

В. А. Давыдов, Э. Д. Бондарева

**ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ  
НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ  
ГРУНТАХ**

Учебное пособие

Омск ОмПИ 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 ОмПИ 1989

Рецензенты:

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

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

УДК 625.72:624.139.34

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

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

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

Табл. 14. Ил. 25. Библиогр. : 25 назв.

© Омский ордена Трудового Красного  
Знамени автомобильно-дорожный  
институт им. В. В. Луибишева, 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, ЛИСИ и др.) и обобщения передового опыта проектных и строительных организаций СССР (Союздорпроект Минтрансстроя СССР, Гипродорнии 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, ЛИСИ, 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 (ЛИСИ); 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, тающие 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 нучения, 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 I 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" [ I ]. В соответствии с решениями XXV 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 о б ж и в а т ь . 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: раннее урочать развития производительных сил не позволял осваивать эти

огромные, труднодоступные и суровые по природным условиям пространства.

К настоящему времени накопилось большое количество фактов, подтверждающих, что осваивать Север такими же методами и техникой, как более южные зоны, Н Е Л Ь З Я , особенно, если учесть беспредельную 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 о легко нарушаемой природной среде по-другому просто Н Е Л Ь З Я .

## I. ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОКРИОЛОГИИ (МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЯ)

Дать правдивое и стройное описание этапов и путей становления геокриологии и отразить в этом описании действительные заслуги стран и лиц, способствовавших познанию многолетней криолитозоны как географического явления, — значит решить актуальную и весьма сложную задачу.

В истории развития инженерной геокриологии (мерзловедения) 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 XVI 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 чего ради невозможно от Архангельского города морем проходить в Китайское государство и отле к Восточной Индии", в котором сказано, что на северо-востоке Новой Земли в середине июля "на берегах еще не таял снег и олени не могли себе пищу приобрести".

В XVIII 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. Гроловин 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 обобщений М.В.Ломоносова о "замерзлой земле". В 1757 г. В.М.Ломоносов высказывает 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 Майдлтон 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. Борезов 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 прошла 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.

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



III этап. Широкие исследования 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, Подъякова, Львова, 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 станции, 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.А. 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 Забайкалье и внес значительный вклад в развитие инженерного мерзлотоведения. В 1916 г. была опубликована капитальная работа А.В. Львова "Поиски и испытания водосточников водоснабжения на Западной части Амурской железной дороги в условиях вечной мерзлоты почвы".

## 1.2. Послереволюционный период

I 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 научно-учреждение по изучению подземной криосферы, а для координации всех мерзлотоведческих работ в стране — Комиссия по изучению вечной мерзлоты (КИМ), 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 Сквородине, Петровск-Забайкальском, Анадыре, Игарке, Якутске, Воркуте, Норильске, Забайкалье, Братске.

В 1936 г. КИМ была реорганизована АН СССР в комитет по вечной мерзлоте, создавши 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 (ИНМЕРО), 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 криосферы 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 1953 г. на VII 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 при этом упразднен, а его отделы были переданы в ЦНИИИС Госстроя СССР.

В 1966 г. было создано УИ 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 (ПИИИС, НИОСП), в институте Всесингео, на кафедрах высших учебных заведений (МГУ, МИСИ, ЛПИ и др.).

В 1970 г. в Москве при АН СССР создается Совет по криологии Земли, в состав которого вошли известные ученые 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. Изменное 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.Мурозова (в разработке этого документа принимали участие профессора М.И.Сумгин, В.В.Григорьев, В.О.Цюхер, А.П.Еремьян, Н.Т.Швейковскый, С.Л.Гастамов, Л.И.Бернацкий, М.Ф.Срибинь, П.Н.Дюков, доценты А.В.Патилев, А.Н.Цытович, инженеры А.М.Чехотило, К.В.Петров, С.П.Качурин, Н.Д.Белокрылов, Н.Н.Толоухин, М.М.Кулюв, С.Л.Колесников, В.В.Емелечский, геолог Сахарова).

После Великой Отечественной войны исследования продолжались на строящихся и построенных железных дорогах институтами ПИИИС и СибПИИИС. В 1961 г. все материалы 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 Сюздорнии (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 Норильского горно-металлургического комбината им. А. П. Завенягина проводились исследования под руководством д-ра техн. наук, проф. И. А. Золотаря (ВОЛАТТ), который подготовил серьезную обобщающую монографию по применению тонкодисперсных грунтов в дорожном строительстве.

В 1962 г. под руководством д-ра техн. наук Н. А. Пузакова (Сюздорнии) подготовлены технические указания [11]. В подготовке этого документа принимали участие канд. техн. наук Г. В. Билоожеский (снегоборьба), инж. Б. В. Уткин (борьба с наледями), А. Т. Якубова (мерзлотно-грунтовые обследования), инженеры А. Е. Дюков, М. Н. Елагин, Н. А. Ямакин, П. А. Буранов, М. М. Ачтошкин, В. Н. Тулумбасов (автомобильные дороги в районах Арктики), инженеры В. А. Ткачев, Х. Х. Амиров, Д. Н. Изотов, В. В. Ромм, В. А. Толчеев, канд. техн. наук И. П. Магяш 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. Целинга.

В этот период тематику научных работ по зоне вечной мерзлоты в головном институте Сюздорнии 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 в 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 Сюздорнии с 1963 г. начинаются исследования по разработке норм и технических условий по проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты в Омском филиале Сюздорнии под руководством канд. техн. наук Малышева А. А. При этом создается научная группа, занимающаяся изучением прочности и устойчивости земляного полотна автомобильных дорог:

кандидаты 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. до 1973 г., затем переехал в Минск и работает в Бюддорнии

до сих пор), В.А.Лавицков (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.Вржезицкий, С.М.Козырев. Позднее подключились к этой тематике с уклоном на автомобили и строительство дорог на болотах следующие специалисты-дорожники: канд.техн.наук Н.Ф.Савко работал в филиале с 1962 по 1979 гг. (погиб в Магдане), 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.Шировков 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. силами 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-Чернышевск, Вилуйская ГЭС-Айхел-Трубка Удачная, Якутск-Покровск, Якутск-Намцы, Романовка-Богдари 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 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 отрицательных 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 водопрпуских 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 изысканиям, 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: Союздорпроект (А.В. Волконский, В.И. Земсков, К.А. Постникова, В.К. Чутунов), Гипродорнии (И.Н. Войкин, Л.В. Дугин, А.М. Чухвичев), Промтрансниипроект (А.Ф. Божин), Белдорнии (Р.З. Поршский), 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 СибАДИ, 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 Союздорнии "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. Козирева.

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 Союздорнии и СибНИИГазостроя.

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-

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

В 198 -88 гг. закончена переработка ВСН 84-75 и планирует-  
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) **ГВСН 84-891**

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  
суши 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 литосферы 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 - тальми.

Промышленное освоение новых районов немислимо без разви-  
той сети автомобильных дорог. Площадь распространения мерз-  
лых пород в СССР составляет 10 млн.700 тыс.км<sup>2</sup>, превышая  
на 1 млн.400 тыс.км<sup>2</sup> 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 отдаленность от экономически развитых райо-  
нов страны и слабое развитие транспортной сети (менее 0,2 км  
на 100 км<sup>2</sup> 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 распрост-



рапения вечномерзлых грунтов (в Западной и Восточной Сибири, Якутия 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, отысканные факторы обусловили специфический подход к назначению дорожных конструкций, земляное полотно которых проектируют и строят преимущественно в насыпях (выемки составляют менее 2-3%) из нецементированных 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 исследования вопросов проектирования прочного и устойчивого земляного полотна на вечномерзлых грунтах.

Применение нецементированных 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.

Безусловно, рациональнее проектирование и строительство транспортных сооружений, в первую очередь земляного полотна,

на вечномёрзлых грунтах должны базироваться на тщательном изучении материалов отдельных геокриологических исследований.

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

## 2.2. Основные понятия, термины

Грунты называются мерзлыми, если они имеют нулевую или отрицательную температуру и содержат в своем составе лёд. Грунты называются вечномёрзлыми, если они находятся в мерзлом состоянии в продолжение многих лет (от 3-х и более). В их состав входят минеральные частицы, лёд, вода и воздух. Величина, форма и состав этих составляющих характеризуют особую криогенную (мерзлотную) текстуру. Различают 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 линз с минеральными слоями, которые имеют массивную текстуру. Сетчатая текстура (рис. 2.1, в) формируется ледяными включениями, располагающимися в виде сетки.

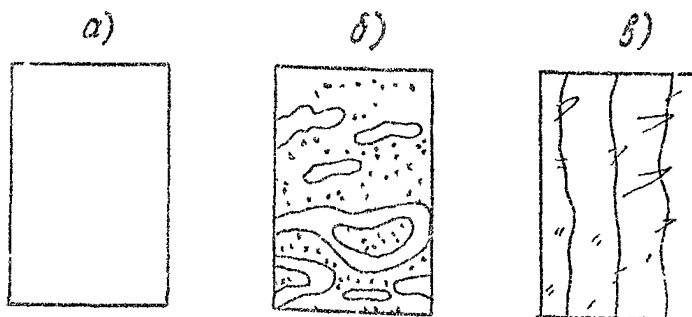


Рис. 2.1. Основные виды текстур мерзлых грунтов  
а - массивная; б - слоистая; в - сетчатая

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

I. По физическому состоянию:

- низкотемпературные (твердомерзлые), то есть прочно спаянные льдом, практически несжимаемые грунты с температурой ниже границ замерзания грунтов (для песков пылеватых температура замерзания ниже минус 0,3 °С, для супеси ниже минус 0,6 °С, для суглинков ниже минус 1 °С и для глин ниже минус 1,5 °С);

- высокотемпературные (пластичномерзлые), то есть с большим содержанием незамерзшей воды, с температурой ниже 0 °С и выше температуры замерзания грунтов, обладающие вязкими свойствами и характеризуются способностью сжиматься под нагрузками от сооружения.

II. По территориальному распространению вечномерзлых грунтов:

- районы географически сплошной вечной мерзлоты, но 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 расчленены таликами. Талики представляют собой талые породы, ограниченные в своем распространении мерзлыми породами;

- острова и районы островов с вечномерзлыми грунтами и лишь от общего вечномерзлого массива.

III. По продолжительности существования

- кратковременномерзлые грунты (в течение нескольких месяцев);

- сезонномерзлые грунты (в течение нескольких месяцев, максимум года);

- многолетнемерзлые или вечномерзлые грунты (в течение 3-х лет, до сотни, десятков сотен и даже нескольких лет) - то есть существующие "вечно".

Кроме того, могут быть случаи, когда верхний слой грунта при замерзании не сливается с вечномерзлыми (несливаясь целая мерзлота) и сливается (сплошная сливающаяся мерзлота)

(рис. 2.2).

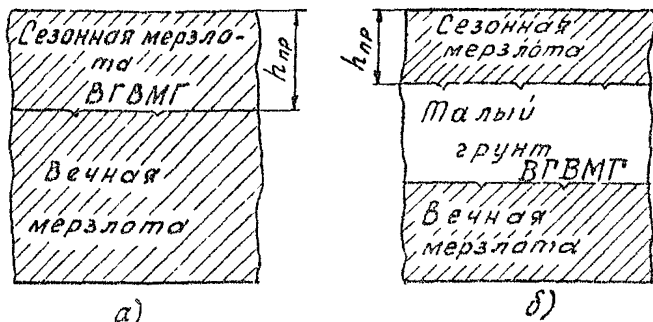


Рис. 2.2. Сливающаяся (а) и несливающаяся (б) вечная мерзлота

Полная глубина сезонного оттаивания  $h_{от}$  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, экспозиции, 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.;
- $A_0$  - нулевая амплитуда температур толщи пород, т.е.  $= 0^{\circ}\text{C}$ ;
- $H_0$  - глубина нулевой амплитуды пород, м;  $H_{от}^{max}$  - 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 толщи пород по глубине; 2- кривая самых высоких положительных и отрицательных температур толщи по глубине.

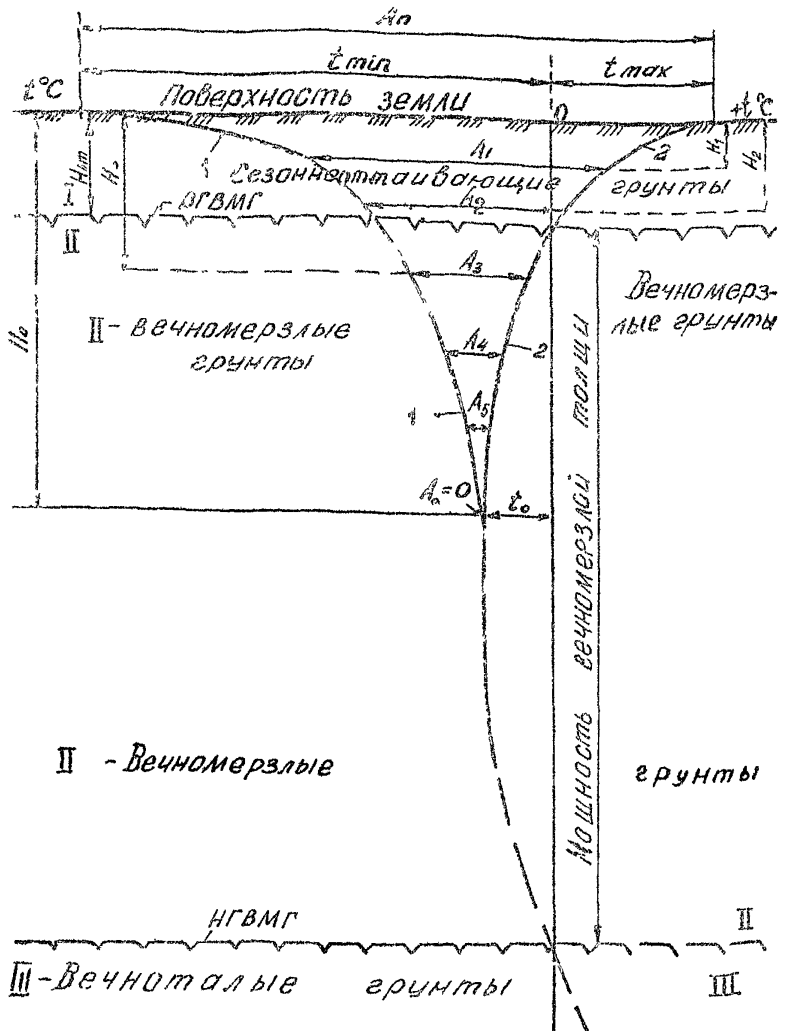


Рис. 2.3. Изменение температуры по глубине сезоннооттаивающего слоя грунта и вечномёрзлой толщи пород

### 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, основной особенностью 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 Сибским филиалом СовхозНИИ (Р.З.Порицкий, В.А.Давидов и др.), в результате 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 (НТМГ) сплошного распространения с высокой влажностью грунтов сезоннооттаивающего слоя (влажность грунтов выше предела текучести); вторая  $I_2$  — центральная подзона НТМГ сплошного распространения с умеренной влажностью грунтов сезоннооттаивающего слоя ( $W_{отт} = 0,7-1$ ); третья  $I_3$  — южная подзона высокотемпературных вечномерзлых грунтов (ВТМГ) сплошного и островного распространения с умеренной влажностью сезоннооттаивающего слоя ( $W_{отт}=0,7-1$ ).

В основу районирования положены факторы, оказывающие решающее влияние на устойчивость дорожных конструкций в этой зоне: вид грунта сезоннооттаивающего слоя и его влаж-

ность, характер распространения вечномерзлых грунтов и их температура, мощность слоя сезонного оттаивания. Совокупность этих признаков обусловлена сочетанием климатических, грунтово-гидрогеологических и мерзлотных особенностей и присуща в определенной степени природным ландшафтам земной поверхности. Действительно, 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  $I_1$  дорожно-климатической зоны; вторая подзона  $I_2$  дорожно-климатической зоны и т.д. Такая нумерация подзон позволит 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 сплошной высокотемпературной вечной мерзлоты, или в виде отдельных мерзлых островов среди талой толщи грунта. В горных районах в связи с вертикальной 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 предельного оттаивания грунтов основа-





Т а б л и ц а 3.1

## Характеристика и границы подзон зоны вечной мерзлоты

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

I	2	3
I <sub>3</sub> - 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 °С. Глубина сезонного оттаивания достигает 4 м и более. Грунты пылеватые, 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 вечномерзлоты в Европейской части СССР, на Дальнем Востоке и севернее южной государственной границы с Монголией и Китаем в Восточной Сибири. Включает северную и центральную часть Камчатки

- Примечания :
1. Границы даны 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 на заболоченных участках, на склонах северной экспозиции и в пониженных затененных местах.
  4. Таблица разработана В.А. Давыдовым.

ния и осушения дорожной полосы до возведения земляного полотна. Для более детальной характеристики условий района продолжения 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	3
1-й (сухие места)	Без избыточного увлажнения. Поверхностный сток обеспечен. Естественная относительная влажность грунтов менее 0,8 от предела текучести	Каменные возвышенности, крутые склоны сопкок, песчаные и гравийно-галечниковые косы с мощностью сезоннооттаивающего слоя более 2,5 м. Грунты гравийно-галечниковые, песчаные, а также супесчаные, глинистые непросадочные <sup>X</sup> )
2-й (умеренные места)	Избыточное увлажнение в отдельные периоды года. Поверхностный сток не обеспечен. Естественная относительная влажность грунтов от 0,8 до предела текучести	Плоские водоразделы, пологие склоны гор и их шлейфы с мощностью сезоннооттаивающего слоя от 1,0 до 2,5 м. Грунты глинистые просадочные <sup>X</sup> )
3-й (мокрые места)	Постоянное избыточное увлажнение. Водоотвод не обеспечен. Надмерзлотные и длительно стоящие (более 20 суток) поверхностные воды. Естественная относительная влажность грунтов выше предела текучести	Мари, заболоченные тальвеги, замкнутые впадины с развитым похоторфьяным покровом и малой мощностью (до 1 м) сезоннооттаивающего слоя. Грунты глинистые сильно просадочные <sup>X</sup> ), содержащие в пределах двой-

О к о н ч а н и е т а б л . 3.2

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

х) Грунты считаются условно непросадочными при относительной степени просадочности  $\delta < 0,03$ , просадочными — при  $0,03 \leq \delta < 0,1$  и сильнопросадочными — при  $\delta > 0,1$ . Степень просадочности определяется по формуле  $\delta = (\gamma_{sk} - \gamma_{sk}^*) / \gamma_{sk}^*$ , где  $\gamma_{sk}$  — объемный вес скелета в мерзлом состоянии, г/см<sup>3</sup>;  $\gamma_{sk}^*$  — объемный вес скелета грунта, оттаившего под нагрузкой

4. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ  
В РАЙОНАХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Обычно у поверхности земли находится слой, который ежегодно летом оттаивает, а зимой замораживает. Он называется деятельным (сезоннооттаивающим) слоем (см.рис.2.3 - I).

Для инженерных целей важнейшим вопросом является изучение физических процессов в сезонноталом (деятельном) 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 полосе и удаление мохового покрова способствует увеличению толщины деятельного слоя. При оттаивании пылеватые 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 расползание 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 сдвигам.

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 — пучение земляного полотна. Оно происходит вследствие объемного расширения воды в связанном грунте, при этом наибольшее пучение вызвано дополнительным поступлением воды, перемещающейся в мерзлый 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 окружающей 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, обуславливают дифференцированный подход к проектированию и строительству земляного полотна автомобильных дорог.

Гидротехнические, промышленные и жилые сооружения в большинстве случаев своими фундаментами опираются на вечномерзлую толщу, почти не меняющую своих свойств во времени. Основным элементом 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 влажность 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 строи-

гельства дороги и осушение придорожной полосы

### 5. ОСОБЕННОСТИ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НЕЧЕСТКОГО ТИПА

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

Оттаивание земляного полотна и основания в зоне вечной мерзлоты протекает по схеме (рис.5.Г,Б), подобной схеме промерзания например, во II дорожно-климатической зоне СССР (рис.5.А,В) так как имеет место одинаковое направление потоков тепла (в зоне вечной мерзлоты) и потоков холода (в районе 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.А,Б) подобен схеме процесса оттаивания в средней полосе страны (см.рис.5.Г,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 находится мерзлый (вечномерзлый), практически несжимаемый слой грунта на незначительной глубине оттаивания (до 1,5 м).

Как установлено (Н.А.Цытович и др.), модули упругости (це-форманты) мерзлых глинистых грунтов имеют высокие значения, в 2-3 раза — в несколько раз (иногда в десятки раз) меньше. В переходном 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 —

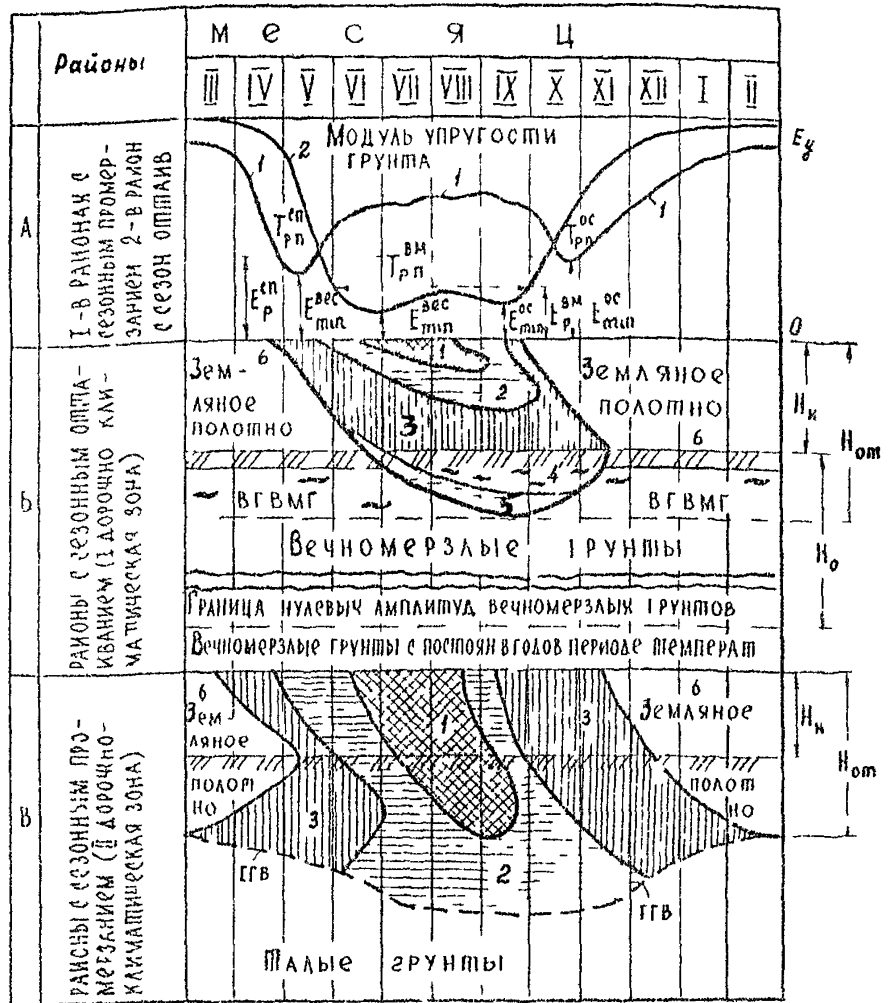


Рис. 5. Г. Схема годового цикла водно-теплового режима земляного полотна и основания в районах вечной мерзлоты и сезонного оттаивания грунтов:  
 А - изменение модуля упругости грунта земляного полотна в годовом периоде; Б и В - схемы протаивания, промерзания и увлажнения; 1 - сухой талый грунт; 2 - влажный талый грунт; 3 - талый грунт повышенной влажности; 4 - персублимпонный талый грунт; 5 - намерзлотная вола; 6 - твердомерзлый грунт; 7 - прослойки и линзы льда;  $H_k$  - высота несущей;  $H_{ом}$  - мощность слоя оттаивания (промерзания);  $H_0$  - глубина расположения границы нулевой амплитуды

ние имеет большое практическое значение для проектирования и строительства дорог в указанных районах, так как регулированием глубины расположения вечномёрзлого слоя грунта можно повышать 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 прессы и жестких металлических штампов диаметрами 20, 25 и 34 см. При  $H_{от} = 0$ , то есть, когда грунт был мерзлым, модули упругости, по данным наших опытов, имели огромную величину:  $E_y = 2 \times 10^2 - 25 \times 10^3$  кгс/см<sup>2</sup>, а  $E_{д} = 0,4 \times 10^3 - 5 \times 10^3$  кгс/см<sup>2</sup>. При глубине оттаивания 4-5 см модуль упругости составлял уже 1800-2190 кгс/см<sup>2</sup>, а деформации - 629-347 кгс/см<sup>2</sup>.

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 полупространства. 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 полупространству при действии статических нагрузок. Величины сжимающих напряжений, возникающих на контакте грунтового слоя и жесткого основания, исследовались за рубежом (Мелан, Бю, Мюргерр и др.) и в нашей стране (О.Я.Шехтер, К.Е.Горюв, М.И.Горбунов-Посалов и др.). Получены аналитические решения и разработаны приемы численного определения напряжений и деформаций.

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



тина в ХАПИ, В.А.Давидова в Омском филиале СовздорНИИ и др. установлено, что величина осадки в системе с несжимаемым основанием меньше, чем в однородном полупространстве. Близко 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. Оттаивание грунта создает сложную многослойную систему, которую с некоторыми допущениями можно принять за двухслойную.

Величину эквивалентного модуля упругости системы - талый (верхний) плюс мерзлый (нижний) слои - 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 - упругоэластичный слой грунта плюс жесткое несжимаемое основание. Это явление можно учесть, используя решение К.Е.Горова, основанное на формуле Марггерра:

$$\beta = \int_0^{\infty} \mathcal{Y}_0\left(\frac{R}{H}t\right) \mathcal{Y}_1\left(\frac{R}{H}t\right) \frac{\text{sh}^2 t}{\text{sh}t \cdot \text{ch}t + 1} \frac{dt}{t} \quad (5.1)$$

где  $R$  - радиус штампа, см;  $t$  - расстояние от центра круглого штампа до точки, перемещения которой определяют, см;  $\mathcal{Y}_0$  - функция Бесселя нулевого порядка первого рода;  $\mathcal{Y}_1$  - функция Бесселя нулевого порядка второго рода;  $\text{sh}$ ,  $\text{ch}$  - 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  $\mathcal{Y} = 0$ ,  $\mathcal{Y}_0 = 1,0$ , коэффициент влияния жесткого несжимаемого слоя на величину модуля упругости является обратной величиной коэффициента  $\beta$ :

$$\beta^{-1} = \int_0^{\infty} \mathcal{Y}_1\left(\frac{R}{H}t\right) \frac{\text{sh}^2 t}{\text{sh}t \cdot \text{ch}t + 1} \frac{dt}{t} \quad (5.2)$$

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

В грунтах земляного полотна и основания, как правило, влажность по глубине неоднородна (в верхних слоях меньше, а в нижних больше) и в течение всего периода оттаивания имеет постоянные значения (см. рис. 5.1). Указанную закономерность

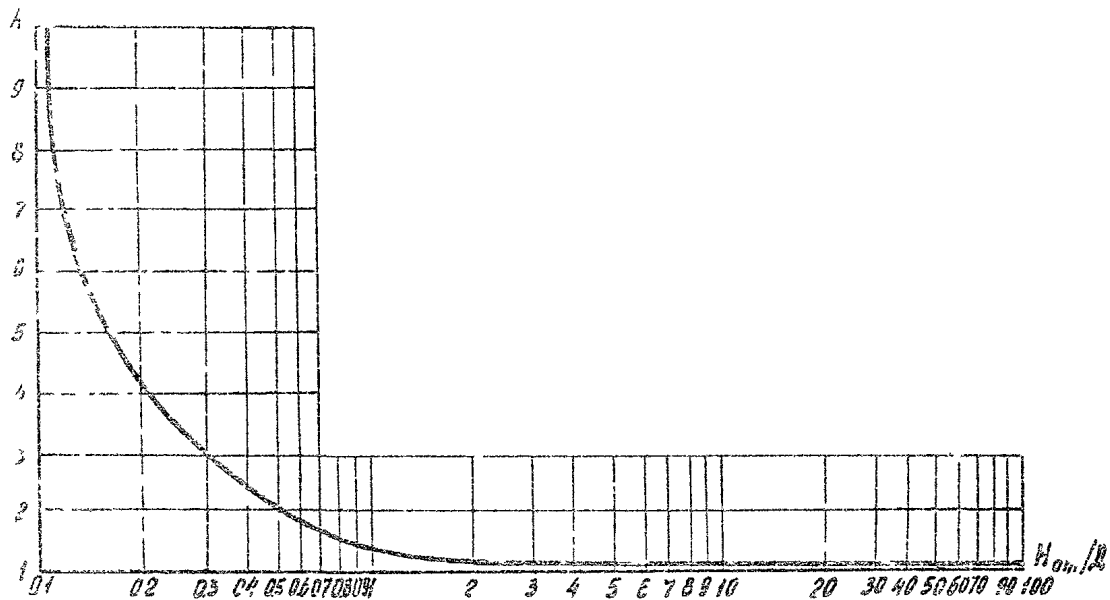


Рис. 5.2. График для определения коэффициента влияния мерзлого слоя  $A$  на величину модуля упругости (деформации) в зависимости от относительной глубины залегания мерзлого слоя  $H_{0m}/D$ .

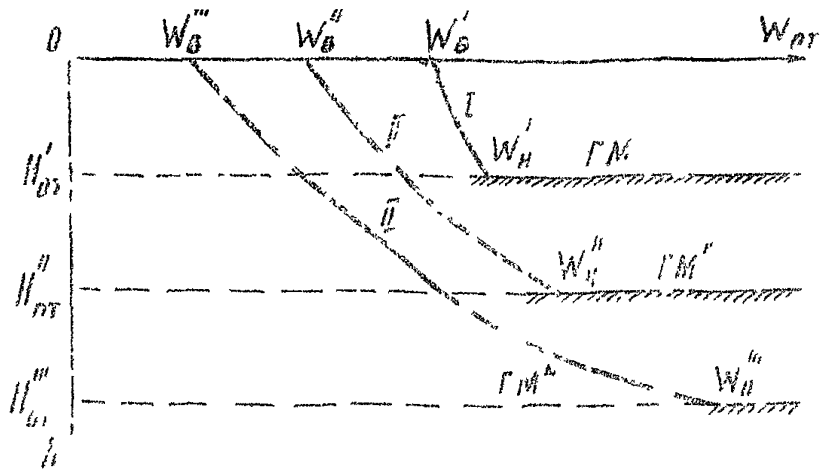


Рис. 5.3. Изменение влажности грунтов по мере оттаивания слоя насыпи в течение весенне-летнего периода: I - влажность грунта в весенний период (начало оттаивания); II - влажность грунта в начале летнего периода; III - влажность грунта в конце летнего периода; ГМ - горизонт мерзлоты

для естественных условий зоны вечной мерзлоты отмечали бр.б.р. П.А. Бузаков и мерзлотоведы, однако практически рекомендаций по ее учету для оценки прочности грунтов не было сделано.

Характерные эпюры распределения влажности по глубине оттаивающего слоя в расчетный период (весна-лето) были установлены вторым в процессе исследования автомобильных дорог в зоне вечной мерзлоты [14, 16, 22]. В начале оттаивания снежного полотна происходит увлажнение верхнего активного слоя грунта (весенний период), затем, по мере опускания границы оттаивания вниз, вслед за горизонтом мерзлоты опускается и слой влаги под действием гравитационных сил.

В летний период за счет испарения с поверхности в значительной мере просыхают верхние слои земельного полотна, а вблизи на границе с мерзлой землей грунтом наблюдается малая влажность, нередко достигающая предела текучести. Определение влажности обусловливает неравномерность влажности по глубине, что следует учитывать в расчетах прочности дорожных конструкций.

Из этих данных можно сделать вывод [14, 16] о том, что

установлено (1966 г.), что при глубине оттаивания более величины  $H_{от.}$  равной 3 диаметрам шагма, влажность грунта по глубине распределяется по экспоненциальной зависимости. Следовательно зная влажность верхнего и нижнего слоев, можно по зависимости  $E = f(W)$  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 [16] номограмма (см. рис. 5.4). В общем виде график изменения модуля упругости грунта от глубины оттаивания с учетом мерзлого слоя и неоднородного увлажнения описывается уравнением

$$E_y^{общ} = E_y^0 \left[ 1 + \frac{B}{H/\lambda} + \frac{C}{(H/\lambda)^2} \right], \quad (5.3)$$

где выражение в квадратных скобках названо обобщенным коэффициентом влияния мерзлого слоя грунта и неоднородного увлажнения его по глубине  $A_y$ ;  $B$  и  $C$  — 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 (сухеск) земляного полотна на одном из опытных участков, построенных на автомобильной дороге У категории 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  $T_{рп}^{сн}$ , 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  $E_{min}^{ос}$ ,  $E_{min}^{ос}$  (см. рис. 5.1, А), а продолжительность расчетного периода  $T_p^{ос}$  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  $\delta$  и  $\rho$  и минимальных (критических) значений модуля деформации  $E_g$  при относительной глубине оттаивания грунта Н/Д

Грунт	Относительная деформация $\lambda$	$E_g^o$	$\delta$	$\rho$	Критические точки	
					$E_g^{min}$	Н/Д
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

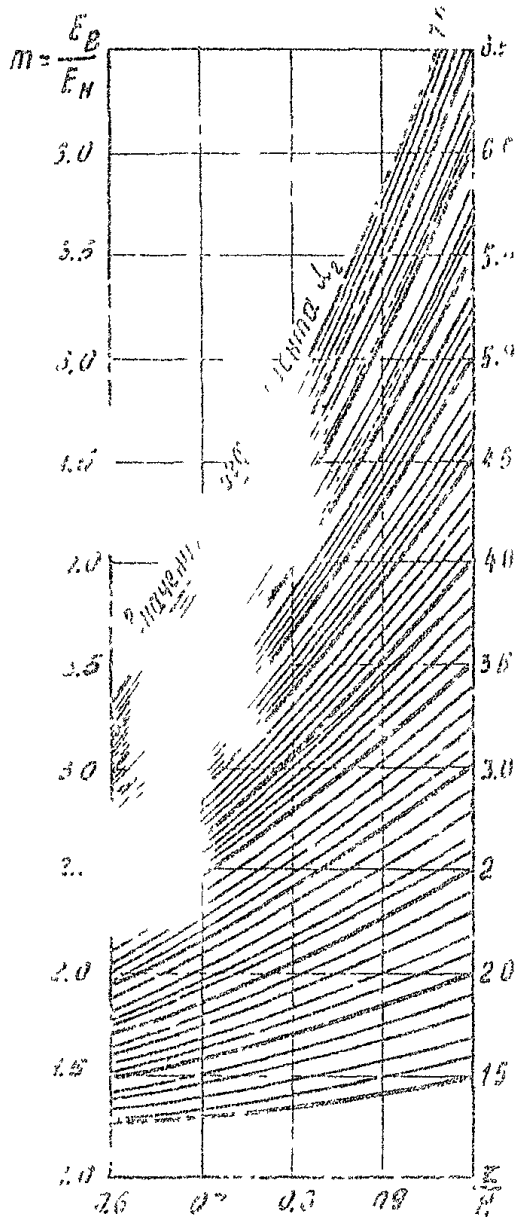


Рис. 3.2. номограмма значений коэффициента  
 относительного неравномерного увлажнения по  
 среднему земному полюсу в зависимости  
 от относительной влажности воздуха

табл. 100а (с. 175)

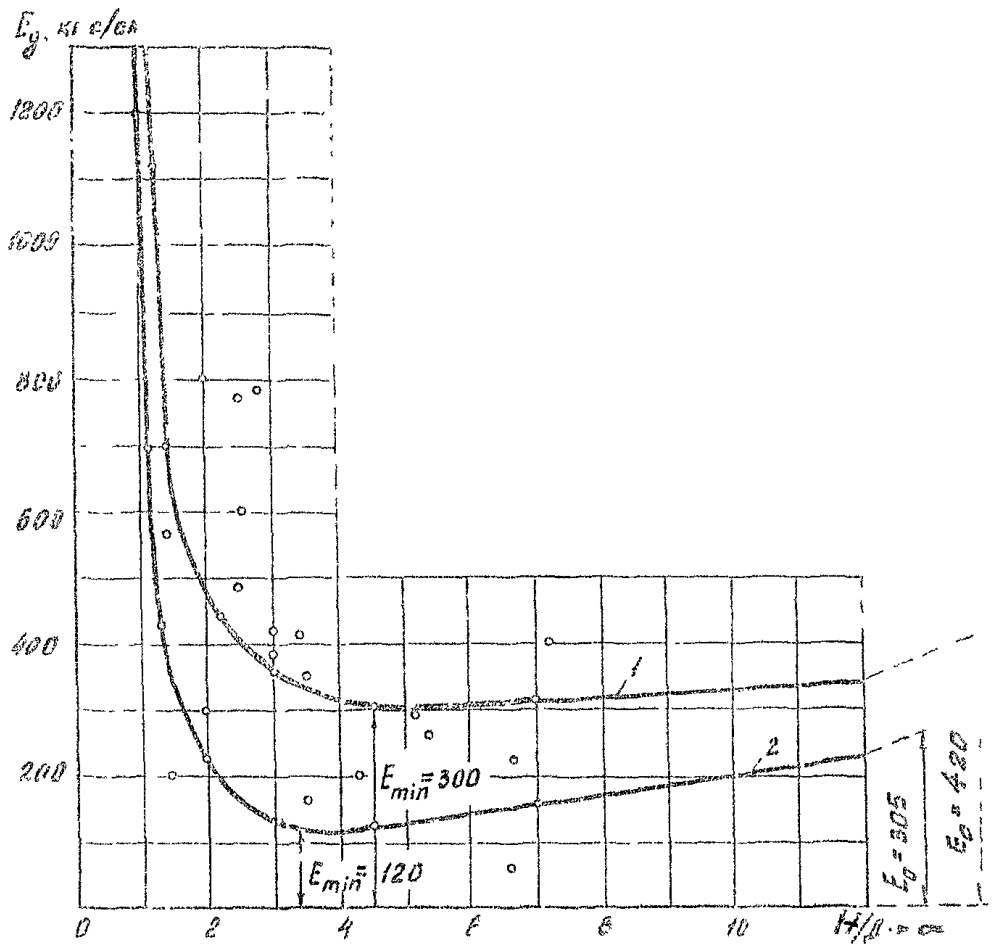


Рис. 5.5. Изменение модуля деформации оттаивающего супесчаного грунта (при  $\lambda_0 = 0,01$ ) на одном из опытных участков: 1 - для средних значений модуля деформации; 2 - для минимальных значений

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДОРΟЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОЧНОСТЬ

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

$$\frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{гр}}} > \bar{F}_{\text{пр}}^0, \quad (6.1)$$

$$\bar{\sigma}_D \leq R, \quad (6.2)$$

$$|\bar{\sigma}_a| \leq [T_a], \quad (6.3)$$

где  $E_{\text{общ}}$  - общий модуль упругости дорожной конструкции, МПа;  $E_{\text{гр}}$  - требуемый модуль упругости дорожной конструкции, определяемый по формуле (6.4) в зависимости от расчетной нагрузки, состава и интенсивности порогового движения и длительности расчетного периода, МПа;  $\bar{\sigma}_D$  - наибольшее растягивающее напряжение при изгибе в материале рассматриваемого слоя одежды, МПа;  $R$  - предельно допустимое растягивающее напряжение при изгибе в материале конструктивного слоя с учетом усталостных явлений, МПа;  $T_a$  - наибольшее активное напряжение сдвига в грунте или связующем материале конструктивного слоя одежды, которое складывается из активных напряжений сдвига от временной нагрузки  $T_a$  и веса вышележащих слоев  $T_a$ , МПа;  $[T_a]$  - допустимое активное напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в слое дорожной одежды, МПа.

Значения  $E_{\text{общ}}$ ,  $\bar{\sigma}_D$ ,  $R$ ,  $T_a$ ,  $[T_a]$  определяют по рекомендациям и указаниям ВСН 46-83.

Требуемый модуль упругости дорожной конструкции определяют по формуле

$$E_{\text{гр}}^p = E_{\text{тр}} K = \frac{P}{A_{\text{г}}} K, \quad (6.4)$$

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, МПа;  $A_{\text{г}}$  - допустимый упругий толчок 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  $I_1$  —  $K=1,3$ ,  $I_2$  —  $K=1,2$ ;  $I_3$  —  $K=1,1$ . Разработана также номограмма (рис. 6.1), позволяющая дифференцированно определить коэффициент  $K$  для различных конкретных пунктов зоны вечной мерзлоты.

Нормативные нагрузки на дорогах общей сети (I-й категории) и для городских дорог принимают по ВСН 46-83.

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

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

$$\bar{E}_y(z) = A'_y(z) E_y^0(z), \quad (6.5)$$

где  $\bar{E}_y(z)$  — общий модуль упругости (деформации) оттаявшего грунтового массива, МПа;  $E_y^0(z)$  — 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), МПа;  $A'_y(z)$  — комплексный коэффициент, учитывающий влияние мерзлого слоя в зависимости от глубины оттаивания ( $H_{от}$  или  $H_{от}/B$ ) и неоднородное увлажнение земляного полотна и сезоннооттаивающего слоя по глубине; определяет по табл. 6.3.

Т а б л и ц а 6.1

Значения  $E_y$  и  $E_c$

Грунт основания	Расчетные значения,	
	кгс/см <sup>2</sup>	
	$E_y$	$E_c$
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 Ч. А. Давытову, а модулей — по Н. А. Пузакову.

Расчетные прочностные и деформационные 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  $C$  и  $\varphi$  грунтов естественного основания принимают по СНиП.

Величины расчетных модулей упругости и деформации, сцепления и углы 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

$$E_{\sigma}^{\lambda\sigma} = E_{\sigma}^{\tau} / W_{огт}^n, \quad (6.6)$$

где  $E_{\sigma}^{\lambda\sigma}$  – модуль деформации грунта при определенных значениях относительной деформации ( $\lambda = 0,01; 0,02; 0,03$  и т.д.) и относительной влажности  $W_{огт}$ , МПа;  $E_{\sigma}^{\tau}$  – 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  $E_{\sigma}^{\tau}$  и коэффициентов  $n$  устанавливают экспериментально. Выполненная статистическая обработка многочисленных экспериментальных данных позволила установить значения  $E_{\sigma}^{\tau}$  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 определенной модуль упругости  $E_y$  грунта позволила вывести аналогичную зависимость:

$$E_y = E_y^{\tau} / W_{огт}^m, \quad (6.7)$$

где  $E_y$  – значение модуля упругости грунта, соответствующее определенной влажности  $W_{огт}$ , МПа;  $E_y^{\tau}$  – значение модуля упругости грунта, соответствующее влажности предела текучести

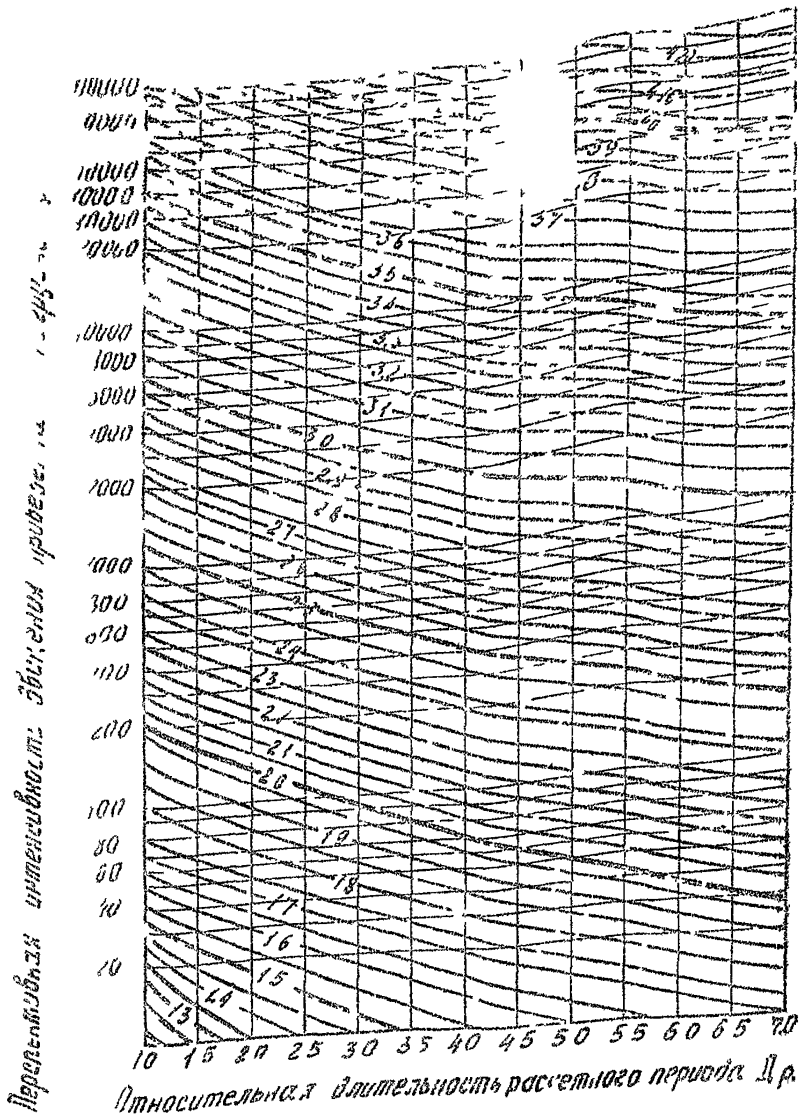


Рис. 6.1. Номограмма значения коэффициента  $K$ , учитывающего относительно длительность расчетного периода  $D_p$ , повторность и динамичность пользования транспортными средствами расчетной интенсивности движения  $M_p$

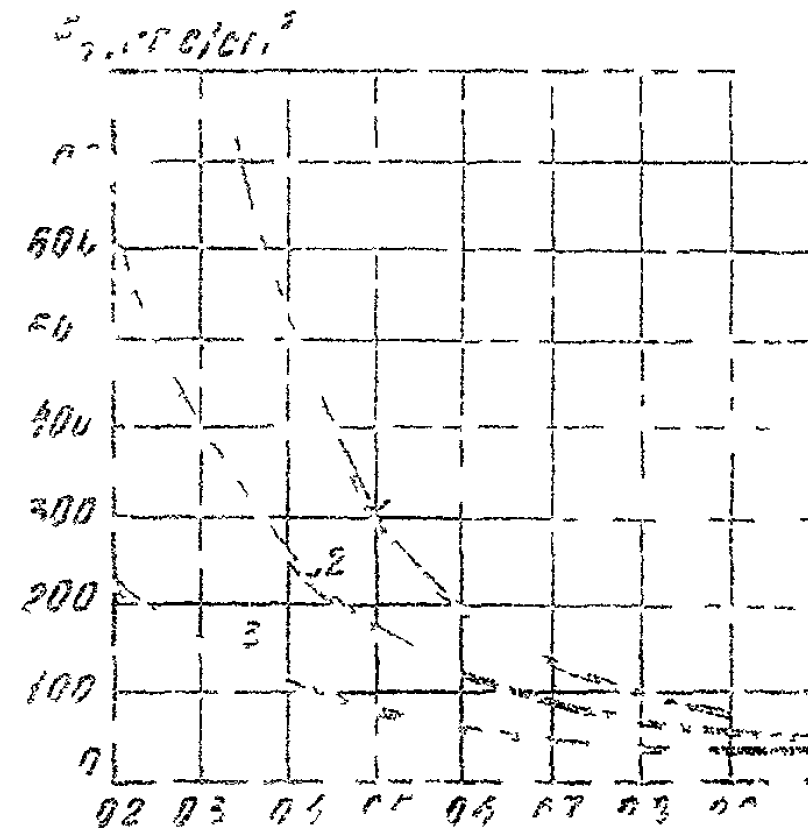
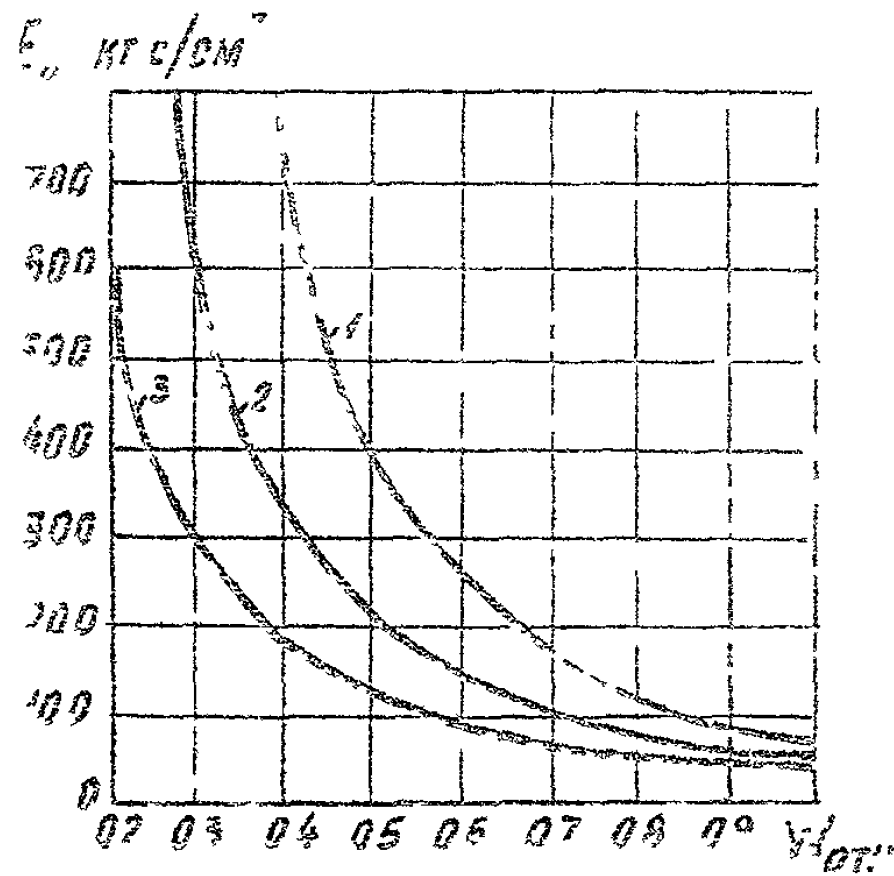


Рис. 6.2 Зависимость модуля деформации грунтов земляно  
 полотня от влажности: а - суглеси; б - суглинки ГЛГ  
 1, 2, 3 соответственно при  $\lambda = 0.01; 0.02; 0.03$

Таблица 6.2

1	2	ПОДСОУБЪЕКТЫ ПРОЗВОДЫ											
		I <sub>3</sub> - восточная				I <sub>2</sub> - центральная				северная			
		W <sub>ост</sub>	E <sub>3</sub>	C	φ	W <sub>ст</sub>	E <sub>2</sub>	C	φ	W <sub>ст</sub>	E <sub>1</sub>	C	φ
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
	Смеси легкие, оптимальные смеси	0,46	570	0,18	37	0,50	500	0,45	35	0,56	430	0,44	36
	Смеси пылеватые, смеси тяжелые	0,56	420	0,42	36	0,59	390	0,39	32	0,63	350	0,36	32
	Смеси легкие и пылеватые	0,68	280	0,60	40	0,71	250	0,54	44	0,75	220	0,5	42
	Смеси пылеватые и тяжелые пылеватые, смеси легкие и пылеватые и тяжелые пылеватые	0,82	180	0,18	16	0,83	170	0,16	14	0,84	160	0,15	11
	Смеси легкие, оптимальные смеси	0,53	560	0,44	36	0,56	420	0,42	37	0,65	440	0,4	33
	Смеси пылеватые, смеси тяжелые	0,73	290	0,3	34	0,74	285	0,27	26	0,75	290	0,25	22
	Смеси легкие и пылеватые, пылеватые, пылеватые	0,71	290	0,35	33	0,82	160	0,39	38	0,86	160	0,38	37
	Смеси пылеватые и тяжелые пылеватые, смеси легкие и пылеватые и тяжелые пылеватые	0,99	140	0,76	74	0,92	130	0,72	72	0,94	120	0,72	70

О к о н ч а ю щ е г а б л . 6.2

I	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	0,23	32	0,84	160	0,25	30	0,87	150	0,23	26
	Супеси пылеватые и тяжелые пылеватые, суглинки легкие пылеватые и тяжелые пылеватые	0,93	120	0,14	11	0,94	110	0,12	10	0,95	100	0,09	8

- Примечания: 1. Значения модулей, влажности и показателя сдвига даны для однородных по зерновому составу грунтов мощностью слоя не менее 0,8 м при требуемом уплотнении.
2. Расчетные показатели грунтов приведены при 5%-ной обеспеченности.
3. Значения  $E_y$  и  $C$  даны в кгс/см<sup>2</sup>, значения угла внутреннего трения - в градусах.

Таблица 6.3

Значения коэффициентов  $\lambda'_y, \lambda'_z$

Относительная глубина оттаивания кот/Д	Относительный радиус штампа $r/R$	Супеси		Суглинки и глины	
		$\lambda'_y$	$\lambda'_z$	$\lambda'_y$	$\lambda'_z$
0,125	4	354,1	362,2	292,2	304,2
0,25	2	31,3	85,4	67,0	69,4
0,5	1	17,7	18,4	14,0	14,1
0,0	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
2,5	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
3,5	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	$\lambda_0 = 0,01$		$\lambda_1 = 0,02$		$\lambda_2 = 0,03$	
	$E_0^r$	$n$	$E_0^r$	$n$	$E_n^r$	$n$
Супеси	60	2,42	50	2,07	45	1,62
Суглинки и глины	50	2,32	45	1,80	36	1,18

грунта, МПа;  $W_{отн}$  — относительная влажность грунта;  $m$  — коэффициент, зависящий от вида грунта.

Значения (6.6) и (6.7) справедливы в пределах значений от-

носительной влажности грунта от 0 до 100% (см. рис. 6.3). Значения модулей упругости на пределе текучести грунта  $E_y^T$  и коэффициента  $m$  устанавливают экспериментально. По основаниям статистической обработки многочисленных экспериментальных данных значения  $E_y^T$  и  $m$  для карбонатов, глинистых и вечном мерзлоте приведены в табл. 6.4

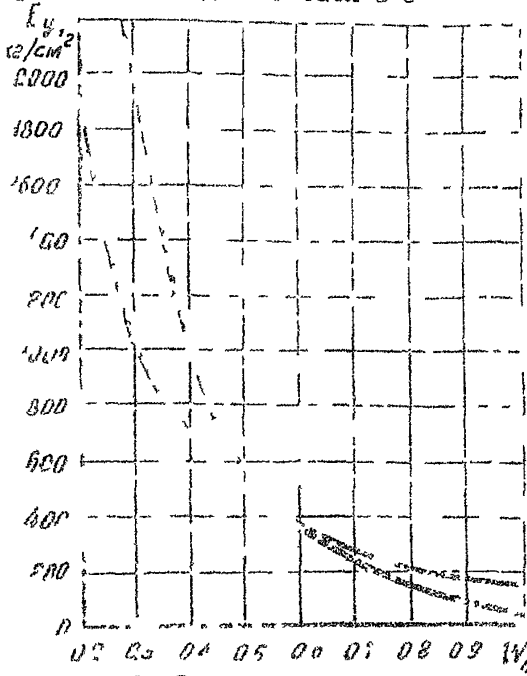


Рис. 6.3. Зависимость модуля упругости грунта от его влажности: 1 - глинистые и глинки; 2 - суглинки

Таблица 6.5  
Значения модуля упругости грунтов

Грунт	$E_y$ кгс/см <sup>2</sup>	$m$
Глина	80	1,59



## 7. ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫСОТЫ НАСЫПИ И ШИРИНЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ММП

Как уже отмечалось, в рассматриваемой 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 заданными 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 (бугры тучения, термокарстовые впадины, участки с солифлюкционными явлениями, належами, меандрирующие озера, скопление массивов подземного льда, мари).

Основные технические нормы и требования по проектированию плана и продольного профиля автомобильных дорог изложены в специальном (СНИП 2.05.02-85, ВСН) и учебной литературе. Особенности изысканий и проектирования дорог в районах вечной мерзлоты изложены в специальной инструкции [25], разработанной коллективом научных работников Омского филиала Сибирской с участием проф. Н. А. Пузакова (МАДИ) и проф. И. А. Золотаря (СОМАТТ).

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 теплотехническому расчету, используя рекомендуемые методы расчета промерзания, протаивания грунтов и насыпей дорог, ширину земляного полотна по расчету в зависимости от габаритов преобладающего типа машин, обращающихся по дорогам.

Обследования дорог, выполненные в течение 1964-1974 гг. показали, что в рассматриваемых районах автомобили большой грузоподъемностью составляют до 50 %.

При ширине проезжей части 6-7 м проектная скорость движения (соответственно 40-50 км/ч) автомобилей не обеспечивается, как показали наблюдения, снижается до 5-10 км/ч, что вчетверо за собой увеличивает эксплуатационно-транспортные

задержки и неровности создает аварийную ситуацию, особенно при встречном движении с ольшегабаритными автомобилями.

Ширину полосы движения  $B_d$  для дороги с двухсторонним движением определяют по формуле

$$B_d = \frac{K_1 + C_k}{V_k} \cdot 100 \cdot V_k$$

где  $K_1$  — ширина кузова автомобиля, м;  $C_k$  — ширина колеи автомобиля, м;  $V_k$  — расчетная скорость движения автомобиля, м/ч.

Полученную по расчету ширину проезжей части следует округлить до 0,5 м. Ширина обочины назначается не менее 2,5–3 м с тем, чтобы обеспечить движение тусовочного транспорта по ним и стоянку автомобилей, так как устраивать обочины в рассматриваемой зоне практически невозможно, а частую нецелесообразно (при наличии льдонасыщенных грунтов деятельного слоя).

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

Например, для автомобиля типа БелАЗ-540

$$B_2 = \frac{3,48 + 2,70}{2} + 1 + 0,01 \times 53 = 4,6 \text{ м.}$$

Тогда ширина земляного полотна при обочинах 2,5 м

$$B = 2 \times B_2 + 206 = 2 \times 4,6 + 2 \times 2,5 = 14,2 \text{ м.}$$

Принимаем  $B = 14$  м. При обочинах шириной 3 м соответственно  $B = 15$  м.

## 8. КОНСТРУКЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ТРЕБОВАНИЯ К ГРУНТАМ

### 8.1. Требования к грунтам земляного полотна

В рассматриваемых районах необходимая прочность и устойчивость земляного полотна в значительной мере зависит от качества грунтов, используемых для его возведения.

Исследования показали, что на участках с высокой влажностью и льдонасыщенностью (мокрые месца) земляное полотно предпочтительно отсыпаять из нецементированных оломочных и песчаных грунтов (кроме пылеватых), а также подсугоищивых материалов и отходов промышленности (схвсти 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, отсыпка земляного полотна и уплотнение грунтов катками на пневматических глинах, 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  $K_{вн}$  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 величина последней может быть установлена через предел текучести (легко определяемый как в лабораторных, так и в полевых условиях) по следующим зависимостям (А.С.Плюцкого):

супесь легкая -  $W_{opt} = 0,70 W_{тек}$

суглинок легкий пылеватый -  $W_{opt} = 0,60 W_{тек}$

суглинок тяжелый, глина пылеватая -  $W_{opt} = 0,55 W_{тек}$ .

Ориентировочные значения оптимальной влажности для характерных 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.

Т а б л и ц а 8.1

## Требования к глинистым грунтам земляного полотна

Часть насыпи	Глубина, располо- жения	Покрyтия капитальные			Покрyтия усовершенствованные облегченные			Покрyтия переходного и низшего типов		
	Злоя от Виза до- рожной облежды, м	Тип местности по характеру поверхностного стока, степени увлажнения и мерзлотно- грунтовой условиям (см. табл. 3.2)								
		1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
I	2	3	4	5	6	7а	8	9	10	II
Верх- няя	До 1,5	Супеси легкие, суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых не более 15%	Супеси легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых не более 5%	Супеси легкие и суглинки легкие, глинистые с содержанием пылеватых частиц не более 50% и глинистых не более 20%	Супеси и суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых не более 15%	Супеси легкие и суглинки.	Супеси легкие суглинки и глинистые с содержанием пылеватых частиц не более 55% и глинистых не более 25%	Супеси легкие и суглинки суглинки легкие, пылеватые и глины с содержанием пылеватых частиц не более 40% и глинистых не более 20%		

Продолжение табл. 8.1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Нижняя непод- тавли- 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 с содер- жанием пылева- тых ча- стиц не более 35% и глини- стых не бо- лее 5%	Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержа- нием пылеватых частиц не более 55% и глинистых не более 25%	Супеси и суглинки легкие с суглинки легкие с содержа- нием пыле- ватых ча- стиц не бо- лее 35% и глинистых не более 15%	Супеси и суглин- ки легкие, суг- суглинки и гли- ны с содержанием пылеватых частиц не более 30% и глинистых не бо- лее 20%	Супеси легкие и суглинки легкие, суглинки и глины с содер- жанием пылеватых частиц не более 40% и глини- стых не более 20%				
Вторая подгруппа	1,5-6		Супеси легкие и суглинки легкие с содержанием пы- леватых частиц не более 35% и и глинистых не более 15%		Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержа- нием пы- леватых частиц не более 35% и глини- -	Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержа- нием пы- леватых частиц не более 35% и глини-		Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содер- жанием пылеватых частиц не более 35% и глини-		Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содер- жанием пылеватых частиц не более 40% и глини-	

О к о н ч а н и е г а б л . 8.1

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

более 50% стых не бо-  
и глини- лее 15%  
стых не  
более 20%

стых не бо- стых не  
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/см<sup>3</sup> порового раствора, а в нижнюю часть - 0,5 г/см<sup>3</sup>.

Т а б л и ц а 8.2

Допустимые значения коэффициента влагонакопления

Г р у н т	$K_{в.н.}$	г/см <sup>3</sup> .ч
Супесь пылеватая		0,04
Суглинок легкий пылеватый		0,03
Суглинок тяжелый пылеватый		0,01

Т а б л и ц а 8.3

Значения допустимой влажности глинистых грунтов  $W_{дп}$   
(в долях от оптимальной)

Г р у н т	При коэффициенте 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	0,8-1,15	0,8-1,2

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

Т а б л и ц а 8.4

Значения оптимальной влажности

Г р у н т	Оптимальная	Максимальная
	влажность $W_{опт}, \%$	плотность при стандартном уплотнении $\delta_{ск}, \text{г/см}^3$
Супесь легкая	15	1,85
Супесь пылеватая, суглинок легкий пылеватый	16	1,75
Суглинок тяжелый пылеватый	20	1,70
Суглинок тяжелый, глина	24	1,50

Примечание. В таблице приведены данные А.С.Плюцкого

Т а б л и ц а 8.5

Наименьшие значения коэффициента уплотнения грунта  $K_u$ 

Части насыпи	Глубина располо- жения от низа до- рожной одежды, м	Район I дорожно-климатической зоны								
		I			2			3		
		Тип дорожного покрытия								
	капиталь- ное	осле- дочное	переход- ное и низшее	капиталь- ное	осле- дочное	переход- ное и низшее	капиталь- ное	осле- дочное	переход- ное и низшее	
Верхняя	0-0,4	0,97-0,96	0,96	0,94	0,98-0,97	0,97	0,95	0,98-1,0	0,98	0,96
	0,4-1	0,96-0,94	0,93	0,93	0,97-0,96	0,95	0,94	0,98-0,97	0,96	0,95
	1-1,5	0,95-0,93	0,91	0,90	0,96-0,95	0,94	0,92	0,97-0,96	0,95	0,93
С Нижняя непод- дающая	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	0,90
		0,96-0,93	0,93	0,92	0,97-0,91	0,94	0,93	0,98-0,95	0,95	

- Примечания: 1. Большие значения  $K_u$  принимают для цементобетонных покрытий  
2. Таблица разработана В. А. Лавыновым.



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 необходимой 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 конструируют в насыпях (безрезервный поперечный профиль) из несцементированных обломочных грунтов с обязательным сохранением в неразрушенном состоянии мохорастительного покрова в основании насыпи и на всей дорожной полосе (рис. 8.1, тип I).

В лесистой местности ширина просеки не должна превышать ширину основания насыпи. Для предохранения мохорастительного 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 наличия дождевых местных теплоизоляционных материалов в основании земляного полотна укладывают теплоизоляционные прослойки различной толщины (рис. 8.2, тип III) из местных строительных материалов, обладающих коэффициентом теплопроводности и

Тун I-a

Тун I-б

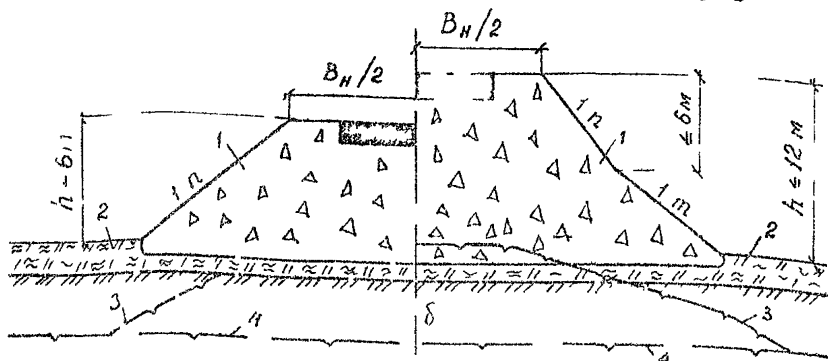


Рис.8.1. Поперечные профили насыпи на льдонасыщенном основании: I – несцементированный обломочный грунт; 2 – мохорастительный покров; 3 – верхняя граница вечной мерзлоты (ВГМ) до постройки насыпи; 4 – ВГМ после постройки насыпи

Тун II

Тун III

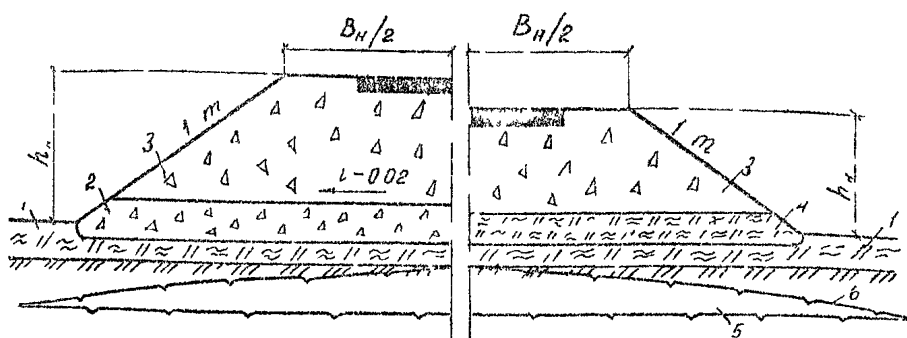


Рис.8.2. Поперечные профили насыпи на льдонасыщенных грунтах: I – мохорастительный покров; 2 – защитный слой из дренажного грунта мелких фракций; 3 – несцементированный обломочный грунт; 4 – термоизоляция из мха (чащеваются на основе теплового расчета); 5 – ВГМ до постройки насыпи; 6 – ВГМ после постройки насыпи

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

Если высокие насыпи сооружают в две стадии, то на первой (зимней) стадии прилепляют только нецементированные обломочные грунты (рис. 8.3, типы IV и V), а на второй (летней) — допускаются глинистые грунты. В таких случаях верхнюю часть насыпи отсыплют 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 положе 1:10) предусматривают полунасыпи-полувнемки. 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 песчаных 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 VII, VIII). 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-

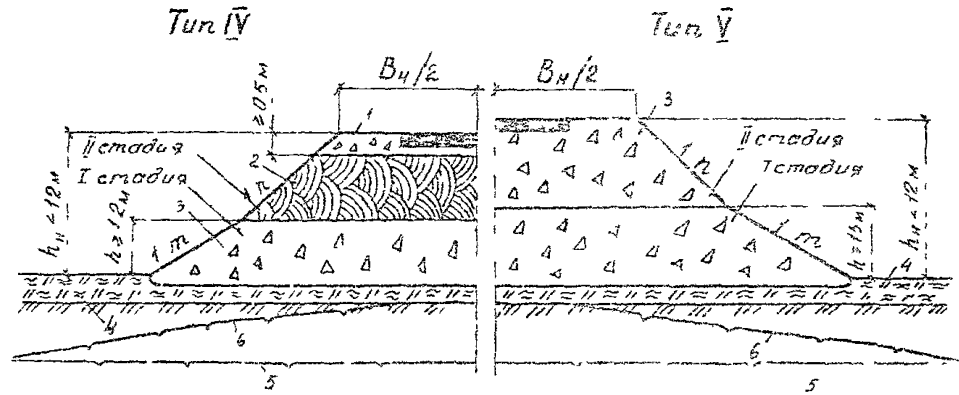


Рис.8.3. Поперечные профили насыпей на льдонасыщенном основании, сооружаемые в две стадии (зимнюю и летнюю): 1 – щебень или гравий по расчету на прочность (но не менее 0,5 м); 2 – глинистый грунт; 3 – несцементированный осломочный грунт; 4 – мохорастительный покров; 5 – ВГМ до постройки часопки; 6 –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

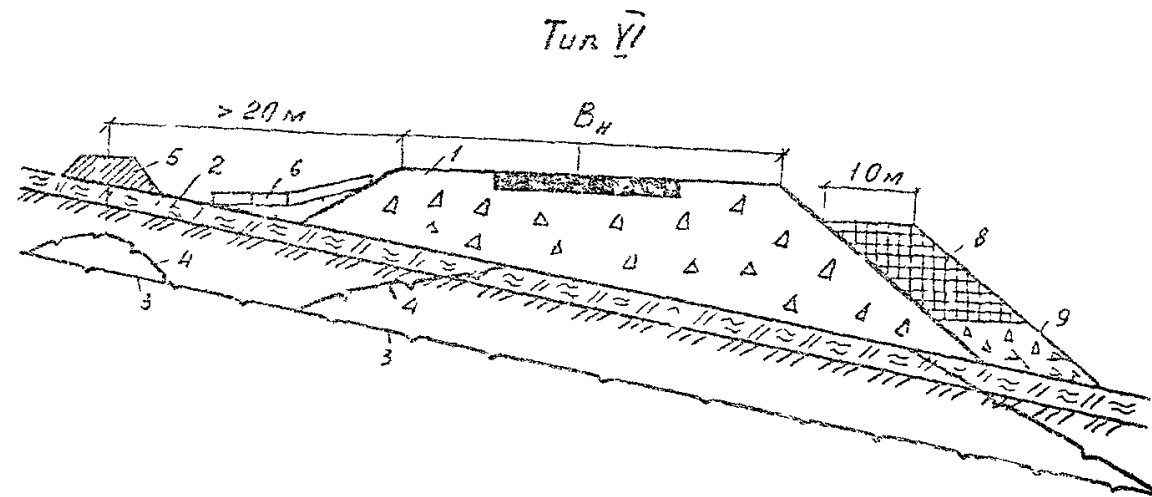


Рис.8.4. Поперечный профиль насыпи на льдонасыщенном косогоре крутизной менее 1:5 : 1 – несцементированный обломочный грунт; 2 – мохорастительный покров; 3 – БГМ до постройки насыпи; 4 – БГМ после постройки насыпи; 5 – нагорный мерзлый валик; 6 – укрепление бетонными плитами на слое мохоторфа; 7 – теплоизоляция из мха или торфа толщиной не менее 0,5 м; 8 – глинистый грунт толщиной 15–20 см; 9 – дрезирующая присылка

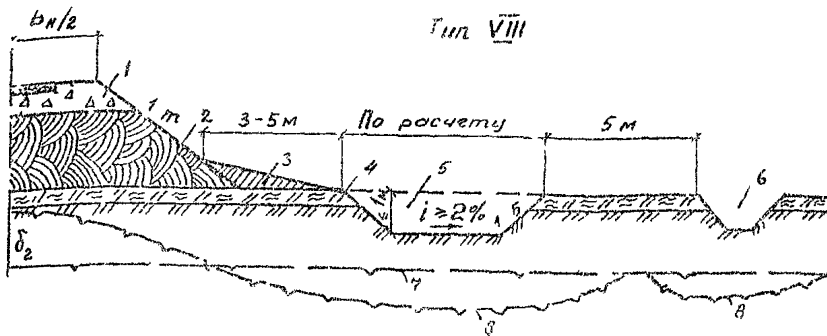


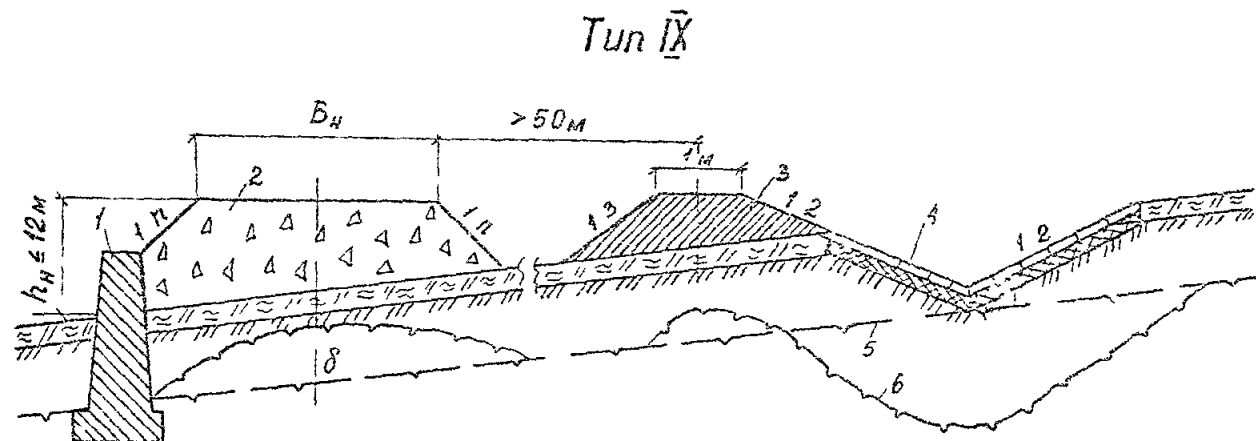
Рис.8.5. Поперечный профиль насыпи из местных глинистых грунтов: 1 – щебень или гравий по расчету на прочность (но не менее 0,5 м); 2 – глинистый грунт из притрассовых резервов; 3 – земляная берма; 4 – похорастительный покров; 5 – резерв; 6 – водоотводная канава; 7 – ВГЕМ до постройки насыпи; 8 – ВГЕМ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

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

На сырых участках местности (2 тип) целесообразно предусмагивать 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 заглубление в вечноммерзлый грунт по расчету на выпучивание (рис.8.6, тип IX).

На затопляемых участках и на подходах к мостам и другим искусственным сооружениям земляное полотно возводят из несцементированных 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 несцементированных обломочных грунтов назначают по расчету (высота подпора воды плюс высота набеге волны на широких пол-



22

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

мах), 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 Конструкция земляного полотна в выемках

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

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

Мелкие выемки раскрывают или разделяют под насыпь для повышения их устойчивости и улучшения их снегозащитности (рис.8.10, тип XV). Во всех случаях должен обеспечиваться надежный 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 заковетные полки шириной 1,5—2 м и улоложение откосов выемки. Крутизну откосов выемок, устраиваемых в неблагоприятных гидрогеологических и мерзлотно-грунтовых условиях, следует назначать по индивидуальным проектам.

### 8.2.4. Конструкция земляного полотна по третьему принципу проектирования

Проектирование по третьему принципу ведут на легкоосушаемых просадочных грунтах с влажностью не менее предела текучести на участках высокотемпературной сплошной и островной вечной мерзлоты. Его применяют главным образом на сырых участках местности, когда предусматривается заблаговременное



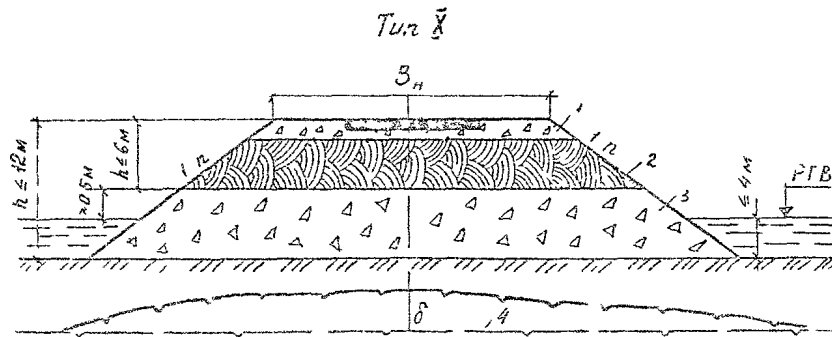


Рис. 8.7. Поперечный профиль на загораемом участке (насыпь высотой до 12 м, глубина воды на поиме до 4 м): 1 – щебень или гравий по расчету на прочность; 2 – глинистый грунт; 3 – несцементированный обломочный грунт; PГВ – расчетный горизонт воды (конструкция преломления при глубине воды до 2 м); 4 – ВГМ по построению насыпи; 5 – ВГМ после постройки насыпи

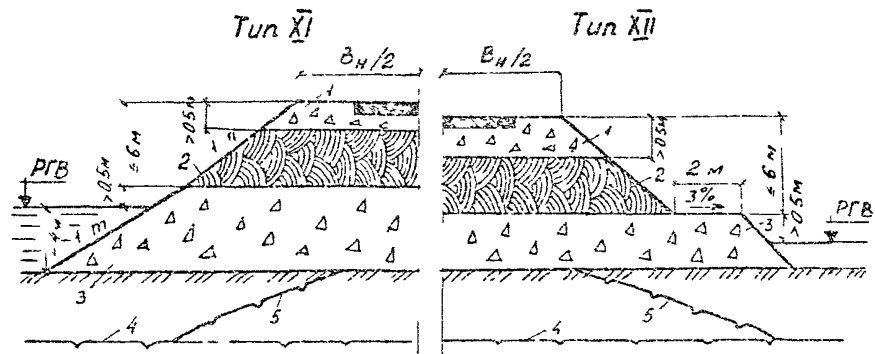


Рис.8.8. Поперечные профили насыпи на загальзированной по льду (насыпь высотой до 12 м, глубина воды на гребне до 4 м); обозначения те же, что и на рис.8.7

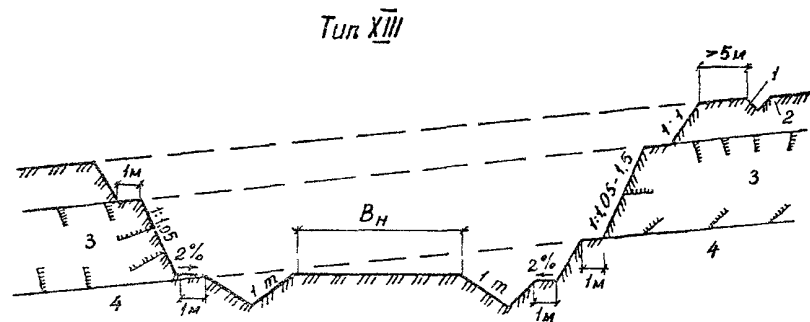


Рис.8.9. Поперечный профиль выемки в скальных грунтах:  
 1 - нагонная водоотводная канава; 2 - растительный слой;  
 3 - легковыветривающаяся скальная порода; 4 - выветривающаяся скальная порода

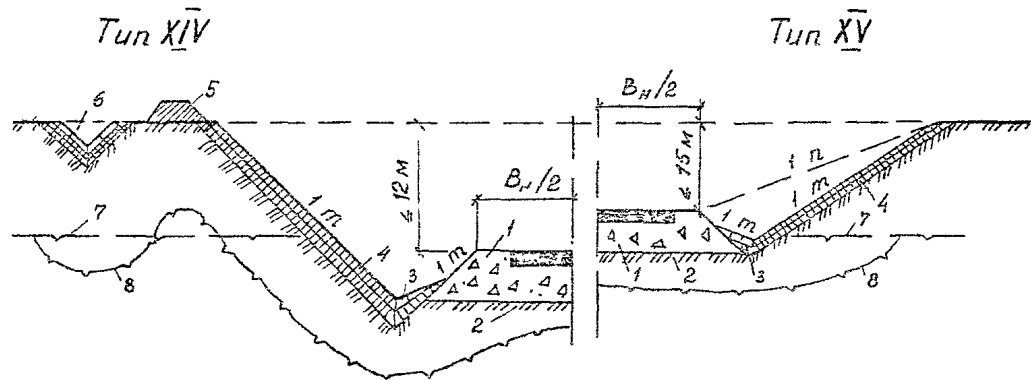


Рис. 8.10. Поперечные профили в слабоподсыщенных грунтах:  
 1 - щебень или гравий; 2 - глинистый грунт основания; 3 - укрепление бетонными плитами на слое мохоторфа; 4 - теплоизоляция из мха по расчету; 5 - ВГЕМ до устройства выемки; 6 - ВГЕМ после устройства выемки; 7 - водоотводная канава; 1:  $m$  и 1:  $n$  - по расчету на снегованосимость; 8 - мерзлотный валик

оттаивание вечномерзлых грунтов, осушение дорожной полосы и упрочнение грунтов основания за счет их предостроечной 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. II. 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 каналы.

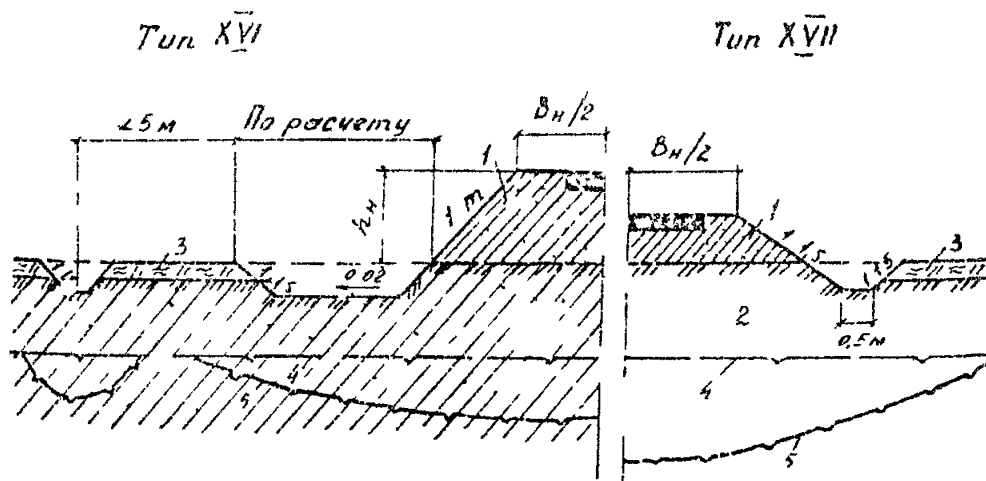


Рис. 8. II. Поперечные профили земляного полотна на легкоосушаемых грунтах: 1 - водоотводная канава; 2 - мохорастительный покров; 3 - резерв; 4 - глинистый легкоосушаемый грунт с примесью крупного песка, щебня или гравия; 5 - супесчаный грунт; 6 - ВГВМ до постройки насыпи; 7 - ВГВМ после постройки насыпи

## 9. СООБНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Стадийность проектно-исследовательских работ (табл. 9. I) устанавливает на основе технико-экономического обоснования строительства дороги (титула), для составления которого проводят экономические и реконоспирозочные исследования.

Т а б л и ц а 9.1

## Стадийность проектно-исследовательских и опытных работ

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

О к о н ч а н и е т а б л . 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 паспортов 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 предпроектные 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 топографических, мерзлотно-грунтовых и гидрогеологических условий местности изыскания автомобильных дорог проводят, как правило, в теплый период года; обследования наледных мест, бугров пучения и снеготаяных 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 наиболее выгодному варианту. Окончательные решения принимают на основе технико-экономических расчетов.

Изыскательские экспедиции и их отдельные партии обеспечивают (в зависимости от местных условий) самолетами, вертолетами, вездеходами, 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 освоения района изысканий, в том числе и наличия дорог.

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

В подготовительный период предусматривают сбор и изучение литературных, фондовых материалов в проектных, строительных и эксплуатационных организациях, в организациях гидрометеослужбы 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 исследований 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, аэрофотоальбомное аэровизуальное наблюдение и инженерно-геологическое обследование аэрофотоснимков.

При предпроектных изысканиях, перед составлением рабочей проекции, трассу восстанавливают на местности, закрепляют по высоте, уточняют гидрогеологические и мерзлотно-грунтовые условия на участках наиболее ответственных сооружений (места проектируемых малых искусственных сооружений, подходы к большим водотокам и переходы через них, площадки под зданиями здания служб эксплуатации и т.г.).

Одной из главных особенностей проектно-исследовательских 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 исследовательских 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 (постях), организуемых на опытных конструкциях, а также на характерных участках эксплуатируемых автомобильных дорог.

В программе наблюдений входит круглогодичная 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) пучения и 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 условия (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 шурбах 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 влагомеров на наблюдательном посту представлена в табл. 9.1.

Результаты измерений температуры заносят в журнал наблюдений.

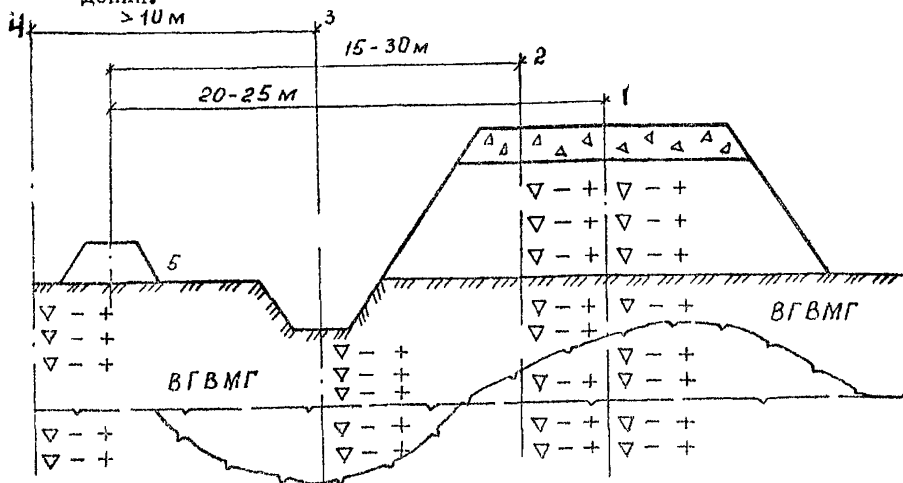


Рис. 9.1. Схема заложения датчиков на наблюдательном посту: 1 – измерительная вертикаль по оси дороги; 2 – то же на обочине; 3 – то же посередине кювета; 4 – то же на границе полосы отвода; (+) – термометры; (-) – влагомеры; 5 – пост наблюдения и М. Рн.

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

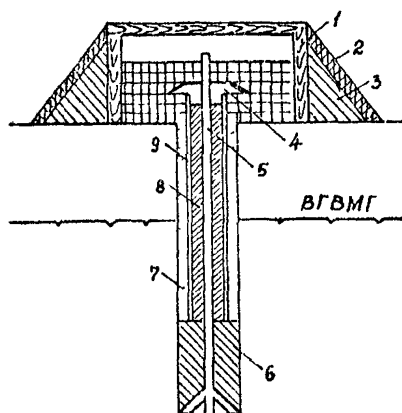
Пучение (осадку) фиксируют путем нивелирования специальных марок (маяков). На участках автомобильных дорог с капитальными и облегченными покрытиями применяют закрепленные в покрытиях стержни со шляпкой, имеющей сферическую поверхность или специальную выточку для установки на ней рейки.

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

толщиной 3-4 мм 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 - деревянная короб; 2 - торфяной пох; 3 - грунт; 4 - заглушка; 5 - стержень репера в вечномерзлом грунте; 6 - глинистый раствор; 7 - засыпка песком; 8 - заполнение солидолом; 9 - труба



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

Модуль упругости мерзлых и оттаивающих грунтов земляной полотно и соответственного основания в зоне вечной мерзлоты определяют посредством пробных нагрузжений 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 грузового автомобиля или прицепа. Применяемая для испытания установка должна иметь мощность, достаточную для нагружения грунта нагрузками, превышающими расчетные.

Осадки штампа измеряют тремя индикаторами, установленными на равном расстоянии от центра штампа и друг от друга (под углом  $120^\circ$ ). На основании этих данных вычисляют упругость

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:

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

где  $P$  — удельная нагрузка,  $\mu$  —  $M/\mu$ , под действием которой установлена величина сжимаемой упругой деформации  $E_y$ , см;  $L$  — диаметр жесткого штампа, см;  $\mu$  — коэффициент Пуассона, равный 0,2-0,3;  $L/4$  — 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., Толстихин И.И., Тумель В.Ф. — М.: Изд-во АН СССР, 1940.
5. Основы геокриологии (мерзлотоведения)/ Н.Ф.Швецов, А.А.Мясисте, Н.И.Салтыков и др.; Отв.ред. чл.корр.АН СССР Н.Ф.Швецов, д-р геол.-мин.наук Б.П.Достовалов. Ч.1, ч.2. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 459 с.
6. Основы геокриологии (мерзлотоведения)/ Н.И.Салтыков, А.И.Демонтьев, 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.Льверовского, 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. Богданов Н.С. Вечная мерзлота и сооружения на ней/ Издание комиссии всестороннего последования х.-д. дела в России. — С.-Петербург, 1912.
10. СН 61-61 Технические указания по изысканиям, проектированию и постройке железных дорог в районах вечной мерзлоты. — М.: Оргтрансстрой, 1962. — 146 с.

11. 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.: Автогизиздат, 1960.- 165 с.

13. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд/Под ред. Золотаря И.А., Н.А. Пузакова, В.М. Сидченко 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 вечномёрзлых грунтах /Под ред. Ю.Н. Авелин, В.И. Докучаева, П.Ф. Федорова.- М.: Строиниздат, 1977.- 552 с.

16. Давыдов В.А. Особенности изысканий 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 Б.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 нежесткого типа. - М.: Транспорт, 1985.- 157 с.

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

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .	3
ВВЕДЕНИЕ . . . . .	4
1. Из истории развития науки инженерной геокриологии (мерзловедения) . . . . .	6
1.1. Дореволюционный период . . . . .	6
1.2. После революционный период . . . . .	9
1.3. Инженерное мерзловедение в транспортном строительстве . . . . .	11
2. Вечномерзлые грунты . . . . .	15
2.1. Распространение вечномерзлых грунтов . . . . .	15
2.2. Основные понятия, термины . . . . .	17
3. Дорожно-климатическое районирование зоны вечной мерзлоты . . . . .	21
4. Принципы проектирования автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты . . . . .	27
5. Особенности волно-теплового режима земляного полотна и расчета на прочность дорожных конструкций нежесткого типа . . . . .	29
6. Особенности расчета дорожных конструкций на прочность . . . . .	32
7. Особенности назначения высот насыпи и ширины земляного полотна на I-II . . . . .	48
8. Конструкции земляного полотна и требования 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 . . . . .	56
8.2.3. Конструкции земляного полотна в чехмяках . . . . .	53
8.2.4. Конструкции земляного полотна по третьему принципу проектирования . . . . .	53
9. Особенности изысканий автомобильных дорог . . . . .	58
9.1. Температурные (мерзлотные) ре . . . . .	58

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



Давыдов Константин Александрович,  
Бондарева Эльвира Дмитриевна

ИЗЫСКАНИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ  
НА ДЛИГОЛЕТНЕИМЕРСЛХ ТРУИТАХ

Учебное пособие

Темплан 1989 г., поз. 1523

Редактор Т. Я. Климова

Подписано к печати  
формат 60x84 1/16. Бумага писчая.  
Оперативный способ печати.  
Усл.п.л. 5,0, уч.-изд.л. 3,  
Тираж 500 экз. Заказ № 486, цена 15 коп.

Редакционно-издательский  
отдел СибСФТИ  
644028, Омск, Ленинский

Омская типография ОПШ  
644050, Омск, пр. 103, 11