В. А. Давыдов, Э. Д. Бондарева

ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Учебное пособие

Омск ОмПИ 1989

gost.e-ecolog.ru

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-изыскательского
отдела объединения Омскавтопор 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 – строительство автомобильных дорог и аэродромов.

УДК 625.72:624.139.34

Изыскания и проектирование автомобильных дорог на многолетнемерзлых 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 инженерного мерзлотоведения, основные понятия о многолетнемерзлых породах (ММП), их распространение на территории Земли.

Приведены особенности водно-мерзлотного режима земляного полотна и естественного основания с наличием ММП, дорожно-климатическое районирование, принципы проектирования и строительства дорог, особенности назначения геометрических размеров насыпи (ширины и высоты), основы теплотехнического расчета, особенности расчета дорожных конструкций на прочность, конструкции земляного полотна и требования к грунтам, особенности изысканий в зоне.

Табл.14. Ил.25. Библиогр : 25 назв.

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

ПРЕДИСЛОВИЕ

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

Пособие составлено с учетом последних достижений отечественной науки (Союздорнии и его Омского филиала, СибАДИ, ЛИСИ и др.) и обобщения передового опыта проектных и строительных организаций СССР (Союздорпроекта 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 I,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, таящие в своих недрах уникальные месторождения ценнейших полезных ископаемых. Наконец, Север – это место обитания многих малых народов, чей быт, уклад жизни и дальнейшее процветание теснейшим образом связаны с его развитием. Вот почему промышленное освоение районов Сибири и Крайнего Севера – одна из крупнейших народнохозяйственных проблем.

Но не только на Севере, где-то за Полярным кругом, но и на всей громадной территории Сибири, от Урала на западе до побережья Чукотки на востоке, человек, осваивая новые районы, неизбежно сталкивается со своеобразием природных комплексов, вызванных наличием вечной мерзлоты, широким распространением мерзлых пород, подземных льдов и различных, неблагоприятных для строительства дорог, зданий и аэродромов, криогенных процессов (бугров пучения, 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 XXУП 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: раньше уровень 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 с легко нарушаемой природной средой 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 (мерзлотоведения) можно выделить два периода и несколько этапов.

I.I. Дореволюционный период

I этап. Сведения о многолетнемерзлых породах (ММП). Местным жителям района распространения многолетнемерзлых пород несомненно было известно об их существовании, т.к. им приходилось сталкиваться с мерзлыми породами при постройке своих жилищ, во время охоты и рыбной ловли, при хранении добычи (мяса, рыбы). В литературе первые сведения о мерзлых породах стали появляться ,по-видимому, лишь с 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 проходити в Китайское государство и отт ле к Восточной Индии", в котором сказано, что на северо-востоке Новой Земли в середине июня "на берегах еще не таял снег и олени не могли себе пищу приобрести".

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

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

П 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 Майдлбтон подтвердил, что в Гудзоновом заливе породы на глубине никогда не оттаивают.

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

В 1828 г. Ф.Шергин, служащий русско-американской компании, закончил проходку "колодца" в Якутске, он за 9 лет достиг глубины 116,4 м. Так была создана знаменитая Шергинская шахта, которая 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 ^{0}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.

Итак, 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 сооружении. Поэтому по просьбе Управления строительства Сибирской железной дороги была создана специальная комиссия Русского географического общества под председательством профессора Петербургского горного института И.В.Мушкетова, которая опубликовала и разработала в 1895 году первую "Инструкцию для изучения мерзлоты почвы в Сибири". Членами комиссии были А.И.Воейков, В.А.Обручев, М.Л.Дыкачев, 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.Боцкаев в 1912 г.

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

I.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 научное учреждение по изучению подземной криосферы, а для координации всех мерзлотоведческих работ в стране – Комиссия по изучению вечной мерзлоты (КИВМ), во главе которой стал академик В.А.Обручев. Необходимость основания такого учреждения была обусловлена задачами широкого освоения районов Севера и Востока СССР.

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

В 1936 г. КИВМ была реорганизована АН СССР в Комитет по вечной мерзлоте, созвавший 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.)

М е р з л о т о в е д е н и е (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 разработан метод анализа частных и общих закономерностей формирования сезонно- и многолетнемерзлых толщ, а также теория и практика мерзлотного прогнозирования (руководитель работ д-р геолого-минер.наук, проф. В.А.Кудрявцев).

В 1956 г. на УП Межведомственном 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 им тогда упразднен, а его отделы были переданы в ПНИИИС Госстроя СССР.

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

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

В эти годы мерзлотоведение успешно развивалось также в отделах институтов Госстроя (ЦНИИС, НИОСП), в институте Всегингео, на кафедрах высших учебных заведений (МГУ, МИСИ, ЛГИ 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.

I.3. Инженерное мерзлотоведение в транспортном строительстве

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

Однако первый нормативный документ по транспортному строительству появился только в 1939 г. [7], разработанный большим коллективом авторов под руководством профессора Ленинградского института инженеров транспорта А.В.Лаверовского и доц. К.Д.Морозова (в разработке этого документа принимали участие профессоры М.И.Сумгин, В.В.Григорьев, В.О.Шохер, А.П.Еремин, Н.Т. Швейковский, С.Л.Гастамов, Л.И.Бернацкий, М.Ф.Срибный, П.Н.Быков, доценты А.В.Пагилаев, А.Н.Цытович, инженеры А.М.Чекотилло, К.В. Петров, С.П.Качурин, Н.Д.Белокрылов, Н.Н. Толстихин, М.И.Крылов, С.Л.Колесников, В.В.Еленевский, геолог Сахарова).

После Великой Отечественной войны исследования продолжались на строящихся и построенных железных дорогах институтами ЦНИИС и СибЦНИИС. 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 Союздорнии (г.Москва). Научную

работу по исследованию особенностей проектирования и строительства автомобильных дорог и аэродромов вел в эти годы д-р техн.наук, проф. Н.А.Пузаков. В эти же годы (1956-1961гг.) 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 (Союздорнии) подготовлены технические указания [11]. В подготовке этого документа принимали участие канд.техн. наук Г.В.Белоножский (снегоборьба), инж. Б.В.Уткин (борьба с наледями), А.Т.Якубцова (мерзлотно-грунтовые обследования), инженеры А.Е.Дюков, М.Н.Елагин, Н.А.Макин, П.А.Баранов, М.М.Антошкин, В.Н.Тулумбасов (автомобильные дороги в районах Арктики), инженеры В.А.Ткачев, Х.Х.Амиров, Д.Н.Изотов, В.В.Ромм, В.А.Толчеев, канд.техн.наук И.П.Матяш 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.Ценюга.

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

Одновременно с закрытием темы в головном институте Союздорнии с 1963 г. начинаются исследования по разработке норм и технических условий по проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты в Омском филиале Союздорнии под руководством канд.техн.наук 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.Поринский (работал в филиале с 1963 г. по 1973 г., затем переехал в Минск и работает в Белдорнии

до сих пор), В.А.Давыдов (работал в филиале почти 13 лет, с 1964 по 1976 гг., затем перешел в СибАДИ, где работает до настоящего времени); а также инженеры Н.А.Голенко, Л.Б.Зотова, Б.Ф.Бржезицкий, С.М.Козырев. Позднее подключились к этой тематике с уклоном на автозимники и строительство дорог на болотах следующие специалисты-дорожники: канд.техн.наук Н.Ф.Савко работал в филиале с 1962 по 1979 гг. (погиб в Магадане), канд.техн.наук Н.М.Тупицын (работал в филиале с 1964 по 1978 гг., затем перешел в СибАДИ, где работает по настоящее время), инж.А.П.Казаков (работает в филиале с 1966 г. по настоящее время). Позднее к этой же тематике подключились исследователи дорожных одежд и материалов (Н.В.Матлаков с 1967 по 1973 гг. Ю.Е.Никольский с 1967 по 1987 гг., А.Г.Широков с 1967 по 1982 гг., умер после командировки в Афганистан, Б.Б. Самойленко с 1972 г., с перерывами, по настоящее время и др.).

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

ва земляных работ.

Результаты этих исследований и практические рекомендации были включены составной частью в "Инструкцию по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты" (ВСН 84-75 Минтрансстрой СССР.-М., 1976.- 218 с.), разработанную коллективом Омского филиала Союздорнии (руководитель работы канд.техн.наук В.А.Давыдов) с участием ряда организаций: Союздорпроекта (А.В.Волконский, В.И.Земсков, К.А.Постникова, В.К.Чугунов), Гипродорнии (И.Н.Войкин, Л.В.Дугин, А.М.Чухвичев), Промтрансниипроект (А.Ф.Бохин), Белдорнии (Р.З.Поницкий), СибЦНИИС (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.Козырева.

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

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

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 № 1 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 планируется ее переиздание в 1990-91 гг. Работа выполняется в Омском филиале Союздорнии, руководитель работы канд.техн.наук Б.И.Попов, с участием авторов из ряда организаций, включая СибАДИ (канд.техн.наук В.А.Давыдов, Н.М.Тупицын) [ВСН 84-89]

На этом краткий исторический очерк о проводимых исследованиях в области инженерного мерзлотоведения применительно к автомобильным дорогам можно закончить (по состоянию на I.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 (более 47%) СССР, большей части Аляски и одной трети территории Канады.

На территории средних и высоких широт обоих полушарий верхние слои литосферы на относительно долгий срок охлаждаются до отрицательной температуры. Грунты, почвы, породы, содержащие включения льда, называются мерзлыми, не содержащие в своем составе кристаллов льда-талыми.

Промышленное освоение новых районов немыслимо без развитой сети автомобильных дорог. Площадь распространения мерзлых пород в СССР составляет 10 млн.700 тыс.км^2, превышая на 1 млн.400 тыс.км^2 территорию США, включая Аляску.

Тяжелые природные условия рассматриваемой зоны: низкие отрицательные температуры (до -60°С), суровые и длинные зимы (7-9 месяцев), близко залегающие к поверхности вечномерзлые грунты, а также отдаленность от экономически развитых районов страны и слабое развитие транспортной сети (менее 0,2 км на 100 км^2 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 богатейших природных ископаемых, разведанных в районах распрост-

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

Тюменской 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" [I]. Однако строительство автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты связано с преодолением специфических особенностей природно-климатического характера: наличие вечномерзлых грунтов, преобладание пылеватых грунтов в деятельном (сезоннооттаивающем) слое и избыточное увлажнение местности.

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

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

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

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

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

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

Естественно, рациональное проектирование и строительство транспортных сооружений, в первую очередь земляного полотна,

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

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

2.2. Основные понятия, термины

Грунты называются мерзлыми, если они имеют нулевую или отрицательную температуру и содержат в своем составе лед. Грунты называются вечномерзлыми, если они находятся в мерзлом состоянии в продолжение многих лет (от 3-х и более). В их состав входят минеральные частицы, лед, вода и воздух. Величина, форма и состав этих составляющих характеризуют особую криогенную (мерзлотную) текстуру. Различают массивную, слоистую и сетчатую текстуры (рис.2.I). Массивная текстура (рис.2.I,а) характеризуется наличием в основном порового льда. Слоистая текстура (рис.2.I,б) представляет собой чередование ледяных включений в виде прослоек и линз с минеральными слоями, которые имеют массивную текстуру. Сетчатая текстура (рис.2.I,в) формируется ледяными включениями, располагающимися в виде сетки.

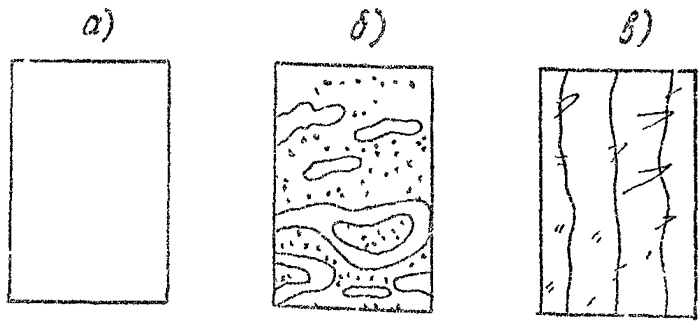

Рис.2.I. Основные виды текстур мерзлых грунтов
а – массивная; б – слоистая; в – сетчатая

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 ^{o}C, для супесей ниже минус 0,6 ^{o}C, для суглинков ниже минус 1 ^{o}C и для глин ниже минус 1,5 ^{o}C);

- высокотемпературные (пластичномерзлые), то есть с большим содержанием незамерзшей воды, с температурой ниже 0 ^{o}C и выше температуры замерзания грунтов, обладающие вязкими свойствами и характеризуемые способностью сжиматься под нагрузками от сооружения.

II. По территориальному распространению вечномерзлых грунтов:

- районы географически сплошной вечной мерзлоты, то есть обширные пространства, в пределах которых вечная мерзлота, как правило, наблюдается повсеместно;

- районы, в пределах которых обширные пространства с вечномерзлыми грунтами на более или менее значительном протяжении расчленены таликами. Талики представляют собой талые породы, ограниченные в своем распространении мерзлыми породами;

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

III. По продолжительности существования

- кратковременномерзлые грунты (в течение нескольких суток);

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

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

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

(рис.2.2).

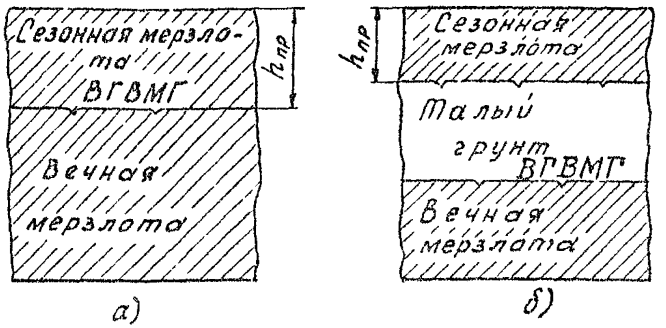

Рис.2.2. Сливающаяся (а) и несливающаяся (б) вечная мерзлота

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:

$A_п$ – годовая амплитуда температур на поверхности земли, °С;
A_1 – годовая амплитуда температур почвы на глубине H_I, °С;
A_2 – годовая амплитуда температур почвы, толщи пород на глубине H_2, °С; A_3 – то же на глубине H_3, °С и т.д.;
A_0 – нулевая амплитуда температур толщи пород, т.е. =0 °С;
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, °С;
I– кривая самых низких отрицательных температур толщи пород по глубине; 2– кривая самых высоких положительных и отрицательных температур толщи по глубине.

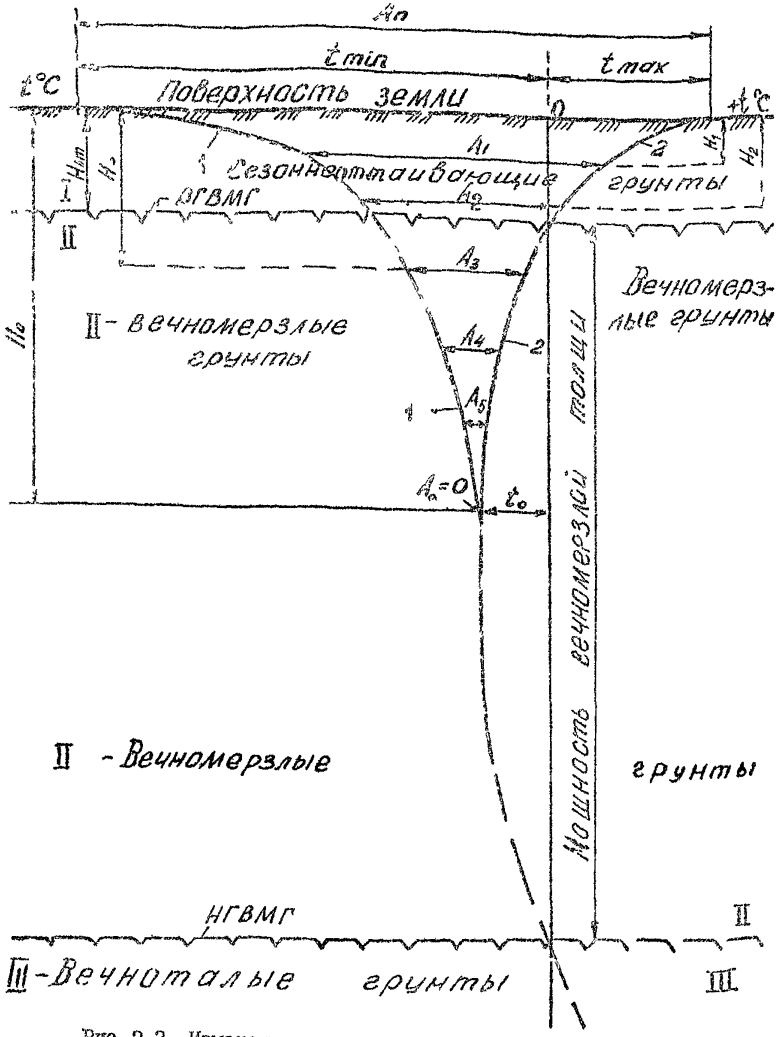

Рис. 2.3. Изменение температуры по глубине сезонно-оттаивающего слоя грунта и вечномерзлой толщи пород

3. ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЗОНЫ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Разнообразие природно-климатических условий СССР учитывают с помощью дорожно-климатического районирования, каждого отражение в нормативных документах (СНиП 2.05.02-85, ВСН 46-8 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 обусловливает необходимость деления территории зоны на подзоны.

На основе исследований [14,16,17,22], проведенных Омским филиалом Союздорнии (Р.З.Порицкий, В.А.Давидов и др.), и результатов многолетних наблюдений за мерзлотным режимом на постах и опытных участках автомобильных дорог, зона вечной мерзлоты разделена на три характерные подзоны (рис.3.I): первая I_1 – северная подзона низкотемпературных вечномерзлых грунтов (НТВМГ) сплошного распространения с высокой влажностью грунтов сезоннооттаивающего слоя (влажность грунтов выше предела текучести); вторая I_2 – центральная подзона НТвМГ сплошного распространения с умеренной влажностью грунтов сезоннооттаивающего слоя ($W_{отн}$ = 0,7–I); третья I_3 – южная подзона высокотемпературных вечномерзлых грунтов (ВТВМГ) сплошного и островного распространения с умеренной влажностью сезоннооттаивающего слоя ($W_{отн}$=0,7–I).

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.I) принята нумерация подзон I_I, I_2, I_3, обозначающая: первая подзона I дорожно-климатической зоны; вторая подзона I дорожно-климатической зоны и т.д. Такая нумерация подзон позволяет не изменять общепринятых названий дорожно-климатических зон (см.ВСН 46-83).

Характеристика природных условий и примерные географические границы районов приведены в табл.2.I. Наиболее неблагоприятной для дорожного строительства является первая подзона I_I, 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 предварительного оттаивания грунтов основа-

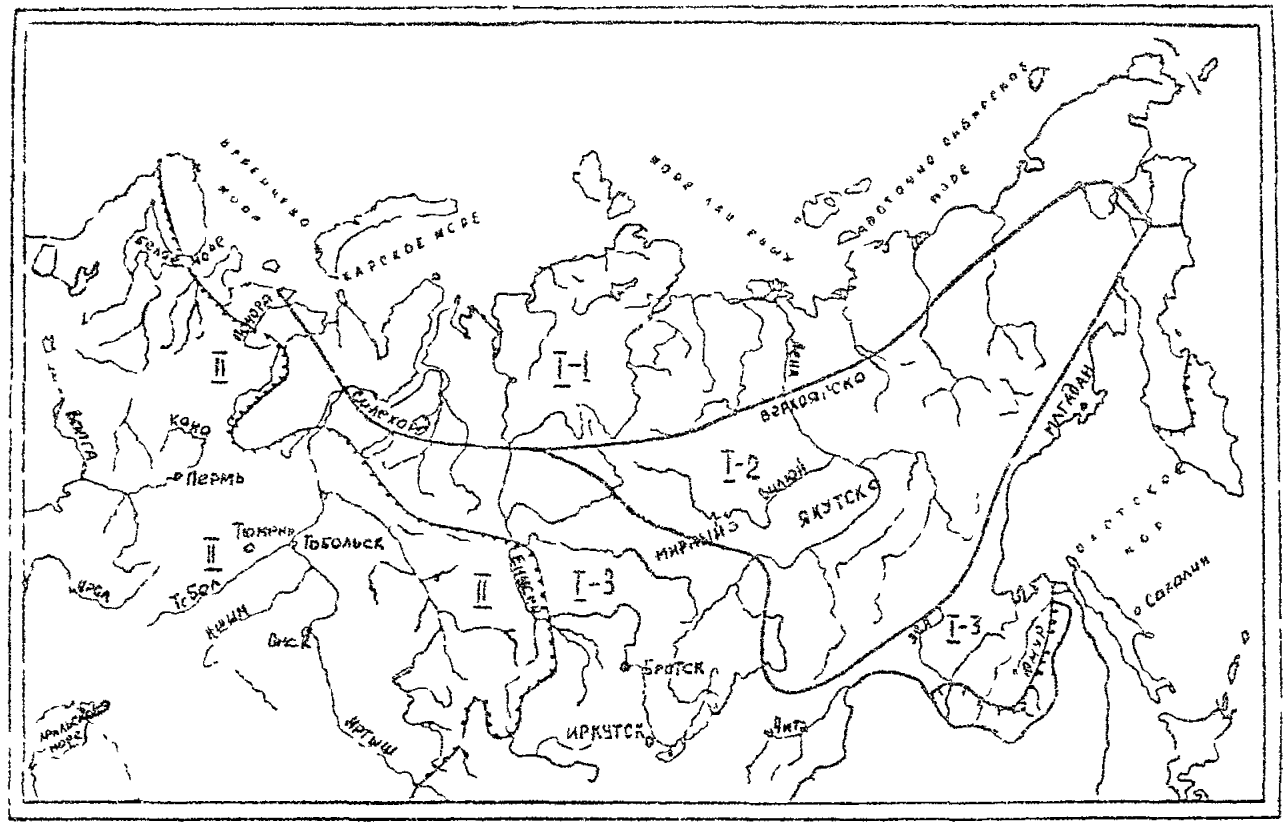

Рис.3.I. Схема дорожно-климатических районов зоны вечной мерзлоты: I_1 – северный; I_2 – центральный; I_3 – южный; II – дорожно-климатическая зона

Таблица 3.I

Характеристика и границы подзон зоны вечной мерзлоты

Подзона вечной мерзлоты	Характеристика природных мерзлотно-грунтовых условий	Примерные границы районов
I	2	3
I_1 – северная подзона низкотемпературных вечномерзлых грунтов (НТВМГ) сплошного распространения	Сплошное распространение вечномерзлых грунтов мощностью от 200 до 900 м и более. Среднегодовая температура вечномерзлых грунтов от –5 до –10 °С и ниже. Глубина сезонного оттаивания от 0,2 до 2 м (преимущественно менее I м). Высокое содержание в вечномерзлых 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 микрорельефо Расположен севернее линии Нарьян-Мар – Салехард-Курейка-Трубка Удачная-Верхоянск-Дружино-Горный Мыс-Марково
I_2 – центральная подзона низкотемпературных вечномерзлых грунтов (НТВМГ) сплошного распространения	Сплошное распространение вечномерзлых грунтов мощностью от 50 до 400 м Среднегодовая температура вечномерзлых грунтов от –I до –5 °С Глубина сезонного оттаивания от 0,8 до 3 м. Грунты скальные, щебенистые, гравийно-галечниковые и глинистые со среднегодовой суммарной относительной влажностью от 0,7 до I,0 относительно предела текучести. Рельеф в основном гористый, частично нагорья и сглаженный равнинный	Включает таежную зону, зону смешанных лесов. Расположен восточнее линии устье реки Нижняя Тунгуска-Ербогачен-Ленск, Бодайбо-Богдарин; северное линии Могоча-Сковородино-Зея-Охотск-Палатка-Слаутское. С севера ограничен I районом.

Окончание табл. 3.I

I	2	3
I_3 – южная подзона высокотемпературных вечномерзлых грунтов (ВТММГ) островного и частично-сплошного распространения	Преимущественно островное распространение вечномерзлых грунтов мощностью до 50–100 м. Среднегодовая температура вечномерзлых грунтов выше –I °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 I,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 вечной мерзлоты 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 :

I. 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 проложения 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.

Таблица 3.2

Типы местности по характеру поверхностного стока степени увлажнения и мерзлотно-грунтовым условиям

Тип местности	Условия увлажнения	Характерные признаки
1	2	3
I-й (сухие места)	Без избыточного увлажнения. Поверхностный сток обеспечен . Естественная относительная влажность грунтов менее 0,8 от предела текучести	Каменистые возвышенности, крутые склоны сопок, песчаные и гравийно-галечниковые косы с мощностью сезонноотстающего слоя более 2,5 м. Грунты гравийно-галечниковые, песчаные, а также супесчаные, глинистые непросадочные[x]
2-й (влажные места)	Избыточное увлажнение в отдельные периоды года. Поверхностный сток не обеспечен. Естественная относительная влажность грунтов от 0,8 до предела текучести	Плоские водораздельные, пологие склоны гор и их шлейфы с мощностью сезонноотстающего слоя от 1,0 до 2,5 м. Грунты глинистые просадочные[x]
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 торфяным покровом и малой мощностью (до 1м) сезонноотстающего слоя. Грунты глинистые сильно просадочные[x], содержащие пределах двой-

Окончание табл. 3.2

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

х) Грунты считаются условно непросадочными при относительной степени просадочности $\delta < 0,03$, просадочными – при $0,03 \leq \delta \leq 0,1$ и сильнопросадочными – при $\delta > 0,1$. Степень просадочности определяется по формуле $\delta = (\gamma_{sk} - \gamma_{sk}')/\gamma_{sk}$,

где γ_{sk} – объемный вес скелета в мерзлом состоянии, т/см^3;
γ_{sk}' – объемный вес скелета грунта, оттаявшего под нагрузкой

4. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В РАЙОНАХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

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

Для инженерных целей важнейшим вопросом является изучение физических процессов в сезоннотаяном (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 сплывам.

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

Наиболее распространенный во всех зонах вид деформации - пучение земляного полотна. Оно происходит вследствие объемного расширения воды в связном 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, обусловливают 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. Основной элемент автомобильной дороги - земляное полотно, которое возводится на грунтовом слое, изменяющем в годовом периоде свои свойства от воздействия природных факторов, в первую очередь, температуры воздуха и влажности грунта. Из этого следует, что устойчивость дорожной конструкции в период эксплуатации зависит главным образом от состояния грунта основания (мерзлое или талое) его вида и влажности.

В настоящее время рекомендуется использовать грунты сезонноотаивающего 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 строя-

тельства дороги и осушение прилорожной полосы

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

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

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

П р о ц е с с п р о м е р з а н и я земляного полотна и основания в зоне вечной мерзлоты (см.рис.5.1,Б) подобен схеме процесса оттаивания в средней полосе страны (см.рис.5.1,В). В обоих случаях имеет место двустороннее направление потоков: холода – в зоне вечной мерзлоты, тепла – в средней полосе страны.

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

Таким образом, в зоне вечной мерзлоты в течение всего теплого времени года в земляном полотне или в основании находится мерзлый (вечномерзлый), практически несжимаемый слой грунта на незначительной глубине оттаивания (до 1,5 м).

Как установлено (Н.А.Цытович и др.), модули упругости (деформации) мерзлых глинистых грунтов имеют высокие значения, а талых – 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 положе-

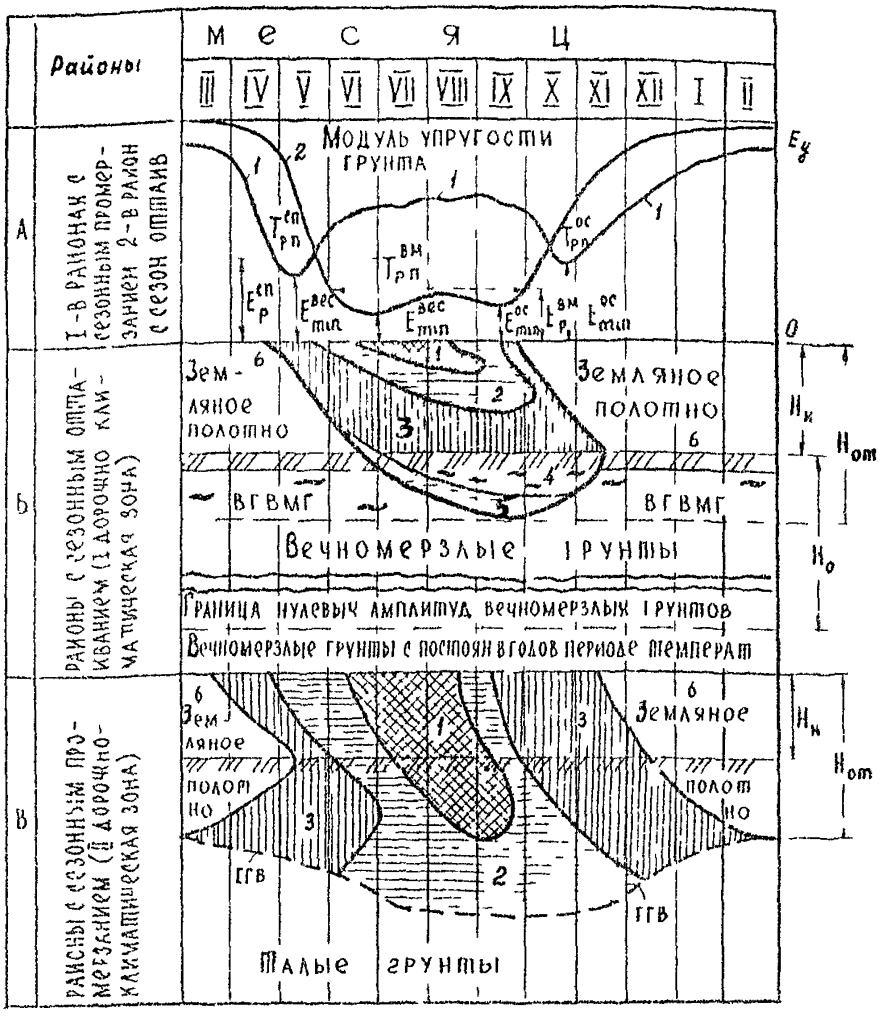

Рис.5.1. Схема годового цикла водно-теплового режима земляного полотна и основания в районах вечной мерзлоты и сезонного оттаивания грунтов:
А – изменение модуля упругости грунта земляного полотна в годовом периоде; Б и В – схемы протаивания, промерзания и увлажнения; 1 – сухой талый грунт; 2 – влажный талый грунт; 3 – талый грунт повышенной влажности; 4 – переувлажненный талый грунт; 5 – напорная вода; 6 – твердомерзлый грунт; 7 – прослойки и линзы льда; $H_н$ – высота насыпи; $H_{от}$ – мощность слоя оттаивания (промерзания); H_0 – глубина расположения границы нулевых амплитуд

ние имеет большое практическое значение для проектирования и строительства дорог в указанных районах, так как регулированием глубины расположения вечномерзлого слоя грунта можно 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 пресса 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: $E_у = 2 \times 10^2 - 25 \times 10^3$ кгс/см^2, а $E_д = 0{,}4 \times 10^3 - 5 \times 10^3$ кгс/см^2. При глубине оттаивания 4–5 см модуль упругости составлял уже 1800–2190 кгс/см^2, а деформации – 629–347 кгс/см^2.

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

При глубине оттаивания, равной 3–4 диаметрам штампа, модули упругости достигали минимальных значений, близких по абсолютной величине к модулям плотности талого грунтового 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, Био, Моргерр и др.) и в нашей стране (О.Я.Шехтер, К.Е.Егоров, М.И.Горбунов-Посадов и др.). Получены аналитические решения и разработаны приемы численного определения напряжений и деформаций.

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

тина в ХАДИ, В.А.Давидова в Омском филиале Союздорнии и др. установлено, что величина осадки в системе с несжимаемым основанием меньше, чем в однородном полупространстве. Была получена картина распределения сжимающих напряжений в слое грунта ограниченной толщины на несжимаемом основании. При этом установлено, что наличие жесткого несжимаемого слоя вызывает концентрацию напряжений по оси нагрузки. 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 - упругопластичный слой грунта плюс жесткое несжимаемое основание. Это явление можно учесть, используя решение К.Е.Егорова, основанное на формуле Мартерра:

$$\beta = \int_0^\infty J_0\left(\frac{r}{H}t\right) Y_1\left(\frac{R}{H}t\right) \frac{Sh^2 t}{Sht \cdot cht + t} \frac{dt}{t}. \quad (5.1)$$

где R - радиус штампа, см; r - расстояние от центра круглого штампа до точки, перемещения которой определяют, см; J_0 функция Бесселя нулевого порядка первого рода; Y_1 - функция Бесселя нулевого порядка второго рода; Sh, ch - соответственно гиперболические синус и косинус; t - произвольный параметр интегрирования; H - мощность талого слоя грунта, см.

Для точек, расположенных под центром нагруженной площадки, то есть при $r = 0$, $J_0 = 1{,}0$, коэффициент влияния жесткого несжимаемого слоя на величину модуля упругости является обратной величиной коэффициента β:

$$K = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\int_0^\infty J_0 Y_1\left(\frac{R}{H}t\right) \frac{Sh^2 t}{Sht \cdot cht + t} \frac{dt}{t}}. \quad (5.2)$$

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 непостоянные значения (см. рис. 5.1), указанную закономерность

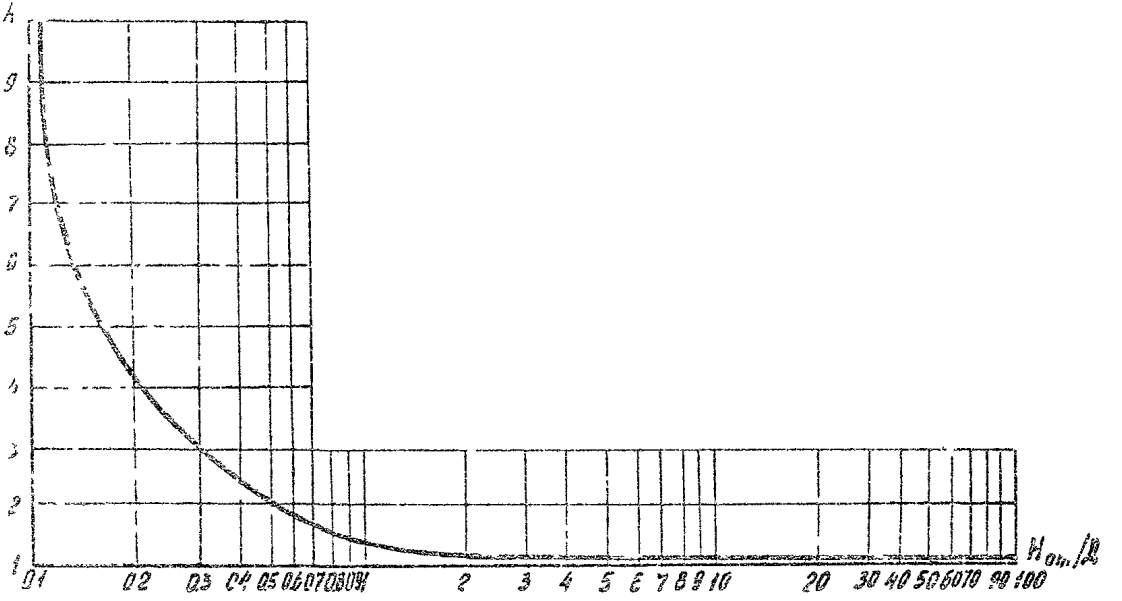

Рис.5.2. График для определения коэффициента влияния мерзлого слоя A на величину модуля упругости (деформации) в зависимости от относительной глубины залегания мерзлого слоя $H_{от}/Д$

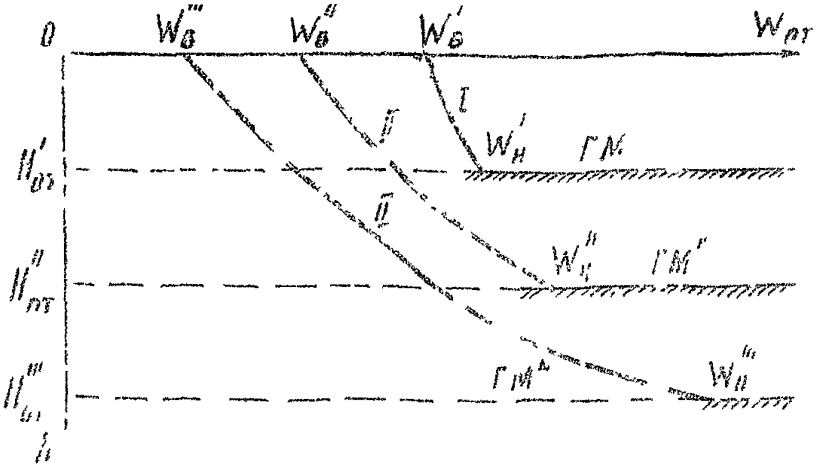

Рис.5.3. Изменение влажности грунтов по мере оттаивания слоя насыпи в течение весенне-летнего периода: I – влажность грунта в весенний период (начало оттаивания); II – влажность грунта в начале летнего периода; III – влажность грунта в конце летнего периода; ГМ – горизонт мерзлоты

для естественных условий зоны вечной мерзлоты отмечали проф.Н.А Пузаков и мерзлотоведы, однако практических рекомендаций по ее учету при оценке прочности грунтов не было сделано.

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

[illegible] летний период за счет испарения с поверхности в [illegible] просыхают верхние слои земляного полотна, а в [illegible] на границе с мерзлым грунтом наблюдается мак[illegible] [illegible]ность, нередко достигающая предела текучести [illegible] распределение влажности обусловливает неравнопрочное [illegible] по глубине, что следует учитывать [illegible] [illegible] дорожных конструкций.

По [illegible] данным натурных [illegible] [14,16] [illegible]

установлено (1966 г.), что при глубине оттаивания более величины $H_{от.}$ равной 3 диаметрам штампа, 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

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

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.I); E_y^o – модуль упругости однородного массива грунта при определенных значениях его влажности и плотности.

На рис.5.5 приведен пример зависимости общего модуля деформации грунта (супеси) 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.I,А) в районах сезонного промерзания происходит весной на незначительный срок $T_{рп}^{сп}$, исчисляемый 5–I5 днями в IУ и I5–30 днями во П и Ш дорожно-климатических зонах.

По исследованиям В.А.Данилова [14, 16] в зоне вечной мерзлоты прочность земляного полотна в течение весенне-летнего периода понижается до очень малых величин E^{acc}_{min}, E^{oc}_{min} (см. рис.5.I,А), а продолжительность расчетного периода $T^{вн}_{р}$ увеличивается до I,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).

Таблица 5.I

Значения параметров b и C и минимальных (критических) значений модуля деформации E_g при относительной глубине оттаивания грунта Н/Д

Грунт	Относительная деформация λ	E^{o}_{g}	b	C	Критические точки E^{min}_{g}	Н/Д
	Экспериментальные средние кривые					
Супеси	0,0I	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	I50	3,5
	Экспериментальные минимальные кривые					
	0,0I	300	-4,2	7,3	I20	3,5
	0,02	230	-3,7	6,2	I00	3,3
	0,03	I60	-3,0	4,5	80	3,0
	Экспериментальные средние кривые					
Суглинки	0,0I	340	-3,3	6,6	200	4,0
	0,02	270	-3,I	5,5	I50	3,5
	0,03	200	-3,0	4,5	I00	3,0
	Экспериментальные минимальные кривые					
Глины	0,0I	200	-4,2	6,3	60	3,0
	0,02	I50	-3,7	5,2	50	2,8
	0,03	I00	-3,0	3,75	40	2,6

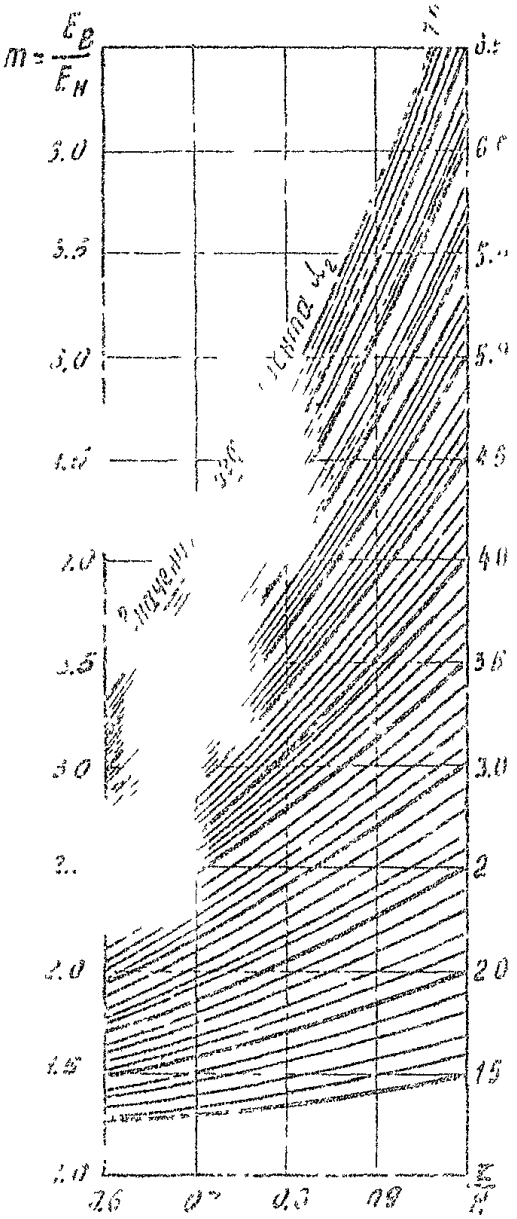

Рис. 5.4. Номограмма значений коэффициента [illegible] неравномерное увлажнение по [illegible] земляного полотна в зависимости [illegible] [illegible]ьной [illegible] расположения

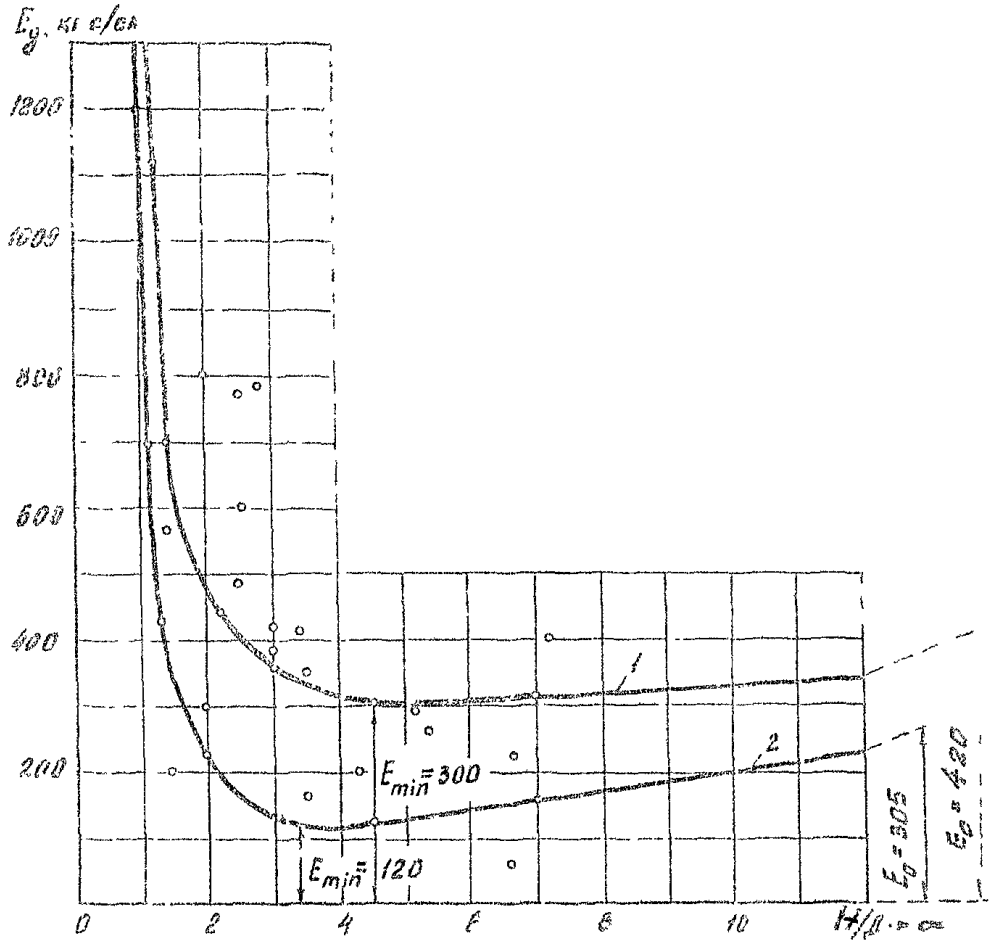

Рис.5.5. Изменение модуля деформации оттаивающего супесчаного грунта (при λ_o = 0,01) на одном из опытных участков: 1 – для средних значений модуля деформации; 2 – для минимальных значений

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОЧНОСТЬ

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

$$E_{дн}^{общ} \geq E_{тр}^{р}, \qquad (6.1)$$

$$\sigma_р \leq R, \qquad (6.2)$$

$$\tau_а \leq [\tau_а], \qquad (6.3)$$

где $E_{дк}^{общ}$ - общий модуль упругости дорожной конструкции, МПа $E_{тр}^{р}$ - требуемый модуль упругости дорожной конструкции, определяемый по формуле (6.4) в зависимости от расчетной нагрузки, состава и интенсивности перспективного движения и длительности расчетного периода. МПа; $\sigma_р$ - 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 $\tau_а$ -наибольшее активное напряжение сдвига в грунте или слабосвязном материале конструктивного слоя одежды, которое слагается из активных напряжений сдвига от временной нагрузки $\tau_а$ и веса вышележащих слоев $\tau_а$, МПа; $[\tau_а]$ - допустимое активное напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в слое дорожной одежды, МПа

Величины $E_{дн}^{общ}, \sigma_р, R, \tau_а, [\tau]$ определяют по рекомендациям и указаниям ВСН 16-83.

Требуемый модуль упругости дорожной конструкции определяют по формуле

$$E_{тр}^{р} = E_{тр} K = \frac{P}{\lambda_у} K, \qquad (6.4)$$

где $E_{тр}$ - 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, $\lambda_у$ - допустимый упругий прогиб дорожной конструкции, устанавливаемый в зависимости

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

Автором установлены следующие средние значения коэффициента К для всех дорожно-климатических районов зоны вечной мерзлоты: для района I_1 – К=1,3, I_2 – К=1,2; I_3 – К=1,1. Разработана также номограмма (рис.6.1), позволяющая дифференцированно определить коэффициент К для различных конкретных пунктов зоны вечной мерзлоты.

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

На подъездных и внутренних дорогах промышленных предприятий нормативную нагрузку для дорог III п и IУ-п категорий принимают на основе технико-экономических расчетов из условия пропуска принятых расчетных типов автомобилей и автопоездов.

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

$$E_y^0(g) = A_y'(g)\, E_y^0(g), \qquad (6.5)$$

где $E_y(g)$ – общий модуль упругости (деформации) оттаявшего грунтового массива, МПа; $E_y(g)$ – расчетное значение модуля упругости (деформации) грунта, определяемое по табл.6.I и 6.2 или при известной расчетной влажности по графикам (рис. 6.2, 6.3), МПа; $A_y'(g)$ – комплексный коэффициент, учитывающий влияние мерзлого слоя в зависимости от глубины оттаивания ($H_{от}$ или $H_{от}/Д$) и неоднородное увлажнение земляного полотна и сезонноотаивающего слоя по глубине; определяют по табл.6.3.

Таблица 6.1

Значения $E_у$ и $E_д$

Грунт основания	Расчетные значения, кгс/см^2	
	$E_у$	$E_д$
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 В.А.Давыдову, а модулей – по Н.А.Пузакову.

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

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

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

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

$$E_o^{\lambda\sigma} = E_o^T / W_{отн}^n , \qquad (6.6)$$

где $E_o^{\lambda\sigma}$ – модуль деформации грунта при определенных значениях относительной деформации (λ = 0,01; 0,02; 0,03 и т.д.) и относительной влажности $W_{отн}$, МПа ; E_o^T – 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_o^T и коэффициентов n устанавливают экспериментально. Выполненная статистическая обработка многочисленных экспериментальных данных позволила установить значения E_o^T и n для характерных грунтов зоны вечной мерзлоты (табл.6.4).

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

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

$$E_y = E_y^T / W_{отн}^m , \qquad (6.7)$$

где E_y – значение модуля упругости грунта, соответствующее определенной влажности $W_{отн}$, МПа, E_y^T – значение модуля упругости грунта, соответствующее влажности предела текучести

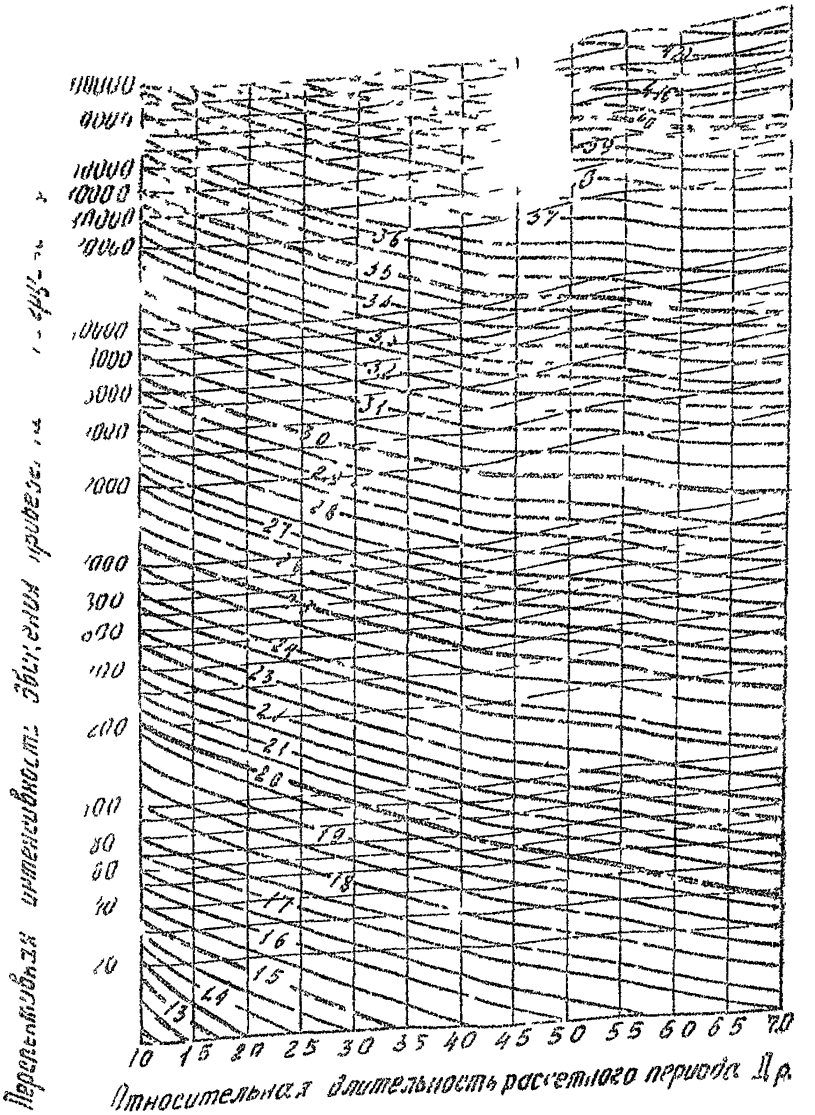

Рис.6.1. Номограмма значений коэффициента К, учитывающего относительную длительность расчетного периода $Д_{р.п}$, повторность и динамичность воздействия транспортных средств расчетной интенсивности движения $N_р$

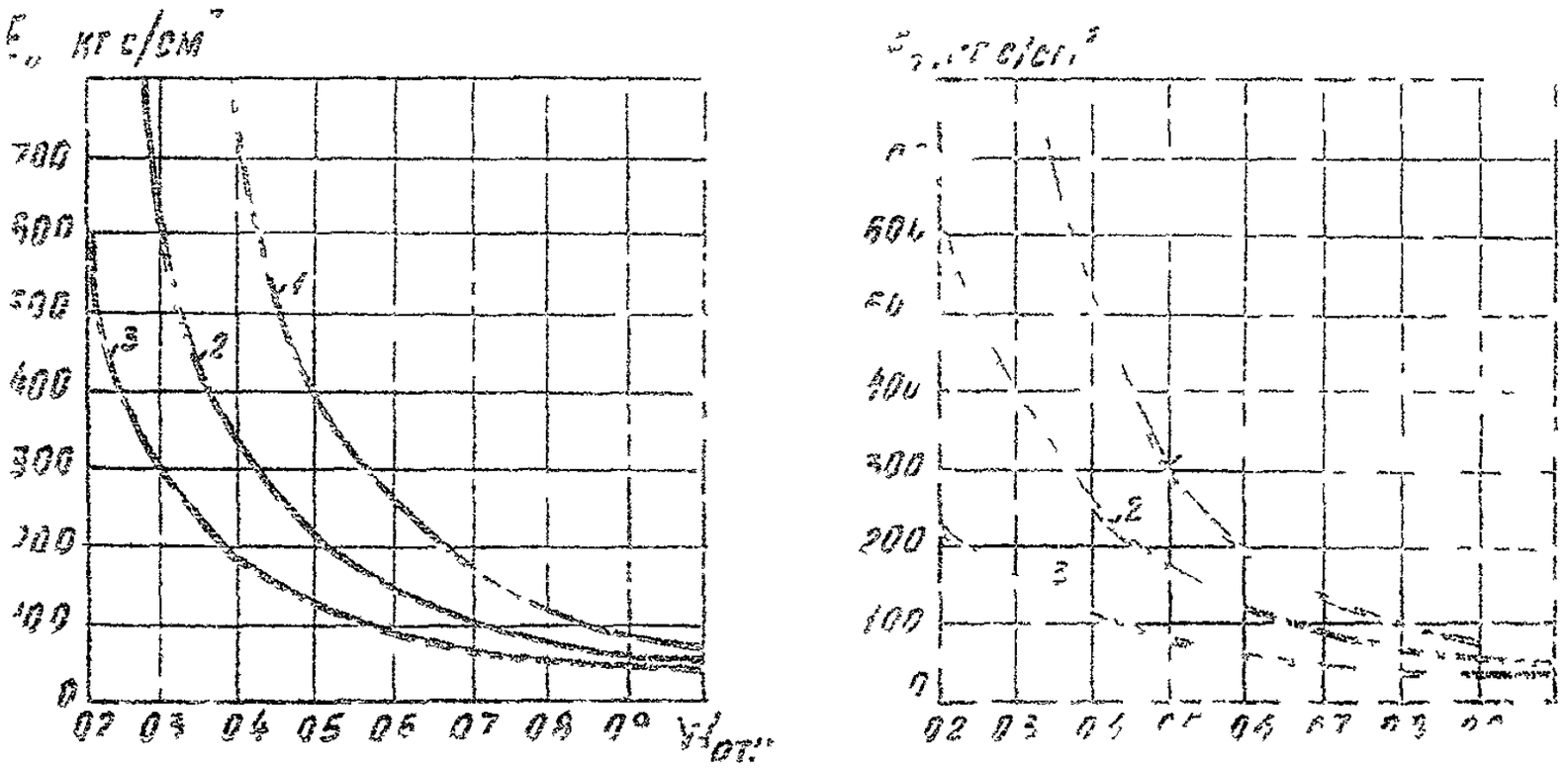

Рис.6.2 Зависимость модуля деформации грунтов земляно полотна от влажности: а - супеси; б - суглинки ГЛГ I, 2, 3 соответственно при λ_c = 0.01; 0.02; 0.03

Таблица 6.2

		Подзона вечной мерзлоты											
		I_3 – южная				I_2 – центральная				северная			
		$W_{отн}$	E_y	C	φ	$W_{отн}$	E_y	C	φ	$W_{отн}$	E_y	C	φ
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4
	Супеси легкие, оптимальные смеси	0,46	570	0,18	37	0,50	500	0,45	36	0,56	400	0,44	36
	Пески пылеватые, супеси тяжелые	0,56	420	0,42	36	0,59	390	0,39	33	0,63	350	0,36	32
	Суглинки легкие и тяжелые	0,68	280	0,60	46	0,71	250	0,54	44	0,75	220	0,5	42
	Супеси пылеватые и тяжелые пылеватые, суглинки легкие пылеватые и тяжелые пылеватые	0,82	180	0,18	I5	0,83	I70	0,I6	I4	0,84	160	0,I3	II
	Супеси легкие, оптимальные смеси	0,53	160	0,44	36	0,56	420	0,43	34	0,65	340	0,4	33
	Пески пылеватые, супеси тяжелые	0,73	290	0,3	34	0,74	285	0,27	25	0,75	280	0,25	22
	Суглинки легкие и тяжелые, глины	0,71	I90	0,35	38	0,82	I80	0,39	38	0,86	160	0,38	37
	Супеси пылеватые и тяжелые пылеватые, суглинки легкие пылеватые и тяжелые пылеватые	0,89	I40	0,I6	I4	0,92	I30	0,I4	I2	0,94	I20	0,I2	I0

Окончание табл. 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	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
3-й	Суглинки легкие и тяжелые, глины	0,82	180	0,28	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	0,91	110	0,12	10	0,95	100	0,09	8

Примечания:
1. Значения модулей, влажности и показателей 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^2, значения угла внутреннего трения – в градусах.

Таблица 6.3

Значения коэффициентов A'_y, A_y

Относительная глубина оттаивания $h_{от}/d$	Относительный радиус штампа r/r	Супеси		Суглинки и глины	
		A'_y	A_y	A'_y	A_y
0,125	4	354,1	362,2	292,2	304,2
0,25	2	81,3	85,4	67,0	69,4
0,5	1	17,7	18,4	14,0	14,4
1,0	0,5	3,4	3,5	2,45	2,5
1,5	0,33	1,28	1,31	0,84	0,86
2,1	0,24	0,64	0,65	0,41	0,42
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	n	E'_0	n	E'_n	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; $w_{от}$ – относительная влажность грунта; m коэффициент, зависящий от вида грунта.

мы по (6.6) и (6.7) справедливы в пределах значений от-

носительной влажности грунта от 0 до 1 (см. рис. 6.2, 6.3). Значения модулей упругости на пределе текучести грунта E_0^T и коэффициента m устанавливают экспериментально. По основании статистической обработки многочисленных экспериментальных данных значения E_0 и m для характерных грунтов зоны вечной мерзлоты приведены в табл. 6.5.

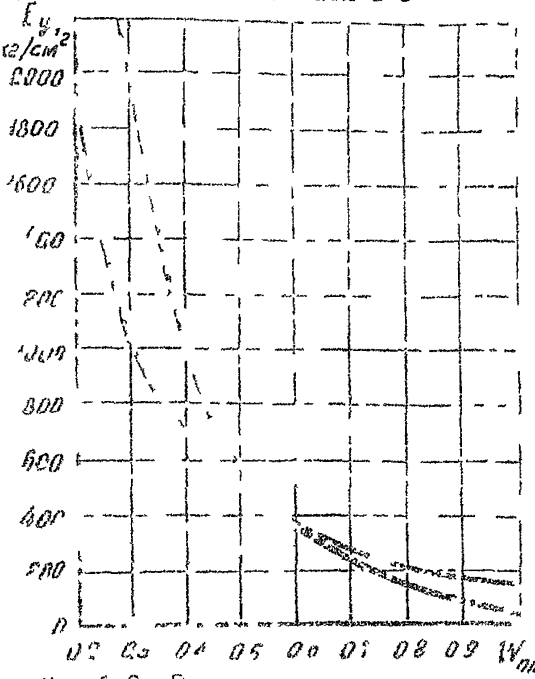

Рис. 6.3. Зависимость модуля упругости грунта от его влажности: 1 – суглинки и глины; 2 – супеси

Таблица 6.5

Значения модуля упругости грунтов

Грунт	E_y кгс/м²	m
Пески	80	1,59

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

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 пучения, термокарстовые впадины, участки с солифлюкционными явлениями, наледями, меандрирующие озера, скопление массивов подземного льда, мари).

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

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 грузоподъемности составляют до 60 %.

При ширине проезжей части 6-7 м проектная скорость движения (соответственно 40-60 км/ч) автомобилей по обеспеченности снега, как показали наблюдения, снижается до 5-10 км/ч, что влечет за собой дополнительные эксплуатационно-транспортные

задержки и нередко создает аварийную ситуацию, особенно при встречах с большегабаритными автомобилями.

Ширину полосы движения $B_д$ для дороги с двусторонним движением определяют по формуле

$$B_д = \frac{K_а + C_к}{2} + 1 + 0{,}01 V_а$$

где $K_а$ – ширина кузова автомобиля, м; $C_к$ – ширина колеи автомобиля, м; $V_а$ – расчетная скорость движения автомобиля, км/ч.

Полученную по расчету ширину проезжей части следует округлить до 0,5 м. Ширина обочин назначается не менее 2,5–3 м с тем, чтобы обеспечить движение гусеничного транспорта по ним и отстойку автомобилей, так как устраивать объезды в рассматриваемой зоне практически невозможно, а нередко недопустимо (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

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

Тогда ширина земляного полотна при обочинах 2,5 м

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

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 зависят от качества грунтов, используемых для его возведения.

Исследования показали, что на марях и участках с высокой влажностью и льдонасыщенностью (мокрые места) земляное полотно предпочтительно отсыпать из несцементированных оломочных и песчаных грунтов (кроме пылеватых), а также водоустойчивых материалов и отходов промышленности (отходы 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 шинах, 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 $K_{в.н}$ 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.Плоцкого):

супесь легкая – $W_{опт} = 0{,}70\, W_{тек}$

суглинок легкий пылеватый – $W_{опт} = 0{,}60\, W_{тек}$

суглинок тяжелый, глина пылеватая – $W_{опт} = 0{,}55\, W_{тек}$.

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.

Таблица 8.I

Требования к глинистым грунтам земляного полотна

Часть насыпи	Глубина расположения слоя от низа дорожной одежды, м	Покрытия капитальные			Покрытия усовершенствованные облегченные			Покрытия переходного и низшего типов		
		Тип местности по характеру поверхностного стока, степени увлажнения и мерзлотно-грунтовым условиям (см. табл. 3.2)								
		I-й	2-й	3-й	I-и	2-й	3-й	I-и	2-й	3-й
I	2	3	4	5	6	7о	8	9	IO	II
Верхняя	До I,5	Супеси легкие, суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых не более I5%		Супеси легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых не более 5%	Супеси легкие и суглинки легкие, суглинки и глины 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 I5%	Супеси легкие и суглинки, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 55% и глинистых не более 25%		Супеси легкие и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 40% и глинистых не более 20%

Продолжение табл. 8.I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO	II
Нижняя неподтапливаемая	I,5-2	Супеси легкие, суглинки легкие суглинки тяжелые и глины с содержанием пылеватых частиц не более 50% и глинистых не более 20%		Супеси легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых не более 5%	Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 55% и глинистых не более 25%		Супеси и суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых не более I5%	Супеси и суглинки легкие, суг-суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 60% и глинистых не более 30%		Супеси легкие и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 40% и глинистых не более 20%
Верхняя подтапливаемая	I,5-6		Супеси легкие и суглинки легкие с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глинистых не более I5%			Супеси легкие и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не	Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 35% и глини-		Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 55% и глини-	Супеси и суглинки легкие, суглинки и глины с содержанием пылеватых частиц не более 40% и глини-

Окончание табл. 8.I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
						более 50% и глинистых не более 20%	стых не более I5%		стых не более 25%	стых не более 20%

Примечания: I. Коэффициент морозного пучения 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^3 порового раствора, а в нижнюю часть - 0,5 г/см^3.

Таблица 8.2

Допустимые значения коэффициента влагонакопления

Грунт	$K_{в.н}$, г/см³.ч
Супесь пылеватая	0,04
Суглинок легкий пылеватый	0,03
Суглинок тяжелый пылеватый	0,0I

Таблица 8.3

Значения допустимой влажности глинистых грунтов $W_д$ (в долях от оптимальной)

Грунт	При коэффициенте уплотнения		
	1,00–0,98	0,95	0,90
Супеси легкие	0,9–I,2	0,85–I,3	0,8–I,4
Суглинки легкие пылеватые и супеси пылеватые	0,9–I,I5	0,85–I,25	0,8–I,35
Глины, суглинки тяжелые и суглинки тяжелые пылеватые	0,9–1,I	0,82–1,2	0,8–I,30
Глины пылеватые	0,9–I,05	0,9–I,I5	0,8–I,2

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

Таблица 8.4

Значения оптимальной влажности

Грунт	Оптимальная влажность $W_{опт}$, %	Максимальная плотность при стандартном уплотнении $\rho_{ск}$, г/см³
Супесь легкая	15	I,85
Супесь пылеватая, суглинок легкий пылеватый	I6	I,75
Суглинок тяжелый пылеватый	20	1,70
Суглинок тяжелый, глина	24	I,60

Примечание. В таблице приведены данные А.С.Плоцкого

Таблица 8.5

Наименьшие значения коэффициента уплотнения грунта k_y

Часть насыпи	Глубина расположения от низа дорожной одежды, м	Район I дорожно-климатической зоны								
		I_1			I_2			I_3		
		Тип дорожного покрытия								
		капитальное	облегченное	переходное и низшее	капитальное	облегченное	переходное и низшее	капитальное	облегченное	переходное 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	0,96	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
Нижняя неподтапливаемая	1,5–6	0,93–0,90	0,90	0,90	0,94–0,92	0,91	0,91	0,95–0,93	0,92	0,92
Нижняя подтапливаемая	1,5–6	0,96–0,93	0,93	0,92	0,97–0,94	0,94	0,93	0,98–0,95	0,95	

Примечания: 1. Большие значения k_y принимают для цементобетонных покрытий.

2. Таблица разработана В.А.Лавыловым.

При большем содержании пылеватых и глинистых частиц, чем указано в табл.8.I, грунты применяют для отсыпки лишь нижней части насыпи, а верхняя должна быть отсыпана из непылеватых грунтов на толщину не менее 0,8–I,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.I. 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.I, 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–I00 мм) толщиной 0,3–0,5 м (рис.8.2, тип II).

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

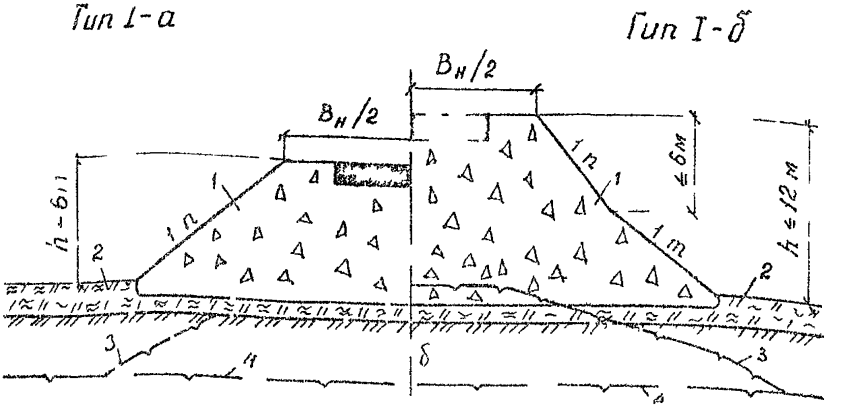

Рис.8.I. Поперечные профили насыпи на льдонасыщенном основании: I – несцементированный обломочный грунт; 2 – мохорастительный покров; 3 – верхняя граница вечной мерзлоты (ВГВМ) до постройки насыпи; 4 – ВГВМ после постройки насыпи

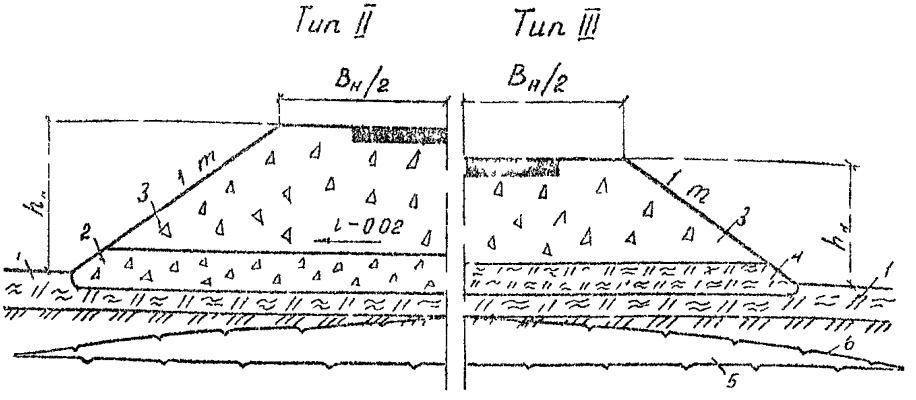

Рис.8.2. Поперечные профили насыпи на льдонасыщенных грунтах: I – мохорастительный покров; 2 – защитный слой из дренирующего грунта мелких фракций; 3 – несцементированный обломочный грунт; 4 – термоизоляция из мха (назначаются на основе теплотехнического расчета); 5 – ВГВМ до постройки насыпи; 6 – ВГВМ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

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

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

На косогорных участках (не круче I:5) земляное полотно проектируют в насыпи, иногда (на участках не положе I:I0) предусматривают полунасыпи-полувыемки. 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 УI).

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.I–8.4. Допускается возводить земляное полотно из местных глинистых грунтов с закладкой сосредоточенных или притрассовых резервов (рис.8.5, типы УП, УШ). При этом запрещается убирать или разрушать мохорастительный покров в основании насыпи.

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

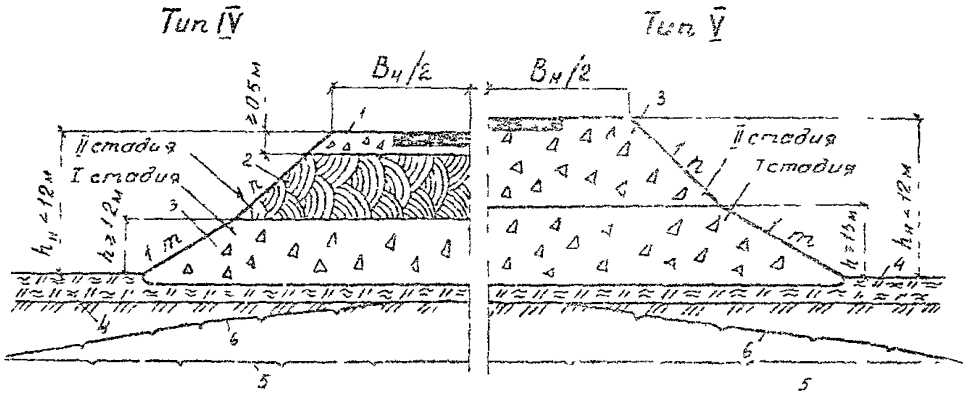

Рис.8.3. Поперечные профили насыпей на льдонасыщенном основании, сооружаемые в две стадии (зимнюю и летнюю): I – щебень или гравий по расчету на прочность (но не менее 0,5 м); 2 – глинистый грунт; 3 – несцементированный осыпочный грунт; 4 – мохорастительный покров; 5 – ВГВ до постройки насыпи; 6 – ВГВ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

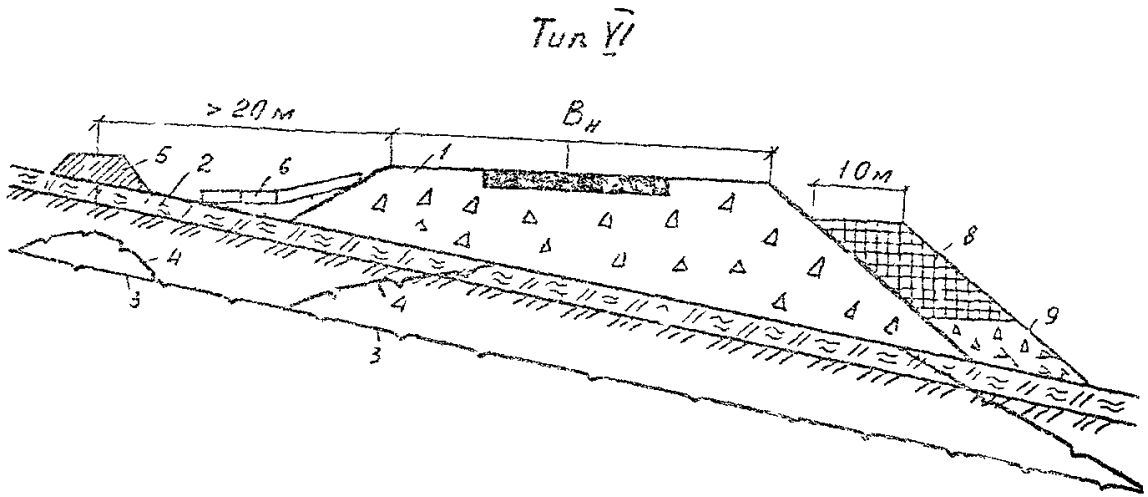

Рис.8.4. Поперечный профиль насыпи на льдонасыщенном косогоре крутизной менее I:5 : I – несцементированный обломочный грунт; 2 – мохорастительный покров; 3 – ВГЗМ до постройки насыпи; 4 – ВГЗМ после постройки насыпи; 5 – нагорный мерзлый валик; 6 – укрепление бетонными плитами на слое мохоторфа; 7 – теплоизоляция из мха или торфа толщиной не менее 0,5 м; 8 – глинистый грунт толщиной I5–20 см; 9 – дренирующая присыпка

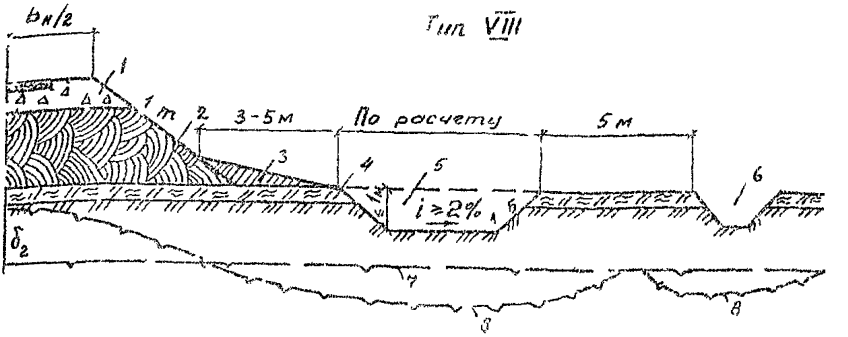

Рис.8.5. Поперечный профиль насыпи из местных глинистых грунтов: 1 – щебень или гравий по расчету на прочность (но не менее 0,5 м); 2 – глинистый грунт из притрассовых резервов; 3 – земляная берма; 4 – мохорастительный покров; 5 – резерв; 6 – водоотводная канава; 7 – ВГВМ до постройки насыпи; 8 – ВГВМ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

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

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

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

На затапливаемых участках и на подходах к мостам и другим искусственным сооружениям земляное полотно возводят из 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 набега волны на широких пол-

Тип IX

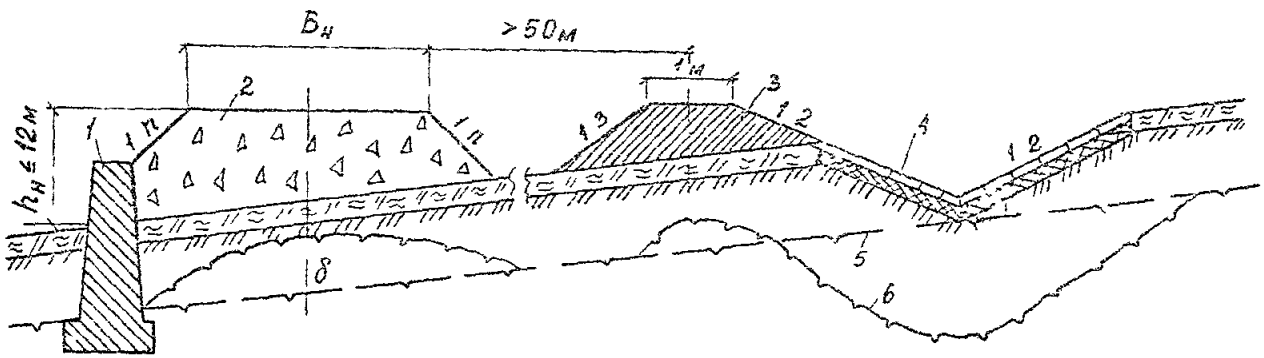

Рис.8.6. Поперечный профиль насыпи на косогоре (круче I:5):
I – подпорная стенка; 2 – несцементированный обломочный грунт; 3 – мохорастительный покров; 4 – мерзлотный валик; 5 – укрепление бетонными плитами на слое из мохоторфа; 6 – нагорная водоотводная канава; 7 – ВГБМ до постройки насыпи; 6 – ВГБМ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

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

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

8.2.3 Конструкции земляного полотна в выемках

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

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

Мелкие выемки раскрывают или разделывают под насыпь для повышения их устойчивости и улучшения их снегозаносимости (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 закюветные полки шириной 1,5–2 м и уположение откосов выемки. Крутизну откосов выемок, устраиваемых в неблагоприятных гидрогеологических и мерзлотно-грунтовых условиях, следует назначать по индивидуальным проектам.

8.2.4. Конструкции земляного полотна по третьему принципу проектирования

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

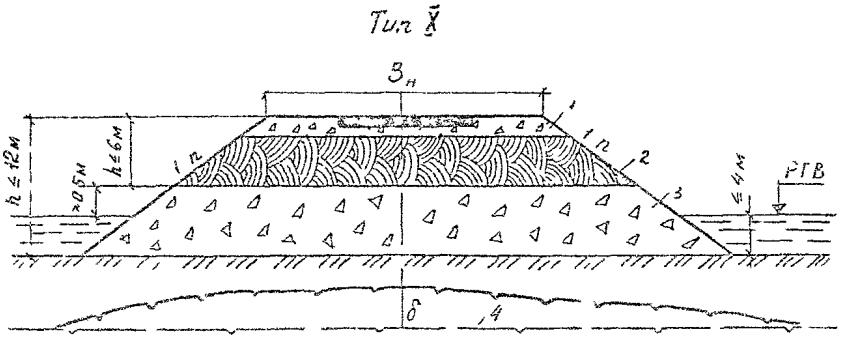

Рис.8.7. Поперечный профиль на заторляемом участке (насыпь высотой до 12 м, глубина воды на пойме до 4 м): I – щебень или гравий по расчету на прочность; 2 – глинистый грунт; 3 – несортированный обломочный грунт; РГВ – расчетный горизонт воды (конструкция применима при глубине воды до 2 м); 4 – ВГВ1 го постройки насыпи; 5 – ВГВ1 после постройки насыпи

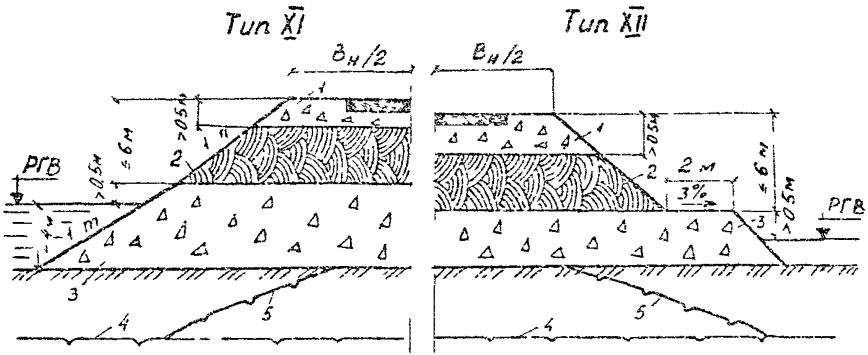

Рис.8.8. Поперечные профили насыпи на затапливаемой пойме (насыпь высотой до 12 м, глубина воды на пойме до 4 м); обозначения те же, что и на рис.8.7

Тип XIII

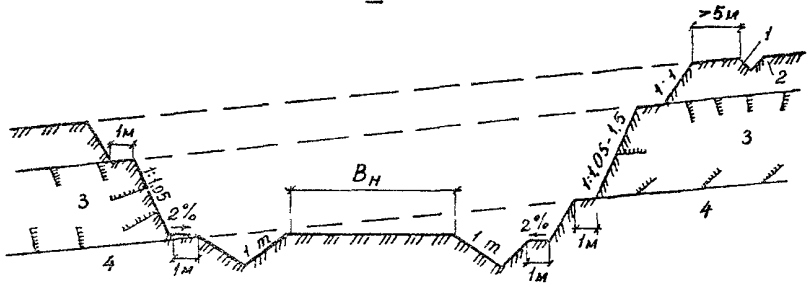

Рис.8.9. Поперечный профиль выемки в скальных грунтах:
I – нагонная водоотводная канава; 2 – растительный слой;
3 – легковыветривающаяся скальная порода; 4 – выветривающаяся скальная порода

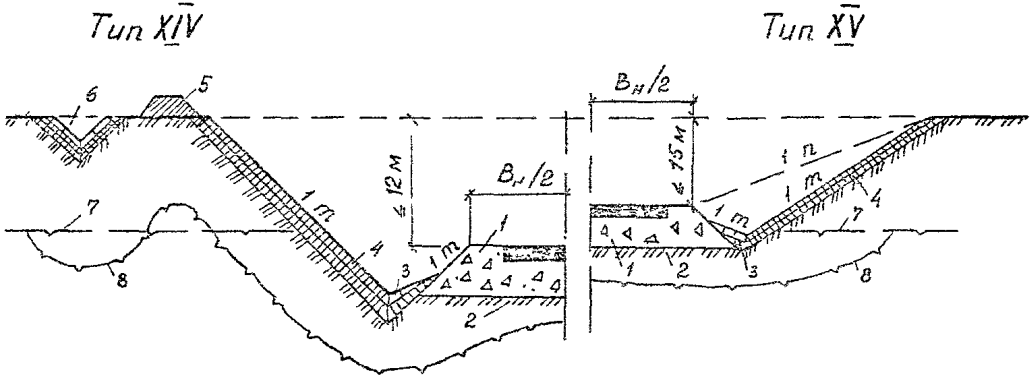

Рис.8.10. Поперечные профили в слабольдонасыщенных грунтах: I – щебень или гравий; 2 – глинистый грунт основания; 3 – укрепление бетонными плитами на слое мохоторфа; 4 – термоизоляция из мха по расчету; 5 – ВГВМ до устройства выемки; 6 – ВГВМ после устройства выемки; 7 – водоотводная канава; I: m и I: n – по расчету на снегозаносимость; 8 – мерзлотный валик

оттаивание вечномерзлых грунтов, осушение дорожной полосы и упрочнение грунтов основания за счет их предпостроечной 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 канавы.

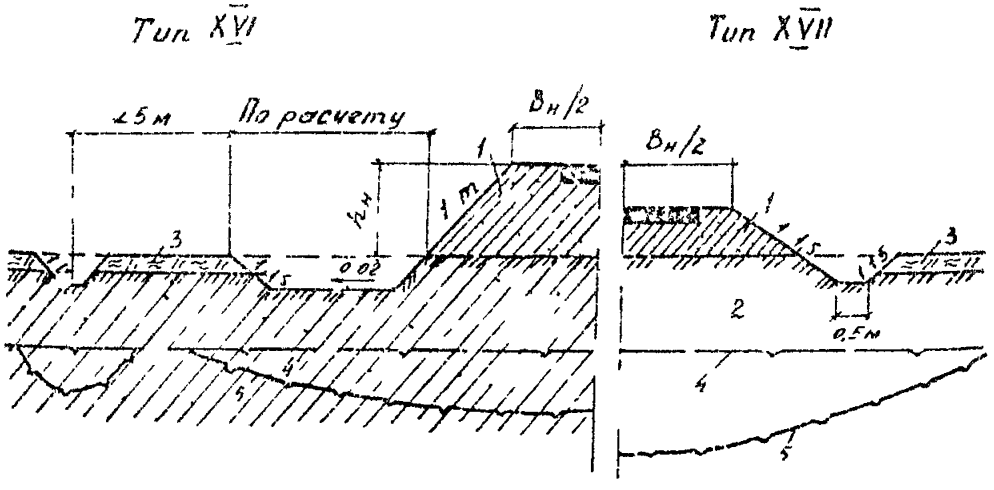

Рис.8.II. Поперечные профили земляного полотна на легкоосушаемых грунтах: I – водоотводная канава; 2 – мохорастительный покров; 3 – резерв; 4 – глинистый легкоосушаемый грунт с примесью крупного песка, щебня или гравия; 5 – супесчаный грунт; 6 – ВГВМ до постройки насыпи; 7 – ВГВМ после постройки насыпи

9. ОСОБЕННОСТИ ИЗЫСКАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Стадийность проектно-изыскательских работ (табл.9.I) устанавливают на основе технико-экономического обоснования строительства дороги (титула), для составления которого проводят экономические и рекогносцировочные изыскания.

Таблица 9.I

Стадийность проектно-изыскательских 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	Рекогносцировочные изыскания	Подготовительный, полевой, камеральный	Комплексная экспедиция с применением аэрометодов. Дорожные и экономические отделы (группы) проектных организаций	Утверждающая инстанция
I стадия проектирования-технический проект строительства дорог	Подробные изыскания	Подготовительный, полевой, камеральный	Комплексная экспедиция с применением аэрометодов	Комиссия под председательством автора проекта
Техническое задание на проектирование опытных участков с наблюдательными постами	То же	Организация наблюдательных постов	Заказчик и дорожная научно-исследовательская организация	Проектная организация
II стадия проектирования-рабочие чертежи строительства дороги	Предпостроечные изыскания	Полевой, камеральный	Комплексная экспедиция	Заказчик и комиссия под председательством автора проекта

Окончание табл. 9.I

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 предпостроечные изыскания для составления рабочих чертежей (РЧ).

При реконструкции дорог возможно одностадийное проектирование на основе подробных изысканий – техноробочий 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 снегозаносимых участков – в зимнее время.

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

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

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

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

В подготовительный период предусматривают 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 положения трассы, уточненный на особо сложных и недостаточно проработанных ранее участках.

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

При предпостроечных изысканиях, перед составлением рабочей, 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 жилые здания службы эксплуатации и т.п.).

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

Организацию опытных участков, оборудование наблюдательных постов и проведение на них стационарных наблюдений и испытаний целесообразно начинать в период производства изыскательских работ и заканчивать при строительстве дороги (см.табл.9.I).

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

В программу наблюдений входит круглогодичное систематическое изучение: а) теплового режима грунтов земляного полотна и естественного основания (температуры, глубины, скорости промерзания и оттаивания); б) водного режима грунтов земляного полотна и естественного основания (влажности, источников увлажнения); в) 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 условий (температуры воздуха, осадков, ветра, времени установления и схода снегового покрова).

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

9.I. 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 шурфах и буровых скважинах, а электрические термометры сопротивления - в скважинах.

Температуру фиксируют на глубинах 0,2; 0,4; 0,8; I,2; I,6; 2; 2,5; 3 м; от 3 до I0 м – через каждый метр, а глубже I0 м – через 5 м. На глубинах до 3 м измеряют температуру четыре раза в сутки, до I0 м – один раз в сутки, глубже I0 м – один раз в месяц.

Схема заложения термометров и влагомеров на наблюдательном посту представлена в табл. 9.I.

Результаты измерений температуры заносят в журнал наблюдений.

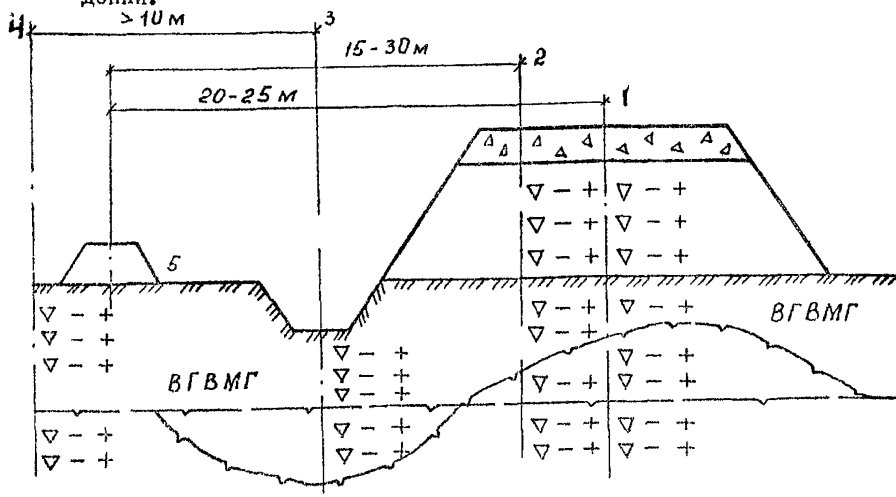

Рис. 9.I. Схема заложения датчиков на наблюдательном посту : I – измерительная вертикаль по оси дороги; 2 – то же на обочине; 3 – то же посередине кювета; 4 – то же на границе полосы отвода; (+) – термометры; (–) – влагомеры; 5 – пост наблюдения И М. Рп.

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

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

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

толщиной 3–4 мм размерами 30х30 или 40х40 см и диаметром стержня 10–15 мм, приваренного по центру листа. Высота стержня должна быть на 10 см меньше высоты насыпи в точке установления.

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

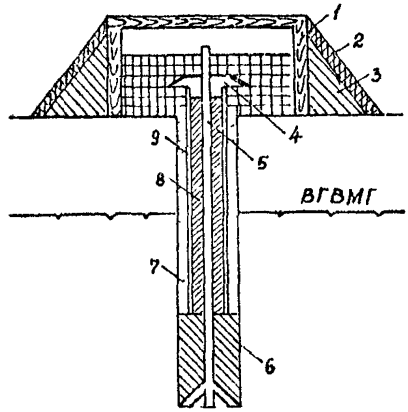

Рис.9.2. Конструкция мерзлотного репера: 1 – деревянный короб; 2 – торф или мох; 3 – грунт; 4 – заглушка; 5 – стержень репера в вечномерзлом грунте; 6 – глинистый раствор; 7 – засыпка песком; 8 – заполнение солидолом; 9 – труба

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

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

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

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

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

$$E_y = \frac{\pi}{4} \frac{PD(1-\mu^2)}{\ell_y},$$

где Р – удельная нагрузка, МПа, под действием которой установлена величина отразимой упругой деформации ℓ_y, см; D – диаметр жесткого штампа, см; μ – коэффициент Пуассона, равный 0,2–0,3; $\pi/4$ – поправочный коэффициент, учитывающий использование жесткого штампа.

Литература

1. Материалы XXVII 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)/ П.Ф.Швецов, А.А.Меисте, Н.И.Салтыков и др.; Отв.ред. чл.-корр.АН СССР П.Ф.Швецов, д-р геолог.-мин.наук Б.И.Достовалов. Ч.I, ч.II.–М.: Изд-во АН СССР, 1959.– 459 с.

6. Основы геокриологии (мерзлотоведения)/ Н.И.Салтыков, А.И.Дементьев, Н.А.Цытович и др.; Отв.ред. д-р техн. наук, проф. Н.И.Салтыков.– М.: Изд-во АН СССР, 1959.– 365 с.

7. Временные технические условия на изыскания, проектирование и сооружение железных дорог в условиях вечной мерзлоты/ Под ред. А.В.Ливеровского, К.Д.Морозова.– М.: Трансжелдоризлат, 1939.– 124 с.

8. Морозов К.Д. Проектирование и сооружение мостов в условиях вечной мерзлоты.– М.: Трансжелдоризлат, 1936.– 136 с.

9. Богданов Н.С. Вечная мерзлота и сооружения на ней/ Издание комиссии всестороннего исследования ж.-д. дела в России.– С.– Петербург, 1912.

10. ВСН 61-61 Технические указания по изысканиям, проектированию и постройке железных дорог в районах вечной мерзлоты.– М.:Оргтрансстрой, 1962.– 146 с.

II. ВСН 84-82. Технические указания по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог и аэродромов в районах вечной мерзлоты.

I2. Пузаков Н.А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог.- М.: Автотрансиздат, I960.- I65 с.

I3. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд/Под ред.Золотаря И.А., Н.А.Пузакова, В.М.Сиденко и др.- М.: Транспорт, I97I.- 4I5 с.

I4. Земляное полотно автомобильных дорог в северных условиях/Под ред.А.А.Малышева.- М.: Транспорт, I974.- 288 с.

I5. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах /Под ред.Ю.Я.Аелли, В.И.Докучаева, П.Ф.Федорова.- Л.: Стройиздат, I977.- 552 с.

I6. Давыдов В.А.Особенности изысканий и проектирования автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты: Учеб.пособие СибАДИ.-Омск, I979.- 79 с.

I7. Давыдов В.А.Особенности проектирования автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты (методы расчетов прочности и устойчивости дорожных конструкций): Учеб.пособие./СибАДИ.- Омск, I980.- 6I с.

I8. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях/Под ред.В.А.Кудрявцева.- М.: Изд-во Моск. ун-та, I974.- 43I с.

I9. Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение.- М.: Изд-во Моск. ун-та, I967.- 4I3 с.

20. Общее мерзлотоведение (геокриология)/Под ред. проф. В.А.Кудрявцева.- М.: Изд-во Моск, ун-та, I978.- 464 с.

2I. Павлов А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР.- Якутск: Якутское кн. изд-во, I975.- 304 с.

22. Автомобильные дороги Севера/Под ред. И.А.Золотаря.- М.: Транспорт, I98I.- 248 с.

23. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. - М.: Транспорт, I985.- I57 с.

24. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги/Госстрой СССР.- М.: ЦИТП, I986.- 56 с.

25. ВСН 84-75. Инструкция по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты.- М.: Минтрансстрой, I976.- 2I8 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
ВВЕДЕНИЕ 4
I. Из истории развития науки
инженерной геокриологии (мерзлотоведения). 6
I.I. Дореволюционный период 6
I.2. Послереволюционный период 9
I.3. Инженерное мерзлотоведение
в транспортном строительстве II
2. Вечномерзлые грунты I5
2.I. Распространение вечномерзлых грунтов I5
2.2. Основные понятия, термины I7
3. Дорожно-климатическое районирование
зоны вечной мерзлоты 2I
4. Принципы проектирования автомобильных дорог
в районах вечной мерзлоты 27
5. Особенности водно-теплового режима
земляного полотна и расчета на прочность
дорожных конструкций нежесткого типа 29
6. Особенности расчета дорожных конструкций
на прочность . . . . . 3?
7. Особенности назначения высоты насыпи
и ширины земляного полотна на ЦМП 48
8. Конструкции земляного полотна
и требования к грунтам . . . . . 4?
8.I. Требования к грунтам земляного полотна . . . . . 4?
8.2. Конструкции земляного полотна 53
8.2.I. 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 выемках 63
8.2.4. Конструкции земляного полотна
по третьему принципу проектирования . . . 63
9. Особенности изысканий автомобильных дорог 76
9.I. Температурный (мерзлотный) режим грунтов . . . .

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 Валентин Александрович,
Бондарева Эльвира Дмитриевна

ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Учебное пособие

Темплан 1989 г., поз. 1523

Редактор Т.И.Калинина

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

Редакционно-издательский
отдел СибАДИ
644099, Омск, Ленина,3

Полиграфическая типография ОмПИ
644050, Омск, пр. Мира,11

gost.e-ecolog.ru