиц не более 35%	Супеси и суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 55% и глинистых частиц не более 35%	Супеси легкие и суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 55% и глинистых частиц не более 35%	Супеси легкие и суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 55% и глинистых частиц не более 25%					

Продолжение табл. 8.1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Нижняя нейтр- альная ваемая	1,5-2	Супеси легкие, суглинки легкие суглинки тяже- лые и глины с содержанием пы- леватых частиц не более 50% и глинистых не более 20%	Супеси легкие содержа- ние пылеватых частиц не более 50% и глинистых частиц не более 35% и глини- стых не бо- лее 5%	Супеси и суглинки легкие, суглинки и суглинки с содер- жанием пылеватых частиц не более 55% и глинистых частиц не более 25%	Супеси и легкие с содержа- нием пыле- ватых ча- стиц не бо- лее 35% и глинистых частиц не бо- лее 15%	Супеси и суглин- ки легкие, суг- линки и гли- ны с содер- жанием пыле- ватых ча- стиц не бо- лее 60% и глинистых ча- стиц не бо- лее 35%	Супеси легкие и суглинки легкие, суг- линки и гли- ны с содер- жанием пыле- ватых ча- стиц не бо- лее 40% и глини- стых ча- стиц не бо- лее 20%	Супеси легкие и суглинки легкие, суг- линки и гли- ны с содер- жанием пыле- ватых ча- стиц не бо- лее 55% и глини- стых ча- стиц не бо- лее 40%	Супеси легкие и суглинки легкие, суг- линки и гли- ны с содер- жанием пыле- ватых ча- стиц не бо- лее 40% и глини- стых ча- стиц не бо- лее 20%		
Более 1,5-6 подгру- нисе- мая	1,5-6	Супеси легкие и суглинки легкие с содержанием пы- леватых частиц не более 35% и и глинистых не более 15%	Супеси легкие и суглинки легкие, суглинки и глины с содер- жанием пы- леватых частиц не более 35%	Супеси и суглинки легкие, суг- линки и гли- ны с содер- жанием пыле- ватых ча- стиц не бо- лее 55% и глини- стых ча- стиц не бо- лее 40%	Супеси и суглинки легкие, суг- линки и гли- ны с содер- жанием пыле- ватых ча- стиц не бо- лее 40% и глини- стых ча- стиц не бо- лее 20%						

Окончание табл. 8.1

I	!	2	!	3	!	4	!	5	!	6	!	7	!	8	!	9	!	10	!	II
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---	----

более 50% стых не со-
и глини- лее 15% стых не
стых не более 20% стых не со-
более 20% лее 25% более
20%

Примечания: 1. Коэффициент морозного тучения глинистых грунтов, отсыпаемых в верхнюю часть насыпи, не должен превышать 3%, а в нижнюю часть - 5%.

2. Степень засоленности глинистых грунтов, отсыпаемых в верхнюю часть насыпи, не должна превышать 0,25 г/см³ насыщенного раствора, а в нижнюю часть - 0,5 г/см³.

Таблица 8.2

Допустимые значения коэффициента влагонакопления

Грунт	$\kappa_{\text{сп}}$	г/см ³ .ч
Супесь пылеватая	0,04	
Суглинок легкий пылеватый	0,03	
Суглинок тяжелый пылеватый	0,01	

Таблица 8.3

Значения допустимой влажности глинистых грунтов $W_{\text{д}}$
(*в %* от оптимальной)

Грунт	Прямой коэффициент уплотнения		
	1,00-0,98	0,95	0,90
Супеси легкие	0,9-1,2	0,85-1,3	0,8-1,4
Суглинки легкие пылеватые и супеси пылеватые	0,9-1,15	0,85-1,25	0,8-1,35
Глины, суглинки тяжелые и суглинки тяжелые пылеватые	0,9-1,1	0,82-1,2	0,8-1,30
Глины пылеватые	0,9-1,05	0,9-1,15	0,8-1,2

Примечание. В табл. 8.2 и 8.3 приведены данные А.С. Плюцкого.

Таблица 8.4

Значения оптимальной влажности

Грунт	$W_{\text{опт}}, \%$	Оптимальная	Максимальная плотность при стандартном уплотнении
		влажность	
Супесь легкая	15		1,85
Супесь пылеватая, суглинок легкий пылеватый	16		1,75
Суглинок тяжелый пылеватый	20		1,70
Суглинок тяжелый, глина	24		1,60

Примечание. В таблице приведены данные А.С. Плюцкого

Таблица 8.5

Наименьшие значения коэффициента уплотнения грунта K_u

Грунты располо- жение от низа до ржки одежды	Грунта ное членное и се- нишее	Район I дорожно-климатической зоны			Грунта ное членное и се- нишее											
		Тип дорожного покрытия														
		I	2	3												
Зернистая	0-0,4 0,4-1 1-1,5	0,97-0,96 0,96-0,94 0,95-0,93	0,96 0,93 0,91	0,94 0,93 0,90	0,96-0,97 0,97-0,96 0,96-0,95	0,97 0,95 0,94	0,95 0,94 0,92	0,98-1,0 0,98-0,97 0,97-0,96	0,98 0,96 0,95	0,96 0,95 0,93						
Чистая непод- грун- заемая	1,5-6	0,93-0,90	0,90	0,90	0,94-0,92	0,91	0,91	0,95-0,93	0,92	0,92						
Нижняя подсти- лька	1,5-6	0,96-0,93	0,93	0,92	0,97-0,91	0,94	0,93	0,98-0,95	0,95							

Помечания: 1. Большие значения K_u принимают для неизвесточных покрытий.

2. Таблица разработана В. А. Лавыловым.

При большем содержании пылеватых и глинистых частиц, чем указано в табл. 8.1, грунты применяют для отсыпки лишь нижней части насыпи, а верхняя должна быть отсыпана из непылеватых грунтов на толщину не менее 0,8-1,0 м (считая от поверхности покрытия).

ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ чеобхозимой прочности земляного полотна грунты должны быть уплотнены до требуемой плотности.

Наименьший коэффициент уплотнения грунта в насыпях назначают в зависимости от расположения слоя грунта в насыпи по высоте, типа покрытия и дорожно-климатического района (табл. 8.5).

8.2. Конструкции земляного полотна

8.2.1. Конструкции земляного полотна по первому принципу проектирования

Проектирование по первому принципу ведут на особо сложных по мерзлотно-грунтовым условиям участках (3-й тип местности) с низкотемпературной вечной мерзлотой на глинистых сильнопросадочных грунтах с влажностью выше предела текучести, когда оттаивание грунта основания не допускается, так как может привести к недопустимым деформациям и разрушению дорожной одежды.

При проектировании автомобильных дорог по принципу обеспечения мерзлого состояния грунтов основания земляное полотно конструктируют в насыпях (безрезервных поперечных профиль) из асфальтированных обломочных грунтов с обязательным сохранением в неразрушенном состоянии покровного покрова в сечении насыпи и на всей дорожной полосе (рис. 8.1, тип I).

В лесистой местности ширина просеки не должна превышать ширину основания насыпи. Для предохранения покровного покрова от разрушения целесообразно предусматривать в нижней части прослойки из дренирующих грунтов мелких фракций (не 50-100 мм) толщиной 0,3-0,5 м (рис. 8.2, тип II).

При необходимости уменьшения высоты насыпи или наличии дешевых местных теплоизоляционных материалов в основание земляного полотна укладывают теплоизоляционные прослойки различной толщины (рис. 8.2, тип III) из местных строительных материалов, обладающих коэффициентом теплопроводности и

Рис I-а

Рис I-б

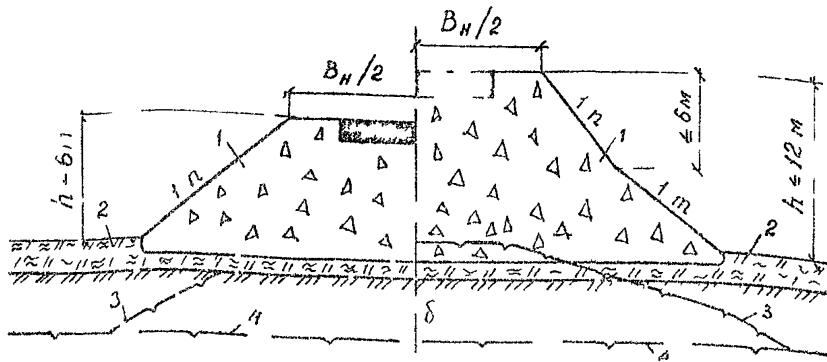


Рис.8.1. Поперечные профили насыпи на льдонасыщенном основании: 1 - несцементированный обломочный грунт; 2 - мохорастительный покров; 3 - верхняя граница вечной мерзлоты (ВГМ) до постройки насыпи; 4 - ВГМ после постройки насыпи

Рис II

Рис III

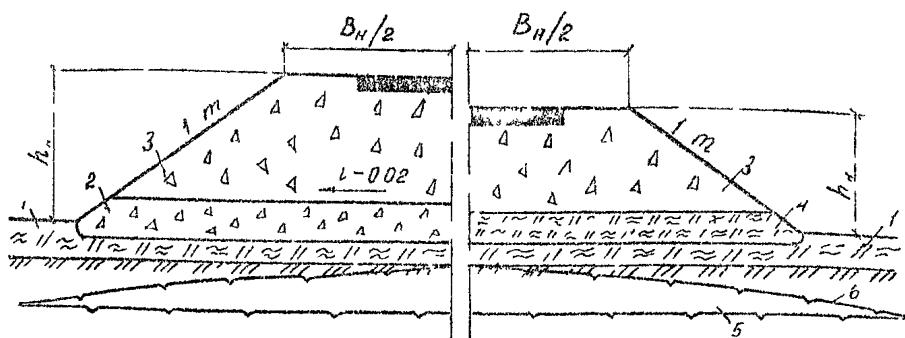


Рис.8.2. Поперечные профили насыпи на льдонасыщенных грунтах: 1 - мохорастительный покров; 2 - защитный слой из проницающего грунта мелких фракций; 3 - несцементированный обломочный грунт; 4 - термоизоляция из мха (значаются на основе теплоизационного расчета); 5 - ВГМ до постройки насыпи; 6 - ВГМ после постройки насыпи

достаточной прочностью (уплотненные мох и торф, несгребовая древесина, шлак и другие местные или привозные теплоизоляционные материалы).

Если высокие насыпи сооружают в две стадии, то на первой (зимней) стадии применяют только несцементированное обломочное грунты (рис.8.3, типы IV и У), а на второй (летней) – допускаются глинистые грунты. В таких случаях верхнюю часть насыпи отсыпают из щебеночного или гравийного материалов слоем не менее 0,5 м (см.рис.8.3, тип IV).

На косогорных участках (не круче 1:5) земляное полотно проектируют в насыпи, иногда (на участках не более 1:10) предусматривают полунасыпи-полувалы. Во избежание нарушения мерзлотного режима местности, увеличения глубины оттаивания и снижения устойчивости сооружения уступы на косогоре не устраивают.

В низовой части откоса насыпи защищают от теплого воздействия основания присыпкой из мохоторфа или другого теплоизоляционного материала (например, пенопласта, полистирола и др.) (рис.8.4, тип VI).

8.2.2. Конструкции земляного полотна по второму принципу проектирования

Проектирование по второму принципу ведут на сложных по мерзлотно-грунтовым условиям участках (2-й тип местности) с низкотемпературной вечной мерзлотой на глинистых и лесчаных просадочных грунтах с влажностью менее предела текучести, когда прогнозируют оттаивание грунтов естественного основания с учетом допустимых деформаций покрытия в процессе эксплуатации дороги.

При проектировании автомобильных дорог по принципу ограничения глубины оттаивания грунтов основания, исходя из допустимых деформаций, земляное полотно конструируют в соответствии с поперечными профилями, приведенными на рис.8.1-8.4. Допускается возводить земляное полотно из местных глинистых грунтов с закладкой сосредоточенных или притрассовых резервов (рис.8.5, типы УП, УШ). При этом запрещается убирать или разрушать мохорастительный покров в основании насыпи.

В случае маловлажных грунтов естественного основания и при небольшой высоте насыпи (до 1,5 м) резервы можно распо-

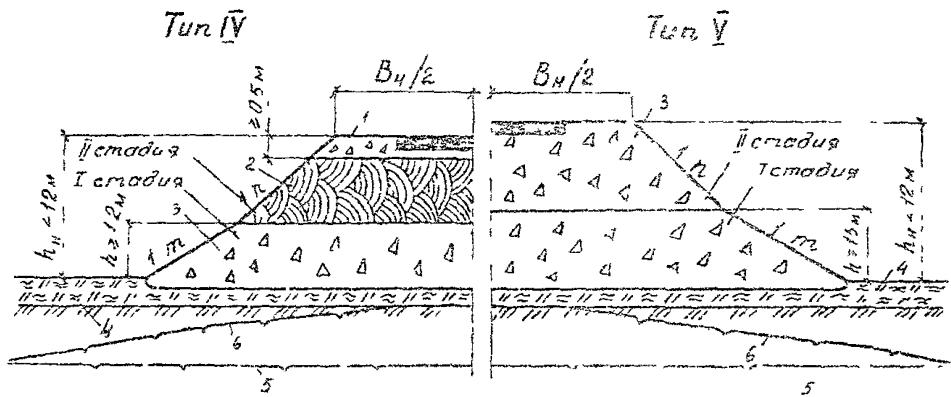


Рис.8.3. Поперечные профили насыпей на льдонасыщенном основании, сооружаемые в две стадии (зимнюю и летнюю): 1 - щебень и гравий по расчету на прочность (но не менее 0,5 м); 2 - глинистый грунт; 3 - несцементированный осломочный грунт; 4 - мохорастительный покров; 5 - ВГЗИ до постройки частки; 6 - ВГЗИ после постройки насыпи.

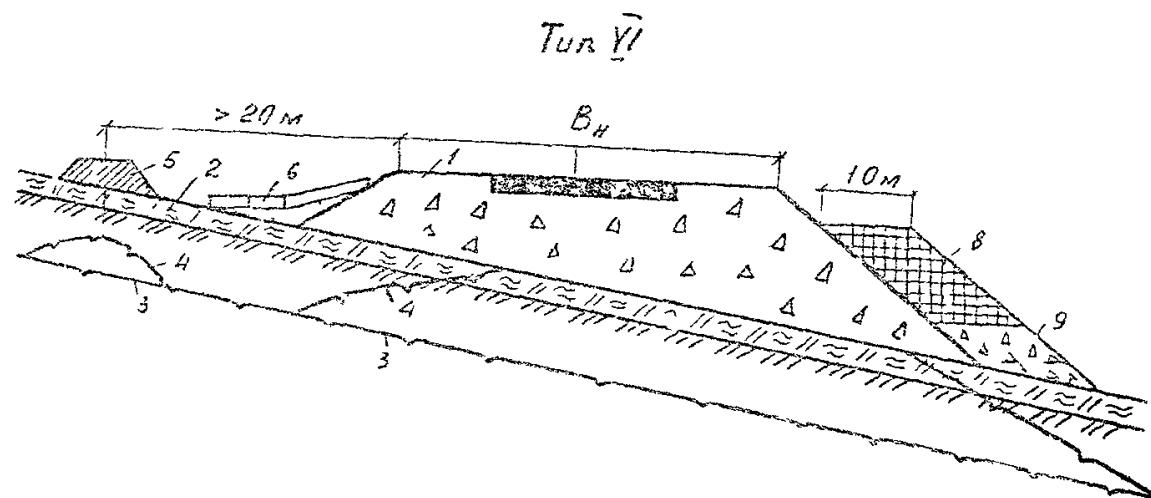


Рис.8.4. Поперечный профиль насыпи на льдоносичном косогоре крутизной менее 1:6 : 1 - несцепментированный обломочный грунт; 2 - мохрастительный покров; 3 - ВГЭМ до постройки насыпи; 4 - ВГЭМ после постройки насыпи; 5 - нагорный мерзлый валик; 6 - укрепление бетонными плитами на слое мохоторфа; 7 - теплоизоляция из ких или торфа толщиной не менее 0,5 м; 8 - глинистый грунт толщиной 15-20 см; 9 - дрециирующая присыпка

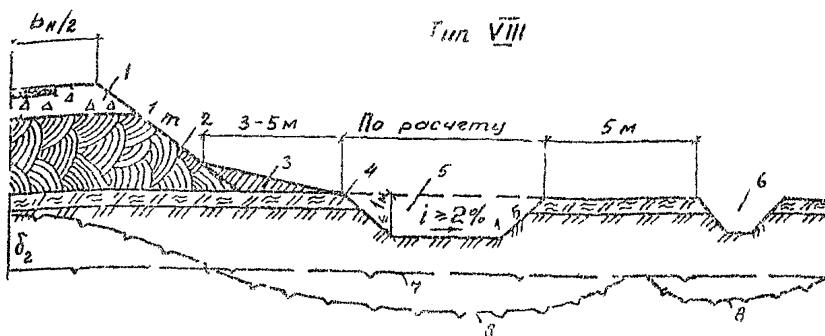


Рис.8.5. Поперечный профиль насыпи из местных глинистых грунтов: 1 - щебень или гравий по расчету на прочность (но не менее 0,5 м); 2 - глинистый грунт из притрассовых резервов; 3 - земляная берма; 4 - моторострительный покров; 5 - резерв; 6 - водоотводная канава; 7 - ВГМ до постройки насыпи; 8 - ВГМ после постройки насыпи

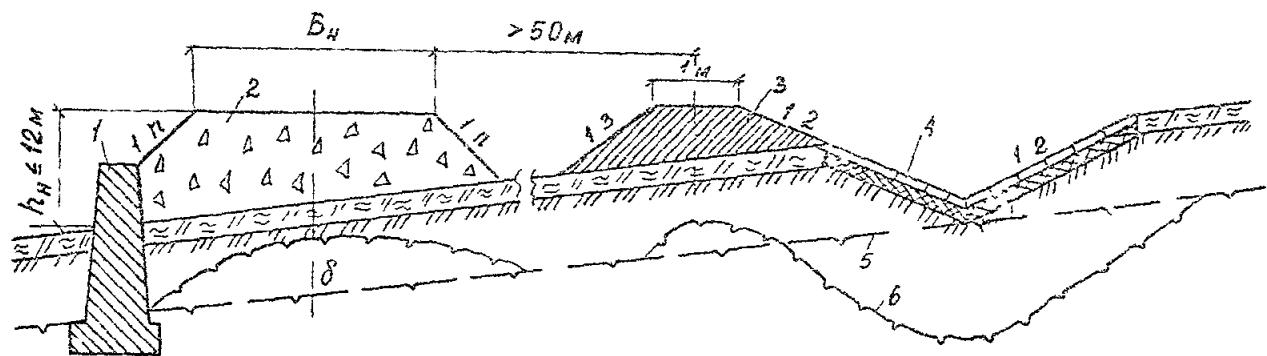
лагать непосредственно у потошки насыпи (см.рис.8.5, тип VIII).

На сырых участках местности (2 тип) целесообразно предусматривать между подошвой насыпи и внутренней бровкой резерва земляные бермы шириной 3-5 м. Поверхность бермы должна иметь уклон в сторону резерва (см.рис.8.5, тип VIII).

На косогорных участках (круче 1:5) земляное полотно нижней части нужно поддерживать специальными подпорными стенками, предусматривая их затягивание в вечномерзлый грунт по расчету на выпучивание (рис.8.6, тип IX).

На затапливаемых участках и на подходах к мостам и другим искусственным сооружениям земляное полотно возводят из нецементированных обломочных грунтов. Бровка земляного полотна должна быть выше уровня расчетного горизонта воды на высоту волны с набегом на откос, но не менее 0,5 м. В случае низкого расчетного горизонта воды верхнюю часть насыпи можно отсыпать из глинистых грунтов. При этом высоту нижней части насыпи из нецементированных обломочных грунтов назначают по расчету (высота падения воды плюс риска набега волны на широких пол-

Fig IX



29

Рис. 8.6. Поперечный профиль насыпи на косогоре (круче 1:5):
1 - подпорная стенка; 2 - несцепментированный обломочный грунт;
3 - мохорастительный покров; 4 - мерзлый валик; 5 - укрепление
бетонными плигами на слое из мохоторфа; 6 - нагорная
водоотводная канава; 7 - ВГМ до постройки насыпи; 8 - ВГМ
после постройки насыпи

макс), во всех случаях она должна быть выше расчетного горизонта воды не менее чем на 0,5 м (рис.8.7, тип X).

Высокие насыпи на затопляемых участках конструируют в соответствии с рис.8.8 (типы XI–XII).

8.2.3 Конструкции земляного полотна в выемках

Как отмечалось выше, выемку в зоне вечной мерзлоты допускается проектировать главным образом на участках местности с благоприятными грунтово-гидрогеологическими условиями (скользящие, щебенистые и гравелистые грунты) при отсутствии линз и прослоек льда (рис.8.9, тип XIII).

В случае разработки выемок в сложных грунтово-гидрогеологических условиях (сырые места) их нужно проектировать с соответствующим обеспечением теплоизоляции откосов, заменой переувлажненных грунтов чесчаным или другим качественным материалом, с устройством в основании дорожной одежды морозоэрозионных слоев (рис.8.10, тип XIV).

Мелкие выемки раскрывают или разделяют под насыпь для повышения их устойчивости и улучшения их снегозаносимости (рис.8.10, тип XV). Во всех случаях должен обеспечиваться водный водоотвод из выемки.

Толщину заменяемого в выемках грунта следует определять на основании теплотехнического расчета из условия обеспечения требуемой устойчивости дорожной конструкции.

В отдельных случаях при неблагоприятных грунтово-мерзлотных условиях следует устраивать закюветные полки шириной 1,5–2 м и уложение откосов выемки. Крутизну откосов выемок, устраиваемых в неблагоприятных гидрогеологических и мерзлотно-грунтовых условиях, следует назначать по индивидуальным проектам.

8.2.4. Конструкции земляного полотна по третьему принципу проектирования

Проектирование по третьему принципу ведут на лёгкоосушаемых просадочных грунтах с влажностью менее предела текучести на участках высокотемпературной сильной и остройной вечной мерзлоты. Его применяют главным образом на сырьих участках местности, когда предусматривается за благороденность

Рис. 8

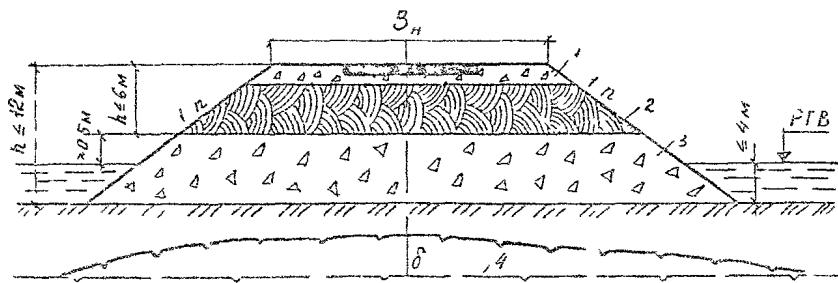


Рис. 8.7. Поперечный профиль на загораживаемом участке (насыпь высотой до 12 м, глубина воды на пойме до 4 м): 1 - щебень или гравий по расчету на прочность; 2 - глинистый грунт; 3 - нецементированный обломочный грунт; РГВ - расчетный горизонт воды (гидростатика приложения при глубине воды до 2 м); 4 - ВГМ1го гостройки насыпи; 5 - ВГМ1 после постройки насыпи

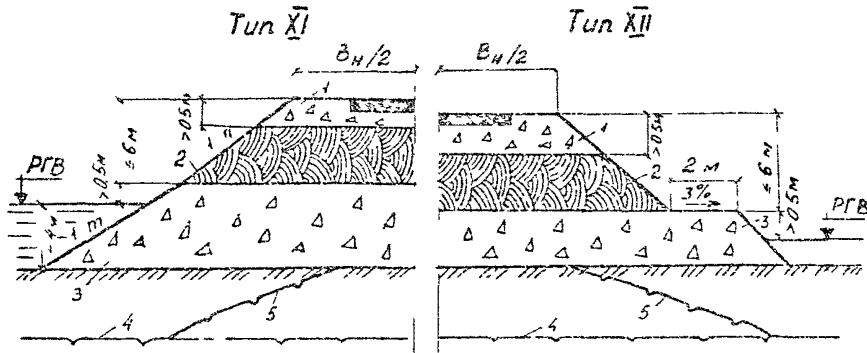


Рис.8.8. Поперечные профили ясоки на загалливаемой по тц
(насыпь высотой до 12 м, глубина воды на гольме до 4 м);
обозначения те же, что и на рис.8.7

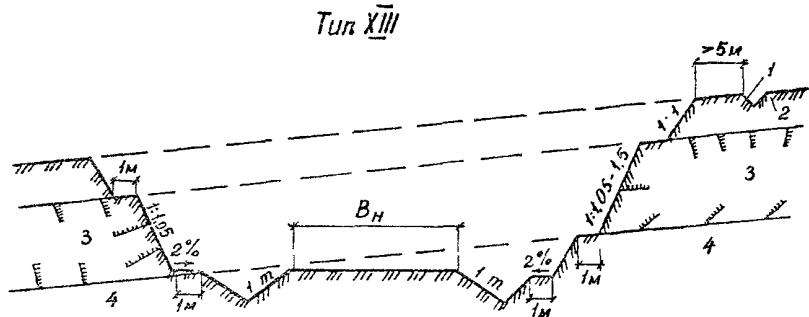
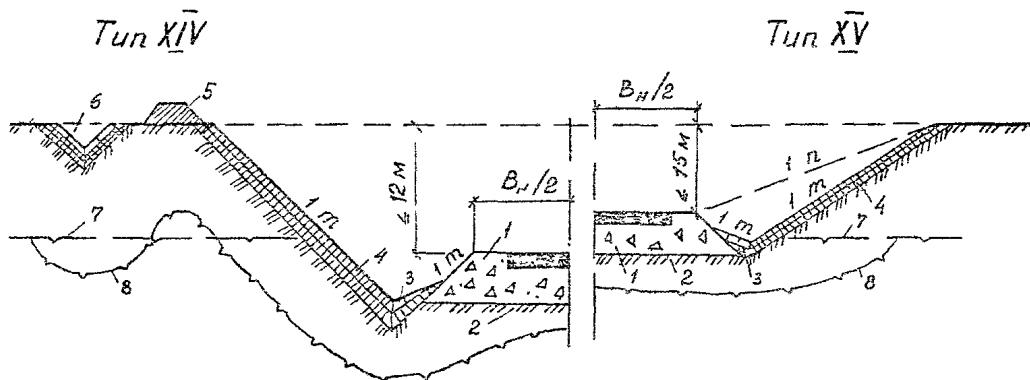


Рис.8.9. Поперечный профиль выемки в скальных грунтах:
 1 - нагонная водоотводная канава; 2 - растительный слой;
 3 - легковыветривающаяся скальная порода; 4 - выветрива-
 ющаяся скальная порода



67

Рис.8.10. Поперечные профили в слабольдоясненных грунтах:
 1 - щебень или гравий; 2 - глинистый грунт основания; 3 - укрепление бетонными плитами на слое мохогорфа; 4 - термоизоляция из мха по расчету; 5 - ВГМ до устройства выемки; 6 - ВГМ после устройства выемки; 7 - водоотводная канава; I: m и J: m - по расчету на снегозаносимость; 8 - мералотный валик

оттаивание вечномерзлых грунтов, осушение дорожной полосы и упрочнение грунтов основания за счет их препостстроечной осадки при оттаивании.

При проектировании автомобильных дорог по принципу обеспечения оттаивания и осушения грунтов основания с учетом допускаемых деформаций земляное полотно конструируют в насыпях (рис.8.ИI. типы XVI, XVII). При этом необходимо не менее чем за год до начала основных работ расчистить дорожную полосу от леса и кустарника, сплошь снять мохорастительный покров в пределах дорожной полосы и устроить водоотводные канавы.

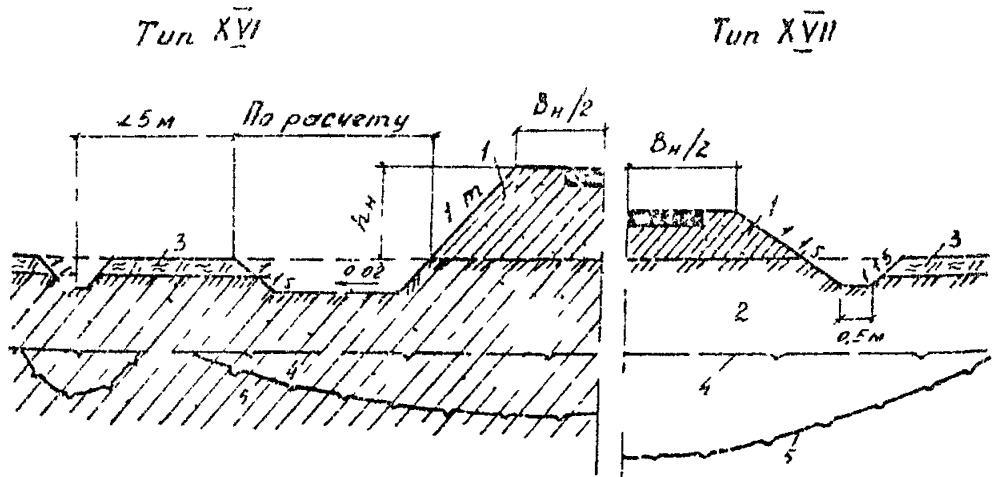


Рис.8.ИI. Поперечные профили земляного полотна на легкоосушаемых грунтах: 1 - водоотводная канава; 2 - мохорастительный покров; 3 - резерв; 4 - глинистый легкоосушаемый грунт с примесью крупного песка, щебня или гравия; 5 - зупесчаний грунт; 6 - ВГВМ до постройки насыпи; 7 - ВГВМ после постройки насыпи

9. СОСЕДСТВО ИЗЫСКАНИЙ, АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Стадийность проектно-изыскательских работ (табл.9.1) устанавливают на основе технико-экономического обоснования строительства дороги (титула), для составления которого проводят экономические и рекогносцировочные изыскания.

Таблица 9.1

Стадийность проектно-изыскательских и опытных работ

Стадия работ и представляемые документы	Стадии технических изысканий	Периоды изыскательских изысканий и опытных работ	Подразделения и организации, выполняющие работы		Организации, принимающие работы
			1	2	
1	2	3	4	5	
Технико-экономическое обоснование строительства дорог	Рекогносцировочные изыскания	Подготовительный, полевой, камеральный	Комплексная экспедиция с применением аэрофотодов. Дорожные и экономические отделы (группы) проектных организаций		Утверждающая инстанция
С I стадия проектирования-технический проект строительства дорог	Подробные изыскания	Подготовительный, полевой, камеральный	Комплексная экспедиция с применением аэрофотодов		Комиссия под председательством автора проекта
Техническое задание на проектирование опытных участков с наблюдательными постами	То же	Организация наблюдательных постов	Заказчик и дорожная научно-исследовательская организация	Проектная организация	
II стадия проектирования-расчеты чертежи строительства дороги	Предпроектно-строевые изыскания	Полевой, камеральный	Комплексная экспедиция		Заказчик и комиссия под председательством автора проекта

Окончание табл. 9.1

1	2	3	4	5
Рабочие чертежи строительства опытных участков	То же	Полевой, камеральный	Проектная организация	Научно-исследовательская организация и заказчик
Строительство дороги - паспорта опытных участков и постов наблюдения	-	Строительство опытных участков	Заказчик, дорожно-строительные организации	Заказчик, научно-исследовательские и проектные организации
Эксплуатация дороги - регулярное заполнение базисов опытных участков и постов наблюдения		Наблюдения на постах и опытных участках	Дорожно-эксплуатационные участки дорожных управлений	Дорожные управления и научно-исследовательские институты

Новые автомобильные дороги проектируют, как правило, в две стадии: проведение подробных изысканий для составления технического проекта дороги (ТП) и предпостроечные изыскания для составления рабочих чертежей (РЧ).

При реконструкции дорог возможно одностадийное проектирование на основе подробных изысканий — технорабочий проект (ТРП).

На всех стадиях изысканий проводят мерзлотно-грунтовые исследования, объем и содержание которых должны быть достаточными для составления по каждому сооружению не менее двух (продольного и поперечного) мерзлотно-грунтовых резервов, необходимых для разработки мероприятий, обеспечивающих устойчивость проектируемых сооружений.

Мерзлотно-грунтовые исследования предусматривают:

- предварительную оценку работ;
- подробную мерзлотно-грунтовую съемку;
- проходку разведочных скважин;
- полевые и лабораторные определения физико-механических свойств грунтов.

Для достоверности оценки толографических, мерзлотно-грунтовых и гидрогеологических условий местности изыскания автомобильных дорог проводят, как правило, в теплый период года; обследования наледных мест, бугров пучения и снегозасыпных участков — в зимнее время.

Инженерно-геологические, гидрогеологические обследования и мерзлотно-грунтовые исследования выполняют при технических изысканиях комплексной проектно-изыскательской экспедицией, оснащенной оборудованием в зависимости от стадии проектирования. На основе результатов этих работ выявляют участки местности с наиболее благоприятными инженерно-геологическими, гидрогеологическими и мерзлотно-грунтовыми условиями для проложения трассы дороги по наивыгоднейшему варианту. Окончательные решения принимают на основе технико-экономических расчетов.

Изыскательские экспедиции и их отдельные партии обеспечивают (в зависимости от местных условий) самолетами, вертолетами, воздушными катерами и в отдельных случаях оленями или собачьими упряжками. В течение всего периода изысканий экспедиционные группы должны иметь двустороннюю радиосвязь с базой экспедиции.

Объем изыскательских работ на каждой стадии корректируют в зависимости от сложности геологических, мерзлотно-грунтовых и топографических условий с учетом освоенности района изысканий, в том числе и наличия дорог.

Проектно-изыскательские работы разделяют, как правило, на подготовительные, полевые и камеральные.

В подготовительный период предусматривают сооружение и изучение литературных, фондовых материалов в проектных, строительных и эксплуатационных организациях, в организациях гипрометрослужбы и геологических управлениях.

В полевой период выполняют все топографо-геодезические и инженерно-геологические работы.

В камеральный период систематизируют полученные в подготовительном и полевом периодах сведения, изучают результаты лабораторных и полевых анализов грунтов и строительных материалов, составляют подробную пояснительную записку с иллюстративно-графическими материалами: картами, планшетами, схемами, разрезами продольными и поперечными профилями, фотоснимками отдельных мест и т.п.

Рекогносцировочные изыскания предусматривают выполнение инженерно-геологических обследований и мерзлотно-грунтовых изысканий в объеме, необходимом для уточнения вариантов трассы, назначенных по карте и фондовым материалам.

Подробные изыскания предусматривают выполнение в полном объеме всех топографических работ, инженерно-геологических обследований и мерзлотно-грунтовых исследований для составления технического проекта, в котором дается окончательный вариант проложения трассы, уточненный на особо сложных и недостаточно проработанных ранее участках.

При проведении рекогносцировочных и подробных технических изысканий широко применяют геофизические методы, аэрофотосъемку, аэровизуальное наблюдение и инженерно-геологическое описание аэрофотоснимков.

При предпостроечных изысканиях, перед составлением рабочей, трассу восстанавливают на местности, закрепляют по высоте, уточняют гидрогеологические и мерзлотные условия на участках наиболее отягченных сооружений (моста проектируемых малых искусственных сооружений, подъездов к большим водотокам и переходам через них, площадкам под грузовые гаражи службами эксплуатации и т.д.).

Одной из главных особенностей проектно-изыскательских работ следует считать необходимость организации наблюдательных постов и опытных участков.

Организацию опытных участков, оборудование наблюдательных постов и проведение на них стационарных наблюдений и испытаний целесообразно начинать в период производства изыскательских работ и заканчивать при строительстве дороги (см. табл. 9.1).

Стационарные наблюдения проводят с целью проверки правильности применяемых конструкций, способов производства работ, новых решений в области конструирования, расчета, эксплуатации сооружений, а также установления характера их взаимодействия с вечно- и сезонномерзлыми грунтами. Стационарные наблюдения проводят на специальных пунктах (постах), организуемых на опытных конструкциях, а также на характерных участках эксплуатируемых автомобильных дорог.

В программу наблюдений входит круглогодичное систематическое изучение: а) теплового режима грунтов земляного полотна и естественного основания (температуры, глубины, скорости промерзания и оттаивания); б) водного режима грунтов земляного полотна и естественного основания (влажности, источников увлажнения); в) изучение осадки грунтов земляного полотна и дорожных покрытий; г) прочности и деформативности грунтов земляного полотна и естественного основания (модуля упругости, сцепления и угла внутреннего трения); д) метеорологических условий (температуры воздуха, осадков, ветра, времени установления и схода снегового покрова).

Наблюдательные посты оборудуют после подробного изучения климатических, мерзлотно-грунтовых и гидрогеологических условий местности, конструктивных особенностей участка дороги и составляют специальный паспорт.

9.1. Температурный (мерзлотный) режим грунтов

Наблюдения за температурой, глубиной и скоростью промерзания и оттаивания грунтов осуществляют с помощью жидкостных (ртутных, спиртовых) термометров, а также электрических термометров сопротивления.

Жидкостные термометры применяют, как правило, при измерениях температуры грунтов в шурках и буровых скважинах, а электрические термометры сопротивления — в скважинах.

Температуру фиксируют на глубинах 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3 м; от 3 до 10 м — через каждый метр, а глубже 10 м — через 5 м. На глубинах до 3 м измеряют температуру четыре раза в сутки, до 10 м — один раз в сутки, глубже 10 м — один раз в месяц.

Схема заложения термометров и влагометров на наблюдательном посту представлена в табл. 9.1.

Результаты измерений температуры заносят в журнал наблюдений.

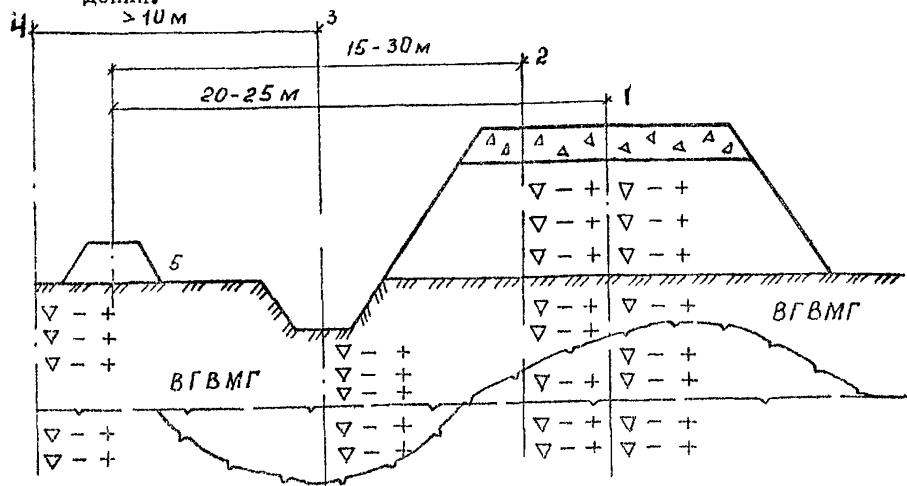


Рис. 9.1. Схема заложения датчиков на наблюдательном посту: 1 — измерительная вертикаль по оси дороги; 2 — то же на обочине; 3 — то же посередине кювета; 4 — то же на границе полосы отвода; (+) — термометры; (−) — влагометры; 5 — пост наблюдения И М.Рп.

9.2. Наблюдение за осадкой (пучением) грунтов земляного полотна и дорожных покрытий

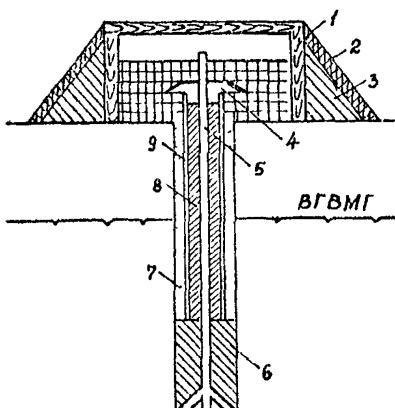
Пучение (осадку) фиксируют путем нивелирования специальных марок (маяков). На участках автомобильных дорог с капитальными и облегченными покрытиями применяют закрепление в покрытиях стержней со шляпкой, имеющей сферическую поверхность или специальную выточку для установки на ней рейки.

Марки для наблюдения за осадкой (пучением) грунтов основного полотна изготавливают из металлического листа

толщиной 3-4 см размерами 30x30 или 40x40 см и диаметром стержня 10-15 мм, приваренного по центру листа. Высота стержня должна быть на 10 см меньше высоты насыпи в точке установления.

Нивелировочной основой является мерзлотный репер, устанавливаемый в придорожной полосе (рис.9.2).

Рис.9.2. Конструкция мерзлотного репера: 1 - деревянный короб; 2 - трубы; 3 - грунт; 4 - заглушка; 5 - стержень репера в вечномерзлом грунте; 6 - глинистый раствор; 7 - винтка из скоб; 8 - заполнение солидолом; 9 - трубы



9.3. Определение модуля упругости мерзлых и оттаивающих грунтов в полевых условиях

Модуль упругости мерзлых и оттаивающих грунтов земляной полотна и соответствующего основания в зоне вечной мерзлоты определяют посредством пробных нагружений грунта с помощью передвижного пресса. Испытания проводят с помощью специального пресса или более простого оборудования, состоящего из гидравлического (или механического) домкрата, манометра, набора штампов разных диаметров и индикаторов для замера осадок штампа.

Домкрат упирают в раму гружесного автомобиля или прицепа. Применяемая для испытания установка должна иметь мощность, достаточную для нагружения грунта нагрузками, превышающими расчетные.

Осадки штампа замеряют тремя индикаторами, установленными на равном расстоянии от центра штампа и друг от друга (под углом 120°). На основании этих данных вычисляют упругую

деформацию при каждой ступени нагрузки штампа и строят зависимость величины деформации от удельного давления. Имея значения упругой деформации при каждой степени удельной нагрузки P , по формуле вычисляют величину модуля упругости:

$$E_y = \frac{\pi}{4} \frac{P\delta(1+\mu^2)}{D_y} ,$$

где P - удельная нагрузка, $Mil\mu$, под действием которой установлена величина срезающей упругой деформации δ_y , см; D - диаметр жесткого штампа, см; μ - коэффициент Пуассона, равный 0,2-0,3; $\pi/4$ - поправочный коэффициент, учитывающий использование жесткого штампа.

Л и т е р а т у р а

1. Материалы XXIII съезда Коммунистической партии Советского Союза.- М.: Политиздат, 1986.- 270 с.
2. Сумгин М.И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР.- М.: Изд-во АН СССР, 1927.
3. Сумгин М.И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР.- Л.: Изд-во АН СССР, 1937.
4. Общее мерзлотоведение/Сумгин М.И., Качурин С.П., Толстиков И.И., Тумель В.Ф.- М.: Изд-во АН СССР, 1940.
5. Основы геокриологии (мерзлотоведения)/ П.Ф.Швецов, А.А.Менюте, Н.И.Салтыков и др.; Отв.ред. чл.-корр.АН СССР П.Ф.Швецов, д-р геол.-мин.наук Б.Н.Досголовов. Ч. I, ч. II.-М.: Изд-во АН СССР, 1959.- 459 с.
6. Основы геокриологии (мерзлотоведения)/ Н.И.Салтыков, А.И.Дементьев, Н.А.Цытович и др.; Отв.ред. д-р техн. наук, проф. Н.И.Салтыков.- М.: Изд-во АН СССР, 1959.- 365 с.
7. Временные технические условия на изыскания, проектирование и сооружение железных дорог в условиях вечной мерзлоты/ под ред. А.В.Лихеровского, К.Д.Морозова.- М.: Трансжелдориздат, 1939.- 124 с.
8. Морозов К.Д. Проектирование и сооружение мостов в условиях вечной мерзлоты.- М.: Трансжелдориздат, 1936.- 136 с.
9. Борданов Н.С. Вечная мерзлота и сооружения на нее/ издание комиссии всесоветского исследования х.-д. дела в России.- С.- Петербург, 1912.
10. ВСН 61-61 Технические указания по изысканиям, проектированию и постройке железных дорог в районах вечной мерзлоты.- М.: Оргтрансстрой, 1962.- 146 с.

II. ВСН 84-62. Технические указания по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог и аэродромов в районах вечной мерзлоты.

12. Пузаков Н.А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. - М.: Автотрансиздат, 1960. - 106 с.

13. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд/Под ред. Золотаря И.А., Н.А.Пузакова, В.М.Сиденко и др.- М.: Транспорт, 1971. - 415 с.

14. Земляное полотно автомобильных дорог в северных условиях/Под ред. А.А.Малышева. - М.: Транспорт, 1974. - 288 с.

15. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах /Под ред. Ю.Н.Аелли, В.И.Докучаева, Н.Ф.Федорова. - М.: Стroi-издат, 1977. - 552 с.

16. Давыдов В.А. Особенности изыскания и проектирования автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты: Учеб.пособие СибАДИ.-Омск, 1979. - 79 с.

17. Давыдов В.А. Особенности проектирования автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты (методы расчетов прочности и устойчивости дорожных конструкций): Учеб.пособие./СибАДИ.-Омск, 1980. - 61 с.

18. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях/Под ред. В.А.Кудрявцева. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. - 431 с.

19. Достовалов В.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967. - 413 с.

20. Общее мерзлотоведение (геокриология)/Под ред. проф. В.А.Кудрявцева. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. - 464 с.

21. Павлов А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. - Якутск: Якутское кн. изд-во, 1975. - 304 с.

22. Автомобильные дороги Севера/Под ред. И.А.Золотаря. - М.: Транспорт, 1981. - 248 с.

23. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд неалестского типа. - М.: Транспорт, 1985. - 157 с.

24. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги/Госстрой СССР. - М.: ЦПТИ, 1986. - 56 с.

25. ВСН 84-75. Инструкция по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты. - М.: Мингражданстрой, 1976. - 218 с.

СОДАЧЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3	
ВВЕДЕНИЕ	4	
I. Из истории развития науки		
инженерной геокриологии (мерзлотоведения)	6	
I.1. Дореволюционный период	6	
I.2. Послереволюционный период	9	
I.3. Инженерное мерзлотоведение в гранспортном строительстве	11	
2. Вечномерзлые грунты		
2.1. Распространение вечномерзлых грунтов	15	
2.2. Основные понятия, термины	15	
3. Дорожно-климатическое районирование зоны вечной мерзлоты	17	
4. Принципы проектирования автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты		21
5. Особенности волнно-теплового состояния земляного полотна и расчета на прочность дорожных конструкций нежесткого типа		27
6. Особенности расчета дорожных конструкций на прочность		35
7. Особенности назначения высоты насыпи и ширин земляного полотна на МДП		48
8. Конструкции земляного полотна и ребордания к грунтам		48
8.1. Требования к грунтам земляного полотна	48	
8.2. Конструкции земляного полотна	53	
8.2.1. Конструкции земляного полотна по первому принципу проектирования	56	
8.2.2. Конструкции земляного полотна по второму принципу проектирования	58	
8.2.3. Конструкции земляного полотна в чанках	63	
8.2.4. Конструкции земляного полотна по третьему принципу проектирования	63	
9. Особенности изысканий автомобильных дорог		68
9.1. Температурный (мерзлотный) режим грунтов	68	

9.2. Наблюдение за осадкой (щучением) грунтов земляного полотна и дорожных покрытий	74
9.3. Определение модуля упругости мерзлых и оттаивающих грунтов в полевых условиях	75
ЛИТЕРАТУРА	77

Левинков Константина Александрович,
Бондарева Ольвира Дмитриевна

ИЗЫСКАНИЯ И ПРОМЫТИВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
НА МНОГОЛЕТНЕМ РЕЗУЛЬТАТАХ

Учебное пособие

Темплей 1989 г., изв. 1523

Редактор Т.И.Колинина

Подписано к печати
Формат 60x84 1/16. Печатъ и печач.
Оперативный способ печати.
Усл.п.л. 5,0 , уч.-изд.л. 3,
Тираж 500 экз. Сакъ 486 . Цена 10 коп.

Редакционно-издательский
отдел САСИИ
644085, Смоленск, ул. Ильинская, 3

СО Смоленская типография №1
644050, Смоленск, ул. Суворова, 11