ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II»
(МГУПС (МИИТ)

Институт/факультет «Пути строительства и сооружений»

Кафедра «Проектирования и строительства железных дорог»

Допустить к защите:

Зав. кафедрой

«6» 06 2017 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Специальность 23.05.06. Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство.

на тему: Организация строительства новой железнодорожной линии в сложных инженерных условиях на примере участка северно-широтного хода Салехард-Надым перегонов „Карась-Ивлевский-Тальниковый".

Обучающийся (Артюшенко И.А.)

Руководитель дипломного проекта ПРОФ (Луцкий С.Я.)

Консультант по техническим вопросам ПРОФ (Луцкий С.Я.)

Консультант по экономическим вопросам доц (Лобанова Н.С.)

Консультант по вопросам безопасности жизнедеятельности доц (Шатунова Г.И.)

Москва 2017 г.

Содержание

Введение 5
Раздел 1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ САЛЕХАРД-НАДЫМ 9
1.1 Географическое и административное положение линии Салехард-Надым, климатические характеристики района строительства 9
1.2 Гидрологические и геологические характеристики района строительства 14
Раздел 2. ПРОЕКТ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА НОВОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ САЛЕХАРД-НАДЫМ НА УЧАСТКЕ КАРАСЬ-ИВЛЕВСКИЙ-ТАЛЬНИКОВ 16
2.1 Основные показатели участка ст. Салехард - ст. Надым новой железнодорожной линии 16
2.2 Организация подготовительных работ 20
2.3 Организационная схема строительства новой железнодорожной линии Салехард-Надым (перегонов Карась-Ивлевский-Тальников) 22
2.4 Водопропускные трубы 25
2.5 Организация сооружения и упрочнения земляного полотна на перегоне Ивлевский – Тальников ПК 3060+00 – ПК 3065+00 новой железнодорожной линии Салехард-Надым 27
Раздел 3. ПРОЕКТ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО СООРУЖЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА УЧАСТКАХ ОБРАЗОВАНИЯ ТАЛИКОВ НА ПК 3060+00 – ПК 3065+00 30
3.1 Анализ деформативности основания и устойчивости насыпи на ПК 3062+00 30
3.1.1 Постановка задачи 35
3.1.2 Условие формирования таликов 36
3.2 Расчет параметров таликов. Выбор принципа сооружения земляного полотна. Расчет для участка Карась-Ивлевский-Тальников железнодорожной линии Салехард-Надым 41

3.2.1 Определение глубины летнего оттаивания и зимнего промерзания пород сверху на ПК 3062+00 41
3.3 Расчет деформативности основания и устойчивости насыпи на ПК 3062+00 45
3.4 Исследовательский раздел. Повышение прочности основания земляного полотна на просадочных многолетнемерзлых грунтах (ММГ) на участке ПК 3060+50 – ПК 3065+50 железнодорожной линии Салехард – Надым 51
3.4.1 Классификация участков земляного полотна по фактору потенциальной нестабильности основания 51
3.4.2 Стадия 1. Постановка задачи интенсивной технологии 53
3.4.3 Определение времени промерзания защитного слоя толщиной 1 м 56
3.4.4 Расчет миграционного влагонакопления дренажной системы в период промерзания 56
3.4.5 Расчет морозного пучения грунта на участке ПК 3060+50 – ПК 3065+50 61
3.4.6 Снижение накопленной влажности грунтов на основе дренажной системы на участке ПК 3060+50-3065+50 66
3.5 Стадия 2. Выбор катка для производства работ и расчет действующих в толще основания напряжений на участке ПК 3060+50 – ПК 3065+50 69
3.6 Расчет консолидации с последовательным увеличением прочностных характеристик грунта основания при его уплотнении 76
3.6.1 Определение осадки основания под действием напряжений от строительной нагрузки 76
3.6.2 Определение осадки основания под влиянием напряжений строительной техники за одну рабочую смену 77
3.6.3 Улучшение грунтовых характеристик слабого основания 79
Раздел 4. ЭКОНОМИКА 85
4.1 Отраслевая сметно-нормативная база ценообразования (ОСНБЖ-2001 в редакции 2011 года) для строительства объектов ОАО «РЖД» 85

4.2 Расчет сметной стоимости работ с применением интенсивной технологии на участке ПК 3060+00-ПК 3065+00 железнодорожной линии Салехард-Надым перегона Ивлевский-Тальников 88
Раздел 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ 90
5.1 Меры безопасности при работе катка 90
5.2 Чрезвычайные ситуации техногенного характера на железнодорожном транспорте 94
Раздел 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ 103
Список использованной литературы 105

Введение

Данный дипломный проект посвящен организации строительства новой железнодорожной линии Салехард-Надым в сложных инженерных условиях, а именно в условиях вечной мерзлоты. Главный акцент в проделанной работе я делал на проектирование земляного полотна на грунтах со слабым основанием. Мной будет предложен и пояснен метод расчета несущей способности грунтов, технология их упрочнения и изменение их характеристик.

Районы вечной мерзлоты занимают весь северо-восток Российской Федерации, что составляет треть всей территории, примерная площадь которой составляет 11 млн. км^2. Данные районы простираются от Воркуты до берегов Тихого океана и включают в себя Таймыр, Якутию, Ханты-Мансийских округ, Чукотку, Полярный Урал. Южная граница вечной мерзлоты проходит по Кольскому полуострову. Также стоит отметить, что она отсутствует на Сахалине и на южной части Камчатки, зато ее пятна встречаются даже на территории Кавказа [2].

Первые научные исследования крайнего севера начались еще в середине XIX века во время экспедиций на территорию Сибири. Затем уже в начале XX века начали проводиться изыскательные работы. Но в то время еще ни у кого не было опыта строительства в вечномерзлых условиях.

Для регионов Сибири становится все более актуальна проблема модернизации транспортной системы. В новых рыночных условиях существует необходимость адаптации ее к требованиям функционирования народного хозяйства и внешних экономических связей. Так как в перспективе планируется обеспечивать мировые хозяйственно-экономические связи именно через данную территорию страны.

Железнодорожный транспорт играет большую роль в устойчивом росте национальной экономики и для перехода к инновационному пути

развития. В мировой экономической системе железные дороги могут способствовать лидерству России [12].

Железные дороги России занимают лидирующие позиции по многим показателям. Например, по величине транспортной системы наша страна занимает второе место, уступая при этом лишь США по общей длине путей, введенных в эксплуатацию. А по протяженности электрифицированных магистралей российские железные дороги занимают первое место в мире. Если брать во внимание все железные дороги мира, то Российская Федерация в настоящее время выполняет более 20% грузоперевозок и 10% пассажироперевозок.

Если смотреть по географическому положению, то российские железные дороги являются узловой частью евразийской железнодорожной сети. Именно железнодорожная сеть Российской Федерации обеспечивает связь между системами Европы и Восточной Азии. Но центральным критерием значимости железных дорог является регулярное и круглогодичное движение. Они обеспечивают перевозку основной части массовых грузов и трудовых ресурсов. Также стоить отметить большие расстояния перевозок, которые можно преодолеть с помощью сетей железных дорог, а также связь их с морскими портами и другими транспортными пунктами.

Необходимость развития единой транспортной системы и ее интеграции в экономику отображает в принятом Правительством Российской Федерации стратегическом документе «Развитие транспортной стратегии России до 2030 г. (Стратегия-2030)».

«Целью Стратегии является формирование условий для устойчивого социально-экономического развития России, возрастания мобильности населения и оптимизации товародвижения, укрепления экономического суверенитета, национальной безопасности и обороноспособности страны, снижения совокупных транспортных издержек экономики, повышения конкурентоспособности национальной экономики и обеспечения

лидирующих позиций России на основе опережающего и инновационного развития железнодорожного транспорта, гармонично увязанного с развитием других отраслей экономики, видов транспорта и регионов страны», - говорится в тексте документа материалов с железнодорожного съезда «Развитие 2030» [12, С. 3]. В соответствии с этим сделан вывод о том, что ВВП нашей страны вырастет в 4 раза, а также в 3 раза возрастет промышленное производство, что окажет существенное влияние на экономическую сторону.

Уже сегодня созданы проекты по созданию промышленных центров и расширению железнодорожных сетей грузовых перевозок в разных вечномерзлых районах Российской Федерации. Так, можно отметить несколько перспективных задач:

- развивать торгово-экономические отношения со странами Азиатско-Тихоокеанского региона;
- заниматься развитием промышленный и сырьевой базы Полярного Урала;
- расширять промышленный потенциал Кузбасса;
- развивать месторождения полезных ископаемых в Якутии;
- прогнозируется освоение нефтегазовых месторождений Ямала, так как на данном полуострове находятся самые перспективные и крупные месторождения углеводорода на всей территории Западной Сибири;
- и в целом планируется хозяйственное освоение Северо-Востока нашей страны.

В данном дипломном проекте рассматривается организация сооружения земляного полотна перегонов Карась-Ивлевский-Тальников новой железнодорожной линии в трудных инженерных условиях участка линии Северного широтного хода от ст. Салехард до ст. Надым, которая располагается на территории Ямало-Немецкого автономного округа.

Сложность строительства в данном районе обуславливается несколькими причинами:

1) сложными природно-климатическими условиями;
2) экстремально неблагоприятными условиями для строителей;
3) техногенными рисками;
4) отсутствием инфраструктуры и необжитой территории;
5) сложностью взаимодействия подрядных организаций;
6) очень сжатыми сроками и связанной с этим необходимостью обеспечения круглогодичного производства работ [22].

Раздел 1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ САЛЕХАРД-НАДЫМ

1.1 Географическое и административное положение линии Салехард-Надым, климатические характеристики района строительства

Железнодорожная линия Салехард-Надым находится на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Данная линия является частью Северного широтного хода «Обская – Салехард – Надым – Новый Уренгой – Коротчаево». Если рассматривать данную магистраль в географическом отношении, то она проходит в северной части Западно-Сибирской низменности.

Проектируемая железнодорожная линия Салехард-Надым является связывающим звеном Северного широтного хода и имеет большое значение для всей страны в целом. Как уже было отмечено раннее, данный участок предполагает обеспечить подход к освоению нефтегазовых месторождений полуострова Ямал, увеличить количество грузо- и пассажироперевозок.

Также на участке строительства железной дороги будут построены мосты, один из самых основных – на дистанции «Обская – Салехард» через реку Обь, это заметно упростит доставку грузов за счет сокращения длины пути, что приведет к увеличению грузооборота.

Климатические характеристики района.

Географически территория Ямало-Ненецкого автономного округа располагается в нескольких климатических зонах. Климат данной местности определяется наличием многолетней мерзлоты.

В соответствии со СНиП 23-01-99, территория Ямало-Ненецкого автономного округа по климатическому районированию РФ для строительства занимает I климатический район и 1Г подрайон [43].

Для данной территории характерны недостаток тепла, сильные ветры и избыточное увлажнение. Характерной чертой этой территории также является циклонический тип погоды, резкие колебания температуры [43].

Территорию округа можно кратко охарактеризовать общими чертами температурного режима: это продолжительная и холодная зима; короткое и прохладное лето; отрицательная средняя температура года; сильные ветра; короткие и холодные весна и осень, имеющие заморозки [43].

Климатические условия участка железнодорожной линии Салехард – Надым также довольно суровы на всем его протяжении.

Рассмотрим минимальную температуру воздуха в районе строительства станции Салехард в наиболее холодную пятидневку (с обеспеченностью):

- 0,92 (для бетонных и железобетонных конструкций) – минус 42°С;
- 0,98 (для металлических конструкций) – минус 43°С;

Самый теплый месяц данной территории июль, среднемесячная температура составляет 13,3°С;

Самый холодный – январь, среднемесячная температура – минус 24,5°С;

Среднегодовая температура воздуха – минус 5°С [43].

Основные сведения о методике расчета климатических параметров.

Для того чтобы начать строительство железной дороги, которая проходит в непрерывном взаимодействии с окружающей средой, необходимо оценить климатические характеристики района и уточнить все сведения, необходимые для железнодорожного строительства. Все эти сведения в необходимом объеме можно взять из справочников по климатологии или в органах гидрометеорологической службы.

На подготовительном этапе строительства железнодорожной линии, на этапе планирования и проектирования необходимо установить наиболее благоприятные периоды проведения работ. Для этого нужно знать следующие климатические параметры района:

- средняя максимальная и средняя минимальная суточная температура;

- среднемесячные температуры воздуха на протяжении всего года;
- даты, когда средняя суточная температура воздуха переходит через 0°С;
- календарную продолжительность холодного и теплого сезонов в примерном количестве месяцев/дней;
- периоды межсезонья.

Средние значения всех климатических параметров представляют собой сумму значений ряда наблюдения, деленное на их общее число. Минимальная и максимальная температура воздуха представляют собой зафиксированные пределы значений климатических параметров.

Средняя максимальная температура рассчитывается как средняя величина всех зафиксированных максимальных значений. Соответственно средняя минимальная температура представляет собой среднюю величину минимальных значений. Максимум температуры обычно достигается днем, а минимум ночью, по данным кривым мы сможем сделать вывод об амплитуде колебаний температуры воздуха. Даты, когда средняя суточная температура воздуха переходит через 0˚С, мы можем точно установить по температурным кривым.

Очевидно, что метеорологическая информация является ориентировочной и осредненной, так как она не определена по своей природе, и потому отсутствует абсолютная точность и четкость. Но все-таки в достоверности вышеперечисленных климатических характеристик можно быть уверенным.

Главная задача состоит в том, чтобы определить до начала строительства продолжительность теплого сезона года. Это нужно для того, чтобы было удобно выполнять балластировку пути, например, песком – материал, который подвержен смерзанию и имеет высокую влажность. Также в холодное время года трудно или даже невозможно использовать пневмоколесный транспорт на грунтовых дорогах.

Рис. 1.1. Схема новой железнодорожной линии Салехард – Надым

Из-за недопустимо низких показателей температуры воздуха зимой в суровых климатических условиях возможны простои людей и техники, это необходимо учитывать при проектировании строительства. Также стоит отметить, что работа людей при суровых погодных условиях может приводить к простудным заболеваниям и обморожениям, из-за чего также возможно прекращение работы. Всё это может отразиться на объемах работ и экономических показателях.

При выпадении большого количества снежных осадков может быть затруднена работа транспортного средства. По мере того, как накапливается снежный покров, снижается скорость автомобилей. При сильных снегопадах и метелях движение вовсе может остановиться. Устранения последствий обильного снегопада (снегоочистка строительной площадки и подъездных дорог) также займет некоторое время работы.

Влияние обильных дождевых осадков в летнее время на строительные работы.

Очевидно, что интенсивные дождевые осадки летом могут также привести к остановке строительных работ. Например, при земляных работах с применением машин и других механизмов дождевые осадки могут изменить свойство грунта, он будет плохо разрабатываться и прилипать к рабочим инструментам и устройствам. Так что земляные работы требует оптимальной влажности грунта.

Летние дожди повышает влажность грунтов. Но это не значит, что обязательно случится переувлажнение грунта. На это влияет множество факторов: какой тип грунта, насколько интенсивен был дождь, рельеф территории и растительность, а также ветровой режим и множество других. Необходимо учитывать, что интенсивные дождевые осадки могут влиять на возведение земляного полота. Также существенное влияние оказывают на подъездные грунтовые дороги, по которым доставляются к строительной площадке материалы, конструкции, машины и грунты.

Таким образом, можно прийти к выводу о том, что крайне важно перед началом строительства железной дороги оценивать климатические характеристики района, все необходимые сведения, в том числе и возможные неблагоприятные метеовлияния и экстремальные периоды. Для этого достаточно проанализировать все среднемесячные значения, амплитуду колебаний температуры воздуха, продолжительность холодного и теплого периодов, а также рассчитать потерю рабочего времени.

1.2 Гидрологические и геологические характеристики района строительства

В районах, где распространяется вечная мерзлота, поверхностный слой грунта подвергается сезонному оттаиванию и носит название деятельного слоя. На глубину деятельного слоя влияют множество факторов: природная влажность, мощность снежного покрова, положение в рельефе, затененность территории и т.д. На глубину оттаивания влияет даже растительность, так как под растительным покровом протаивание меньше, чем на открытом участке.

В песках отмечается наибольшая глубина протаивания и составляет 0,6 - 1,4 м. В глинистых грунтах она находится в пределах 0,4 - 0,8 м, а в торфах глубина наименьше всего и составляет 0,3 - 0,4 м.

Глубину сезонного оттаивания стоит учитывать, например, для определения глубины заложения фундаментов при проектировании искусственных сооружений.

Температурный режим многолетнемерзлых пород определяется совокупностью зональных, региональных и местных факторов.

Напочвенные моховые покровы, в зависимости от своего состава, толщины и влажности, охлаждают грунты с разной величиной.

Канавки и полигональные трещины на бровках и склонах участвуют в их разрушении, так как создают условия для развития процессов термоэрозии и термоабразии. Трещины обычно полые или же заполнены водой или льдом.

В данном районе строительства полигоны развиваются чаще всего на торфянистых отложениях, суглинистых и супесчаных грунтах. Размеры их в поперечнике варьируются от 2-3 до 25-30 м. Чаще всего они бывают четырехугольной формы, но встречаются также многоугольные и даже бесформенные.

Рельеф Ямало-Ненецкого автономного округа состоит из двух частей: равниной и горной. Район характеризуется общей сглаженностью: волнистая

равнина с возвышенностями занимает около 90% территории. Горная часть округа занимает небольшую территорию вдоль Полярного Урала.

В пределах данной географической местности распространены подземные воды, а именно здесь располагается огромный артезианский бассейн.

Побережье рассматриваемого района омывается водами Карского моря. Гидрографическая сеть представлена большим количеством рек и ручьев. Можно отметить избыточное увлажнение района. На данной территории находится огромное количество озер, в литературе встречается признание Ямало-Ненецкого автономного округа «страной озер». Озера в основном пресные. Также колоссальную территорию занимают болота.

Почвы данного округа представлены несколькими видами: арктические, тундровые, глеевые и торфяно-болотные.

Исследуемая территория находится в зоне активного развития многолетней мерзлоты сливающегося типа. Это значит, что оттаивающие за лето слои промерзают в холодное время года и смыкаются со слоем многолетней мерзлоты. Многолетнемерзлые грунты предполагают большую льдистость, а следовательно значительную просадоточность при оттаивании, а также развитие криогенных процессов [34].

Раздел 2. ПРОЕКТ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА НОВОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ САЛЕХАРД-НАДЫМ НА УЧАСТКЕ КАРАСЬ-ИВЛЕВСКИЙ-ТАЛЬНИКОВ

2.1 Основные показатели участка ст. Салехард - ст. Надым новой железнодорожной линии

Основные объемы работ перегонов Карась–Ивлевский–Тальников новой железнодорожной линии Салехард – Надым приведены в табл. 2.1.[33]:

Таблица 2.1. Показатели основных объемов работ по сооружению земляного полотна участка Карась–Ивлевский–Тальников ПК 2776+00 – ПК 3084+00

Наименование работ	Ед. изм.	Количество
Отсыпка насыпи		
Защитный слой из гравийно-галечного грунта	тыс. м.^{3}	2983,48
Песок пылеватый	тыс. м.^{3}	11409,09
Осадка насыпи и обжатия мохово-растительного слоя	тыс. м.^{3}	195,5
Итого насыпи	тыс. м.^{3}	14588,07
Выемка		
Объем выемок	тыс. м.^{3}	4432,07
Профильный объем	тыс. м.^{3}	19020,14
Итого профильный объем на 1 км	тыс. м.^{3}	64,5
Геотекстиль		
Дорнит	тыс. м.^{2}	1538,3
Георешетка, тыс. м2		
Прудон-494	тыс. м.^{2}	333,2
Укрепление откосов		
Травопосевом по почвенно-растительному слою толщ. 0,20 м	тыс. м.^{2}	584,22
Торфо-песчаной смесью толщ. 0,30 м	тыс. м.^{2}	280,14

Организация строительства железных дорог заключается в исполнении строительно-монтажных работ, которые различаются по своему назначению, профессиональному исполнению и характеру. Качество строительных объектов и всей дороги в целом обеспечивается за счет безошибочной и рациональной организационно-технологической последовательностью исполнения.

Строительный процесс железной дороги можно разделить на несколько периодов (см. рис. 2.1.).

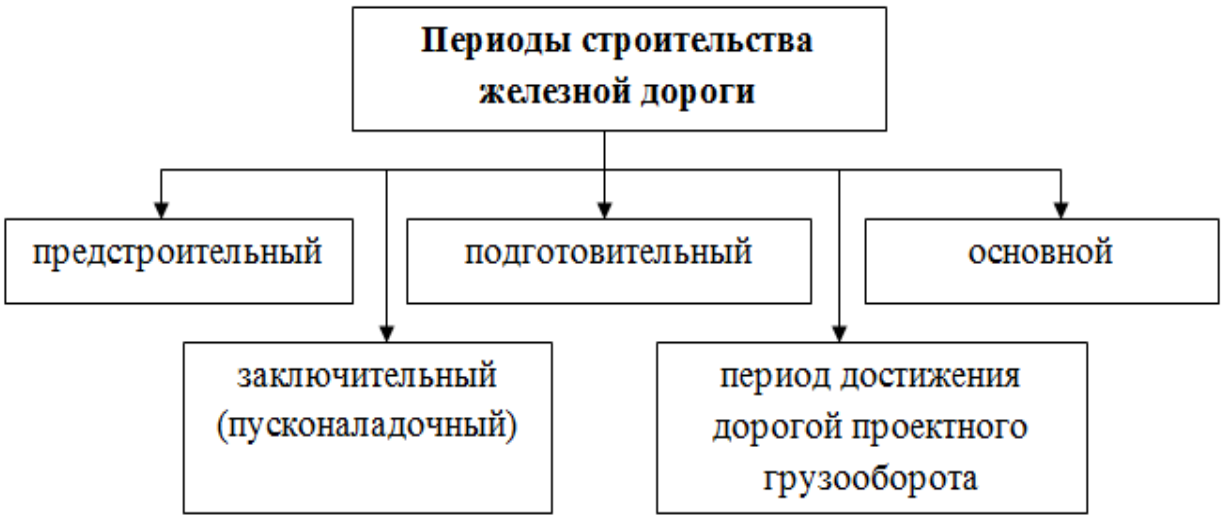


Рис. 2.1. Схема периодов строительного процесса железной дороги

В предстроительный период ведется подготовка заказчика, генподрядной и субподрядной организаций, а также выполняется масса других необходимых подготовительный работ перед началом основных.

В подготовительный период строительства железной дороги проводится необходимая система подготовки к строительству. Разрабатывается проектная документация и проектируется организация работ (ПОС, ПОР).

Основной период. Из названия этого периода становится ясно, что здесь проводятся все основные строительные работы. В этот период

строительного процесса создаются искусственные сооружения и другие строительные конструкции. В этот же период сооружается земляное полотно и выполняется укладка и балластировка верхнего строения пути. Земляные работы наиболее дорогие и трудоемкие, стоимость их достигает до 30% всего строительства, главным образом из-за стоимости материалов.

Эксплуатацию железной дороги обеспечивают производственные и служебно-технические здания и сооружения. Их строительство ведется также в основной период. Но нередко их выполнение продолжается в течение всего строительства и даже после сдачи объекта в эксплуатацию.

Вместе с выполнением всех вышеперечисленных работ в основной период сооружаются объекты водоснабжения, канализации и электроснабжения. А также воздушные и кабельные сети, линейные и станционные сооружения автоматики, телемеханики и связи и мн. др.

В заключительный (пусконаладочный) период выполняются все остальные работы, необходимые для сдачи объекта строительства в эксплуатацию. Здесь производится послеосадочный ремонт пути и сооружений, строятся переезды и монтируются шлагбаумы, устанавливаются светофоры и в целом проводят испытания всех сооружения на расчетную нагрузку. Также в заключительный период свертывается строительство, и оформляются все расчеты.

После строительства и сдачи построенной линии в эксплуатацию наступает период достижения дорогой проектного грузооборота. Данный период необходим для оценки экономической эффективности железной дороги. Этот период может продолжать до трех лет. Для достижения необходимой эффективности и обеспечения роста скоростей движения поездов, увеличения перевозок строительные работы могут все еще продолжаться. За время данного периода происходит стабилизация железнодорожного пути и приобъектной территории.

Также отдельно можно выделить вспомогательные работы, которые могут осуществляться в любой из периодов. К ним могут относиться

сооружение временной дороги и подъезды к строительным сооружениям, установка лесов и многое другое. Вспомогательные работы временные и необходимы для продуктивной работы.

Таким образом, строительство железной дороги представляет собой сложную систему. В этой системе можно выделить несколько основных подсистем:

- подготовительные работы;
- основные работы;
- заключительные работы

2.2 Организация подготовительных работ

Отдельно более подробно стоит рассмотреть комплекс подготовительных работ, которые выполняются в подготовительный период. Данный подготовительный комплекс включает в себя массу работ (см. рис. 2.2.)

Рис. 2.2. Работы подготовительного комплекса

От качества проведенных подготовительных работ будет зависеть успешность основных работ строительства железной дороги.

Рассмотрим основные виды работ в подготовительный период:

Отвод земель. Железная дорога имеет прямое отношение к земле. После того, как создается проект дороги и продольный профиль, производится отвод земли, необходимой для сооружения проектируемой железной дороги, а также для прилегающих к ней производственных предприятий. Размеры отвод земель устанавливаются в соответствии с Нормами и правилами проектирования отвода земель для железных дорог.

Очистка территории строительства выполняется для возведения земляного полотна и других сооружений. Производится рубка деревьев и кустарников, расчистка пней и многое другое. Если возведение земляного полотна будет происходить в зимний период, то необходимо также очистить участок строительства от снега. Строительство нашего участка дороги происходит на вечномерзлых грунтах, поэтому стоит иметь в виду, что при очистке территории нельзя нарушать моховой покров, он выступает в роли теплоизолятора.

Предварительное осушение района строительства необходимо для обеспечения устойчивости и прочности возводимого земляного полотна. Как уже было замечено, район проектируемой железной дороги Салехард – Надым имеет колоссальное количество озер и болот. Некоторые из них необходимо будет засыпать. Это облегчит выполнение основных работ строительства, а также доставку материалов к строительной площадке.

2.3 Организационная схема строительства новой железнодорожной линии Салехард-Надым (перегонов Карась-Ивлевский-Тальников)

На начальной стадии разработки проекта строительства железной дороги составляются принципиальные схемы организации строительства. При их составлении обосновываются: продолжительность строительства железной дороги в целом и по видам основных работ; порядок развертывания строительства и преодоления преградных объектов; количество занятых в строительстве подразделений и их мощность; очередность ввода отдельных участков и пусковых комплексов в постоянную эксплуатацию и состав входящих в них работ.

На участке новой железнодорожной линии Салехард-Надым перегонов Карась-Ивлевский-Тальников ПК 2776+00 – ПК 3084+00 производится возведение объекта транспорта.

Для составления организационной схемы необходимо произвести расчет основных показателей.

Длина участка, на котором производится укладка пути:

$L_{ул}$ = 295 км.

Срок строительства железнодорожной линии:

$$T_0 = K_p \cdot \sqrt{L_{УЛ}}\,; \qquad (2.1)$$

где Кр – коэффициент, характеризующий вид местности,

Кр = 2,4 - для холмистой местности.

$$T_0 = 2,4 \cdot \sqrt{295} = 41,2 \ (мес.)$$

Время подготовительных работ $T_{подг.}$ принимается 5% от расчетного срока производства работ T_o:

$$T_{подг} = 0,05 \cdot T_0\,; \qquad (2.2)$$

$$T_{подг} = 0,05 \cdot 41,2 = 2,06 \ (мес.)$$

Время производства земляных работ определяется, исходя из вида местности, длины линии и производительности механизированной колонны, рассчитанной на период (год):

$$T_{зр} = \frac{V_{проф} \cdot L}{N_{мк}}; \qquad (2.3)$$

где L - длина линии,

$V_{проф}$- профильный объем земляных работ,

$N_{мк}$ - годовая выработка механизированной колонны.

если $К_р$ = 2,4, то $V_{проф} = 28\ тыс.\ м^3$ на 1 км,

$N_{мк} = 1200\ тыс.\ м^3\ в\ год$.

$$T_{зр} = \frac{28000 \cdot 295}{2500000} = 1{,}91\ год = 23\ (мес.)$$

Время укладки рельсошпальной решетки краном УК-25:

$$T_{укл} = \frac{L}{П_э \cdot \beta}; \qquad (2.4)$$

где = 2 – количество смен,

Пэ – производительность крана УК-25 (Пэ = 1/0,39),

- длина линии.

$$T_{укл} = \frac{295 \cdot 0{,}39}{2} = 57{,}5\ (смен) = 1{,}44\ (мес.)$$

Время, необходимое для балластировочных работ, рассчитывается из производительности балластировочной машины:

$$T_{бал.} = \frac{L}{П_э \cdot \beta}; \qquad (2.5)$$

где Пэ – производительность балластировочной машины (Пэ = 1/0,76),

β = 2 – количество смен,

L - длина линии.

$$T_{бал.} = \frac{295 \cdot 0{,}76}{2} = 112{,}1\ (смен) = 2{,}8\ (мес)$$

Время на отделку пути:

$$T_{отд} = \frac{L}{П_Э \cdot \beta};$$ (2.6)

где Пэ – производительность работ (Пэ = 1/0,64),

β = 2 – количество смен,

L - длина линии.

$$T_{отд} = \frac{295 \cdot 0,64}{2} = 94,4\ (смен) = 2,36\ (мес.)$$

Количество труб на участке определяется, исходя из длины линии: на 10 км пути для холмистой местности укладывается 1 труба.

На производство одной трубы требуется 6 дней. Соответственно, срок работ по укладке труб:

$$T_{тр} = L \cdot n \cdot 6;$$ (2.7)

где n - количество труб, равное 0,1.

$$T_{тр} = 295 \cdot 0,1 \cdot 6 = 177\ суток = 5,9\ (мес.)$$

Организационная схема строительства представлена на рис. 2.3.

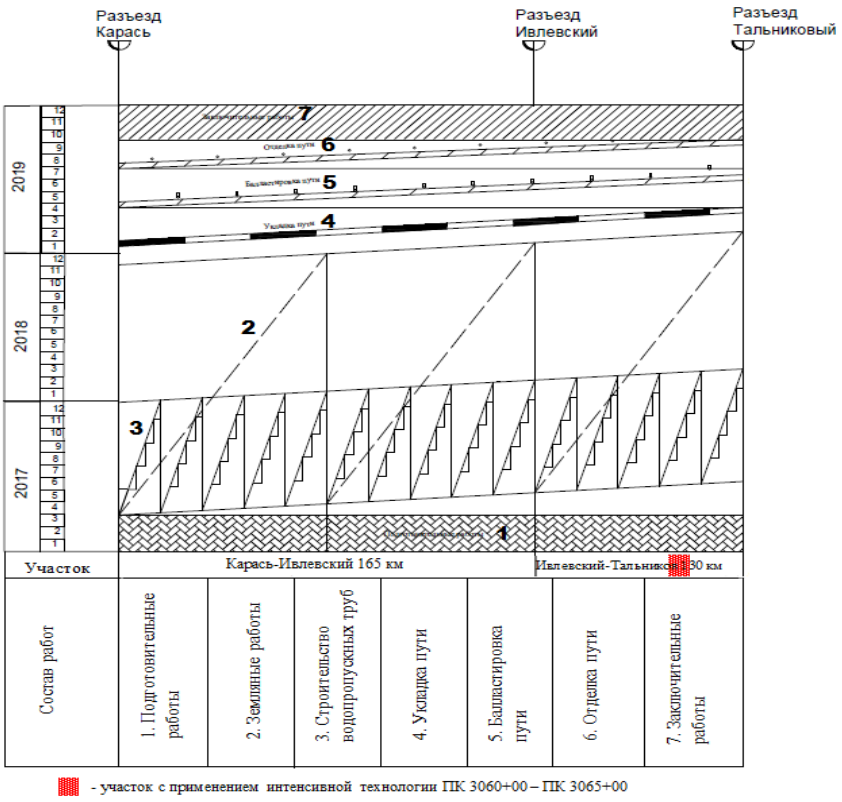


Рис. 2.3. Организационная схема строительства новой железнодорожной линии Салехард-Надым (перегонов Карась-Ивлевский-Тальников)

2.4 Водопропускные трубы

В соответствии с п. 1.14 СНиПа 2.05.03-84 [44], в северной зоне водопропускные трубы запро ектированы для безнапорного режима работы.

Металлические гофрированные трубы сооружаются на естественном основании в пологих логах или косогорах с уклоном менее 0,03, с малым расчетным расходом воды и отсутствием условий для наледеобразований.

Основанием для труб служит, как правило, песчаные грунты первой категории просадочности. При наличии торфа производится замена грунта.

На косогорных участках трассы трубы располагаются на каменных подсыпках с выпуском воды на укрепленные бермы. В связи с тем, что в районе строительства расчетная температура воздуха -40°С и ниже, металлические трубы изготавливаются из стали марок 09Г2 или 09Г2С по ГОСТ 19281-89. В зависимости от высоты насыпи возможно применение гофрированных листов толщиной 3,5-4,5 мм. В качестве дополнительной защиты внутри трубы устраивается асфальтобетонный латок. Для гидроизоляции труб при расчетной температуры ниже -40°С принимается эпоксидно-каучуковая краска марки ЭКК-100 по грунтовке ЭКГ в соответствии с ВСН 176-78. При высоте насыпи более 6 метров на периодических водотоках и суходолах при отсутствии наледи предусмотрено возведение прямоугольных железобетонных труб с отверстиями, соответствующими расходам. Для пропуска постоянных водотоков с расчетными расходами до 50 м^3 при отсутствии корчехода и ледохода, в соответствии с п. 1.16 СНиПа 2.05.03-84 [44], назначены прямоугольные бетонные трубы с отверстиями 2-6 метра на водотоках с возможностью образования наледей применены трубы отверстием не менее 3 метра.

В условиях косогорности, где наиболее вероятно появление наледей в конструкции бетонных труб, по рекомендации МИИТа, предусмотрено устройство закрытого железобетонного лотка, утепленного со всех сторон «Пеноплексом» толщиной 50мм по всей длине трубы. На входе таких труб

устраивается приемная каменная рисберма для сбора теплой воды и дальнейшего пропуска по лотку до конца каменной наброски. В зависимости от инженерно-геологических условий трубы сооружаются на естественном или столбчатом основании.

В местности, где находится проектируемая железная дорога, возможно использование труб, которые останутся от прокладки магистральных газопроводов. Такие трубы имеют преимущество перед использованием металлических труб и железобетонных, а также подходят для использования на территории вечномерзлых грунтов. Преимущество этих труб заключается в повышенной жесткости, что позволяет принимать дополнить нагрузки, если возникнут просадки грунта. Также данные трубы легко собираются, что немало важно.

Для предотвращения деформаций основания из-за возможной деградации вечной мерзлоты, необходимо применять нетканые синтетические материалы и пенопласт, который укладывается на слани.

Проектируемая железная дорога Салехард – Надым пересекает массу больших и малых водотоков, поэтому необходимо обеспечить отвод воды от земляного полотна для предотвращения различных деформаций.

2.5 Организация сооружения и упрочнения земляного полотна на перегоне Ивлевский – Тальников ПК 3060+00 – ПК 3065+00 новой железнодорожной линии Салехард-Надым

Для улучшения прочностных характеристик грунтов основания, ликвидации условий образования талых зон или действующих таликов на участке строительства железнодорожной линии следует использовать комплексную технологию, включающую в себя следующие стадии:

Стадия диагностики состоит в исследовании физико-механических и теплофизических характеристик грунтов в подготовительный период на трассе строительства. В качестве исходных данных следует принять результаты инженерных изысканий по просадочности, влажности и температурному режиму грунтов основания. По результатам обследования необходимо определить потенциально-опасные участки строительства, их геометрические параметры (протяженность, ширину, мощность, глубину залегания) и произвести типизацию выделенных потенциально-опасных участков строительства.

Первая стадия комплексной технологии включает устройство дренажной системы – продольные, при продольном уклоне местности или поперечные прорези (при I принципе проектирования), ленточные дрены (при II принципе проектирования), боковые водоотводные канавы и защитный слой в основании насыпи. Функционирование прорезей и дрен системы определяется закономерностями процессов в деятельном слое и талике

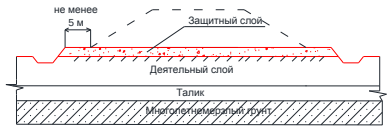
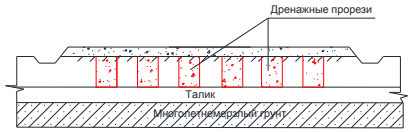
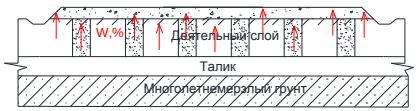
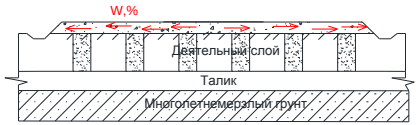
Вторая стадия комплексной технологии предназначена для интенсивного уплотнения грунтов катками с целью отжатия, отвода воды и консолидации грунтов вплоть до ликвидации талика. Исходные характеристики грунтов (W, c, φ) и соответственно критическую нагрузку на основание следует уточнить и принять по результатам первой стадии – работы дренажной системы

Третья стадия принципиальной схемы предназначена для упрочнения грунтов основания на участках, где не обеспечена требуемая несущая способность основания и устойчивость насыпи.

СОУ следует применять для сохранения мерзлого состояния грунтов оснований, для повышения несущей способности основания, а также для создания ледогрунтовых завес, восстановления нарушенного при строительстве теплового режима грунтов в основании.

Возведение ТАД позволяет регулировать в процессе строительства температурный режим грунтов основания, за счет удержания накопленного, в период отрицательных температур, холода в грунтах основания, тем самым не позволяет образованию таликовых зон в строительный период и увеличивает продолжительности промерзания [23].

Графически все стадии представлены на рисунке 2.4.

Временной диапазон стадии	До начала промерзания основания	В период промерзания основания	В период промерзания	В период оттаивания основания
Стадии комплексной технологии				
	I стадия - Устройство дренажной системы и регулирование влажности			
Технологические процессы	Сооружение боковых водоотводных канав и защитного слоя	Сооружение дренажных прорезей (I принцип) и ленточных дрен (II принцип)	Миграция влаги к холодному фронту (II принцип)	Отвод воды в боковые водоотводные канавы (II принцип)

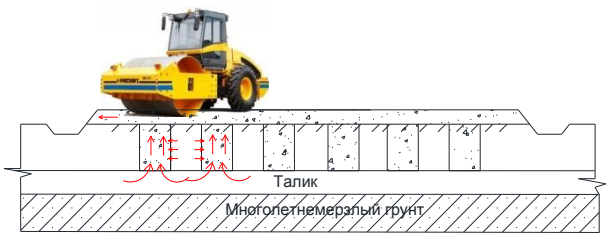
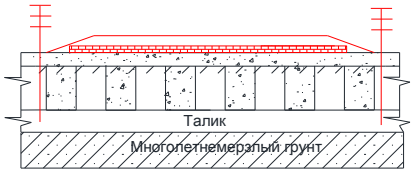
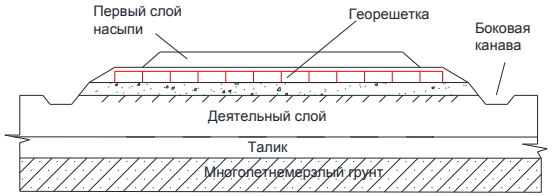
Временной диапазон стадии	После устройства рабочей платформы	До начала промерзания основания	В период сооружения земляного полотна
Стадии комплексной технологии			
	II стадия - Интенсивная технология упрочнения основания	**III стадия – дополнительное упрочнение основания**	
Технологические процессы	Интенсивная технология	Устройство термосифонов и теплоизоляции на участках проектирования земляного полотна по I принципу	Армирование основания и устройство ТАД на участках проектирования земляного полотна по II принципу

Рис. 2.4. Структура комплексной технологии [23]

Раздел 3. ПРОЕКТ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО СООРУЖЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА УЧАСТКАХ ОБРАЗОВАНИЯ ТАЛИКОВ НА ПК 3060+00 – ПК 3065+00

В данном разделе показано влияние таликовых зон на несущую способность насыпи, расчёт деформативности основания и устойчивости насыпи, повышение прочности основания земляного полотна на просадочных многолетнемерзлых грунтах с применением интенсивной технологии.

3.1 Анализ деформативности основания и устойчивости насыпи на ПК 3062+00

По данным изыскательного проектирования, на продольном профиле (см. рис 3.1) видно, что на участке ПК 3062+00 высота проектируемой насыпи около 3,4 метров (см. рис 3.2).

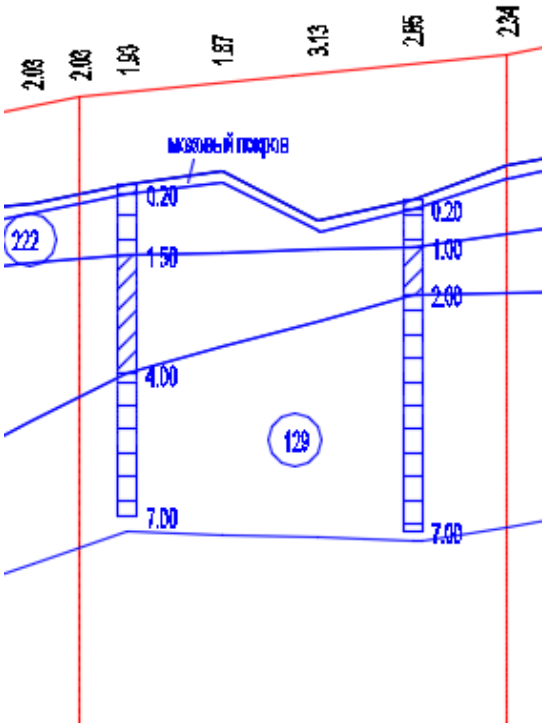


Рис. 3.1. Продольный профиль перегона Ивлевский-Тальников ПК 3060+50 – ПК 3065+50 [33]

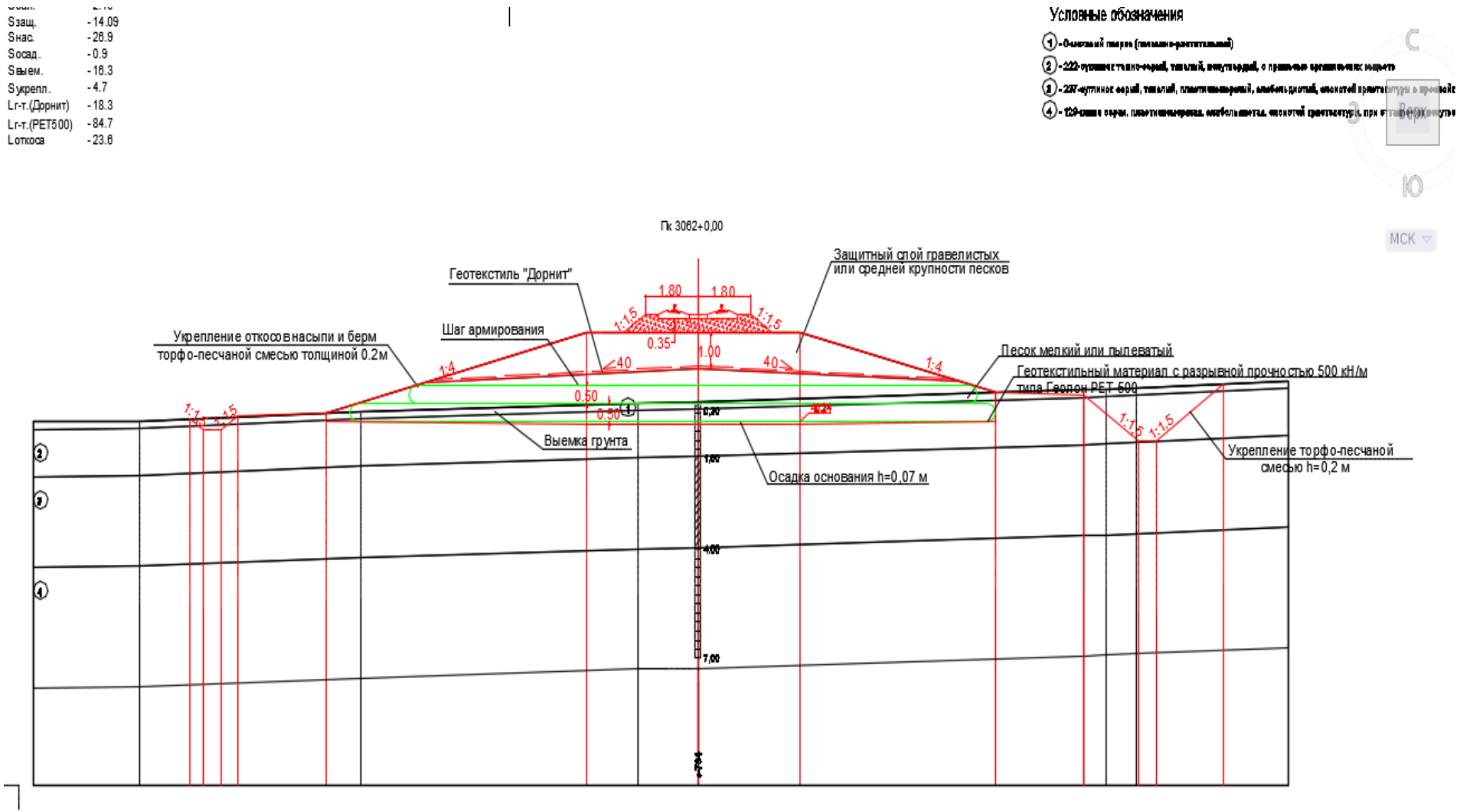


Рис. 3.2. Поперечный профиль насыпи на участке ПК 3062+00 [33]

Проектирование земляного полотна выполнено в соответствии с действующими нормативными документами СТН Ц-01-95, СП 32-104-98, используя типовые поперечные профили, разработанные в составе проектной документации «Строительство новой железнодорожной линии «Салехард - Надым», выполненной ООО «Транспроект» [33].

Ширина насыпи может уточняться в зависимости от инженерно-криологических условий. Насыпь на участках вечной мерзлоты сооружается с запасом на осадку и оттаивание.

В соответствии с табл. 9 СТН Ц-01-95 [50], минимальная ширина земляного полотна на прямых участках из дренирующих грунтов принимается шириной 6,60 м.

50-60% проектируемой железной дороги находится на участках с высокотемпературной мерзлотой с островным характером распространения. Это ясно на основании предварительных инженерно-криологических данных.

На сухих местах для отсыпки земляного полотна может использоваться песок пылеватый. Защитный слой в верхней части земляного полотна будет гравийно-галечниковый и толщиной 1,0 м. Под защитный слой необходимо уложить нетканый геотекстиль. Заложение откосов насыпи 1:1,75.

На подтопленных участках, болотах или в выемках для отсыпки земляного полотна используется песок средней крупности. Защитный слой в верхней части земляного полотна будет гравийно-галечниковый и толщиной 0,20 м. Под защитный слой необходимо уложить нетканый геотекстиль. Заложение откосов насыпи 1:1,2.

Для того, чтобы уменьшить эксплуатационные затраты и для обеспечения безаварийной работы земляного полотна и верхнего строения пути могут быть выполнены следующие эффективные и конструктивные решения:

- на участках со слабыми и неустойчивыми грунтами основания земляного полотна можно усилить его бермами по устойчивости. Также для уменьшения объемов земляных работ на некоторых

участках предусмотрено усиление насыпи высокопрочным геотекстилем, который укладывается в основание земляного полотна;

- для того, чтобы предотвратить процессы пучения, необходимо создать защитный слой из непучинистых грунтов. Данный защитный слой ограничивает процессы пучения грунтов насыпи и основания;
- для обеспечения прочности грунтов земляного полотна и снижения деформативности пути необходимо создать защитный подбалластный слой из гранулометрического состава с применением полимерных и геосинтетических материалов. Подбалластный слой выполняет функцию несущего элемента.

Укрепление откосов выполняется травопосевом (районированными семенами) по торфо-песчаной смесью толщиной 0,20 м.

Рассматриваемый участок находится на территории высокотемпературной вечной мерзлоты. Для уменьшения термокарстовых процессов основания насыпи необходимо обжатие мохово-растительного слоя толщиной 0,20 м. На других участках данный слой может быть срезан.

В данной дипломной работе мы рассмотрим усиление земляного полотна с применением интенсивной технологии, вместе предложенного варианта в проектной документации отсыпки берм. Метод интенсивной технологии менее трудоемкая, более быстрая и дешевая технология.

В сезон промерзания грунта происходит избыточное льдообразование. Это происходит в результате миграции воды под действием природных электромолекулярных сил. Также перемещению свободной воды способствует гидростатическое давление в ней, которое возникает зимой при пучении грунта.

После оттаивания слоя распученного грунта в сезон лета вода из этого слоя возвращается в грунт. В результате этого влажность и способность пластического выпирания из под насыпи повышаются. Также начинается перемещение поверхностной воды. Все это влияет на отепляющий эффект грунта.

Оттаивание грунта продолжаются десятками лет. Поэтому в строительный период необходимо контролировать перемещения воды, для предотвращения деформаций ею земляного полотна. Эта мера также необходима для повышения стабильности возводимой насыпи.

Сезонное оттаивание распученного грунта носит постепенный характер и идет сверху вниз. Из верхнего оттаявшего слоя перемещению свободной воды будет препятствовать нижний еще замерзший слой грунта. Для собирания и отведения воды необходимо создать специальное дренажное устройство.

К дренажному устройству вода будет перемещаться довольно быстро, так как оттаявший грунт имеет комковатую структуру. Также исследований установлено, что повышается коэффициент фильтрации. Например, коэффициент фильтрации распученного суглинка при оттаивании повышается в сотни раз по сравнению с его природным значением.

По мере сезонного оттаивания мерзлого слоя вода с помощью дренажного устройства будет перемещать и в грунт основания не вернется. Также дренажное устройство обеспечит отвод дождевых вод и большого количества талой воды, которые будут собираться у насыпей.

Отвод воды обеспечивает уменьшение влажности грунта (w_{tot}) в эксплуатационном земляном полотне. Это скажется положительно на строительном объекте.

Дренажное устройство позволит повысить прочностные характеристики основания, уменьшить осадку насыпи и избежать пластические деформации земляного полотна. В дальнейшем насыпь полностью стабилизируется.

3.1.1 Постановка задачи

На стадии проектировании строительства новой железнодорожной линии в районе вечномерзлых грунтов необходимо учитывать наличие возможных опасных участков. Одним из примеров опасных участков являются таликовые зоны. Они могут оказывать влияние на строительство железной дороги и ее последующую эксплуатацию. Таликовые зоны могут являться причиной появления различных деформаций строительных объектов [2].

В данном дипломном проектировании мы как раз рассмотрим возможное наличие таликовой зоны на участке ПК 3060+00 – ПК 3065+00. Затем докажем ее существование и применим технологию для ее ликвидации.

В сложных инженерных условиях деформация насыпи может зависеть от многих изменяющихся характеристик, например при промерзании и оттаивания грунтов. Деформация и ее развитие включает в себя несколько явлений: физико-механические, теплофизические, масообменные и физико-химические [3].

Одна из самых частых причин появления деформаций развитие таликовых зон в грунтах основания.

В период строительства новой железнодорожной линии талики могут возникнуть, как на этапе строительства, так и на этапе эксплуатации линии (при восстановлении теплового баланса после возведение насыпи). Важно избежать появлений таликов в строительный период для предотвращения образования деформации уже в эксплуатационный период.

Предотвратить появления таликов возможно путем улучшения характеристик грунтов основания, при помощи применения интенсивной технологии.

Интенсивная технология позволяет сохранить и улучшить свойства и характеристики грунтов основания, а также провести мероприятия по снижению влажности.

Для того, что правильно выбрать и провести необходимые мероприятия, нужно проанализировать проектируемый участок железной линии на наличие таликовых зон. Анализ необходимо провести до начала сооружения земляного полотна.

Предлагаемая интенсивная технология наиболее эффективна для устранения в строительный период сформировавшихся таликов.

3.1.2 Условие формирования таликов

Для расчета таликовой зоны на ПК 3060+00– ПК 3065+00, оценки условий формирования таликов $\xi_л = \xi_з + \xi_з^{сн}$ основано на расчете глубины сезонного оттаивания $\xi_л$, а так же сезонного промерзания пород сверху $\xi_з$ и снизу $\xi_з^{сн}$ при нулевой среднегодовой температуре и отсутствии значительных теплопотоков на нижней границе. Данные расчеты проводятся согласно методикам ГОСТ 24847–81 «Грунты. Методы определения глубины сезонного промерзания», ГОСТ 25358-2012 «Грунты. Метод полевого определения температуры». Если потенциальные глубины сезонного оттаивания и промерзания равны, то породы находятся в переходном состоянии. То есть происходит период, когда грунт превращается из талого в мерзлое или наоборот. При переходном состоянии образования таликов увеличиваетсяВ [5].

В данном расчете определяется появление таликов по природно-климатическим и гидрогеологическим параметрам до начала строительства железнодорожной линии. Данный расчет является типовым для всех участков.

Определение глубины летнего оттаивания и зимнего промерзания сверху [17].

$$\xi_л = \sqrt{E_л^2 + 2 \cdot F_л} - E_л \text{ - летнее оттаивание} \quad (3.1)$$

$$E_л = \lambda_{m2} \cdot \left(R_{покр}^л + \frac{m_1}{\lambda_{m1}} \cdot a_л \right) \quad (3.2)$$

$$F_л = \lambda_{m2} \left\{ m_1 \left[R_{покр}^л \cdot b + 2 \frac{m_1}{\lambda_{m1}} \cdot (a_л + b) \right] + \frac{\Omega_{покр}^л}{Q_{ф2}} \right\} \quad (3.3)$$

$$\xi_з = \sqrt{E_з^2 + 2 \cdot F_з} - E_з \text{ - зимнее промерзание} \quad (3.4)$$

$$E_з = \lambda_{м2} \cdot \left(R_{покр}^з + R_{сн} + \frac{m_1}{\lambda_{м1}} \cdot a_з \right) \quad (3.5)$$

$$F_з = \lambda_{м2} \left\{ m_1 \left[\left(R_{покр}^л + R_{сн} \right) b + 2 \frac{m_1}{\lambda_{m1}} \cdot (a_з + b) \right] + \frac{\left| \Omega_{покр}^з \right|}{Q_{ф2}} \right\} \quad (3.6)$$

$$a_л = 1 - \frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}}, \; a_з = 1 - \frac{\lambda_{м1}}{\lambda_{м2}}, \; b = 1 - \frac{Q_{ф1}}{Q_{ф2}}, \quad (3.7)$$

где $R_{покр}^л$, $R_{покр}^з$ — летнее и зимнее термические сопротивления на-почвенного покрова; $R_{СН}$ — среднее термическое сопротивление снежного покрова; m_1— мощность первого промерзающего слоя; $\lambda_{м1}$, $\lambda_{т1}$, $\lambda_{м2}$, $\lambda_{т2}$ — соответственно теплопроводности талых и мерзлых пород первого и второго промерзающих слоев; $Q_{ф1}$, $Q_{ф2}$— теплота фазовых переходов первого и второго промерзающих слоев; $\Omega_{покр}^л, \Omega_{покр}^з$ — сумма градусо-часов за летний и зимний период на дневной поверхности, $\xi_л$ - глубина летнего оттаивания грунта, $\xi_з$ – глубина зимнего промерзания грунта, $\xi_з^{сн}$ – глубина промерзание грунта снизу [5].

При данном расчете необходимо проверять выполнение условия $\xi > m_1$, в противном случае граница сезонного промерзания-оттаивания не выходит из первого промерзающего слоя и грунтовый разрез является однослойным. В этом случае расчетные зависимости заметно упрощаются [5]:

$$\xi_{Л} = \sqrt{s_{Л}^{2} + \frac{2\lambda_{Т}\Omega_{Л}^{покр}}{Q_{ф}}} - s_{Л} \tag{3.8}$$

$$S_{Л} = \lambda_{Т} \cdot R_{П}^{Л} \tag{3.9}$$

$$\xi_{З} = \sqrt{s_{З}^{2} + \frac{2\lambda_{М}\left|\Omega_{З}^{покр}\right|}{Q_{ф}}} - s_{З} \tag{3.10}$$

$$S_{З} = \lambda_{М} \cdot (\overline{R}_{СН} + R_{П}^{Л}) \tag{3.11}$$

Плотность нисходящего теплового потока рассчитывается для контура прямоугольной формы:

$$q_{Т} = \lambda_{М} \cdot \left.\frac{dt(x,z)}{dz}\right|_{x=0,y=0,z=0} = \frac{2 \cdot \lambda_{М} \cdot |t_{П}|}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{b^{2}} + \frac{1}{a^{2}}} - q_{ГЛ} \tag{3.12}$$

для центра УОВ круглой формы

$$q_{Т} = \lambda_{М} \cdot \left.\frac{dt(z)}{dz}\right|_{z=0,r=0} = \frac{\lambda_{М} \cdot |t_{П}|}{r_{Т}} - q_{ГЛ} \tag{3.13}$$

и для контура – полосы при $a \to \infty$

$$q_{Т} = \lambda_{М} \cdot \left.\frac{dt(x,z)}{dz}\right|_{x=0,z=0} = \frac{2 \cdot \lambda_{М} \cdot |t_{П}|}{\pi \cdot b} - q_{ГЛ} \tag{3.14}$$

где $\lambda_{М}$ - теплопроводность мерзлых пород; $t_{П}$ - среднегодовая температура пород на окружающей контур территории.; $r_{Т}$ - радиус круглого УОВ; a – полудлина прямоугольного контура; b – полуширина прямоугольного УОВ или УОВ в форме бесконечной полосы; $q_{ГЛ}$ - плотность глубинного теплопотока из недр [15].

Схема расчета представлена на блок схеме рис. 3.3.

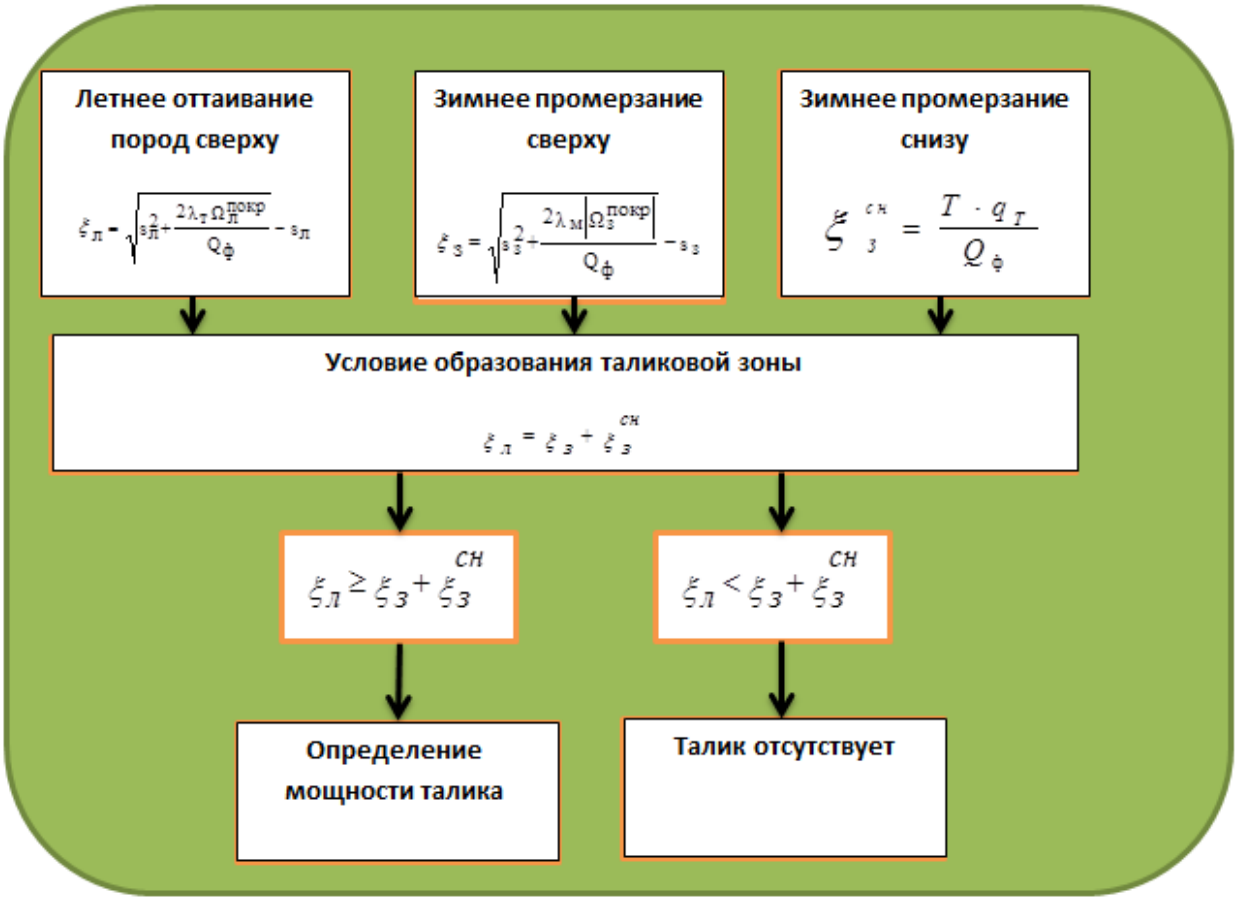


Рис. 3.3. Блок-схема расчета формирования таликовых зон [5]

Рассматриваемая расчетная схема характерна наличием в пределах сезонно промерзающей и протаивающей части разреза двух слоев влажных пород с различными теплофизическими характеристиками. Это позволяет прогнозировать возникновение таликов при наличии слоев промерзающих биогенных образований (торф, мох), создании подсыпок, замене грунтов в выемках и др. Температура дневной поверхности (зимой — снега, в летний период — напочвенных покровов) должна определяться по температуре воздуха с учетом радиационной поправки.

После определения участков с фактическим образованием таликов и параметров грунтов, влияющих непосредственно на их образование, необходимо повлиять на неблагоприятные параметры грунтов основания будущей насыпи. Желаемый эффект возможно достичь с помощью применения мероприятий по стабилизации земляного полотна.

Все данные по теплофизическим и механическим свойствам определяются опытным путем на месте. Данные по рассматриваемому участку представлены в таблице 3.1. [45].

Таблица 3.1. Теплофизические свойства грунтов основания

Суглинок текучепластичный	
Наименование показателя, обозначение, ед. изм.	Числовые показатели.
Теплопроводность в талом состоянии грунта, λт, Вт/мК	1,2
Теплопроводность, в мерзлом состоянии грунта, λм, Вт/мК	1,8
Сумма градусо–часов за летний период на дневной поверхности, Ωл(п), час	40000
Сумма градусо–часов за зимний период на дневной поверхности, Ωз(п), час	-90000
Теплота фазового перехода, Qф, Втч/м^3	19586
Летнее термическое сопротивление напочвенного покрова, Rп(л), м2·С/Вт	0,1
Зимнее термическое сопротивление напочвенного покрова, Rп(з), м2·С/Вт	0,1
Среднее термическое сопротивление снежного покрова, Rсн, м2·С/Вт	2,5

3.2 Расчет параметров таликов. Выбор принципа сооружения земляного полотна. Расчет для участка Карась-Ивлевский-Тальников железнодорожной линии Салехард-Надым

На рисунке 3.1 изображен потенциально опасный участок ПК 3060+00 – ПК 3065+00.

Участок ПК 3060+00 – ПК 3065+00 (далее в расчетах участок помечается как ПК 3062+00).

Длина участка: 500 м

3.2.1 Определение глубины летнего оттаивания и зимнего промерзания пород сверху на ПК 3062+00

Исходные данные

$R^{л}_{покр}$=0,1м^2·С/Вт - летнее термическое сопротивление напочвенного покрова

$R^{з}_{покр}$=0,1м^2·С/Вт - зимнее термическое сопротивление напочвенного покрова

$R_{сн}$=2,5 м^2·С/Вт - среднее термическое сопротивление снежного покрова

$\lambda_м$= 1,8 Вт/м·°С - теплопроводность мерзлого грунта

$\lambda_т$= 1,2 Вт/м·°С - теплопроводность талого грунта

$Q_ф$= 19568 Втч/м^3 - теплота фазового перехода грунта

$\Omega^{л}_{покр}$= 40000 ч – сумма градусо-часов за летний период на дневной поверхности

$\Omega^{з}_{покр}$= -90000 ч - сумма градусо-часов за зимний период на дневной поверхности

Ниже произведен расчет по формулам (3.8 – 3.11), так как на данном участке однослойное основание.

ПК 3062+00

$$\xi_Л = \sqrt{s_Л^2 + \frac{2\lambda_Т \Omega_Л^{покр}}{Q_ф}} - s_Л = \sqrt{0{,}12^2 \frac{2*1.2*40000}{19586}} - 0{,}12 = 2{,}1 \text{ м}$$

$$S_Л = \lambda_Т \cdot R_П^Л = 1{,}2 * 0{,}1 = 0{,}12$$

$$\xi_З = \sqrt{s_З^2 + \frac{2\lambda_М \left|\Omega_З^{покр}\right|}{Q_ф}} - s_З = \sqrt{4{,}68^2 + \frac{2*1{,}2*|-90000|}{19586}} - 4{,}68 = 1{,}06 \text{ м}$$

$$S_З = \lambda_М \cdot (\bar{R}_{СН} + R_П^Л) = 1{,}8(2{,}5 + 0{,}1) = 4{,}68$$

Размер талика = 2,1-1,06= 1,04 м

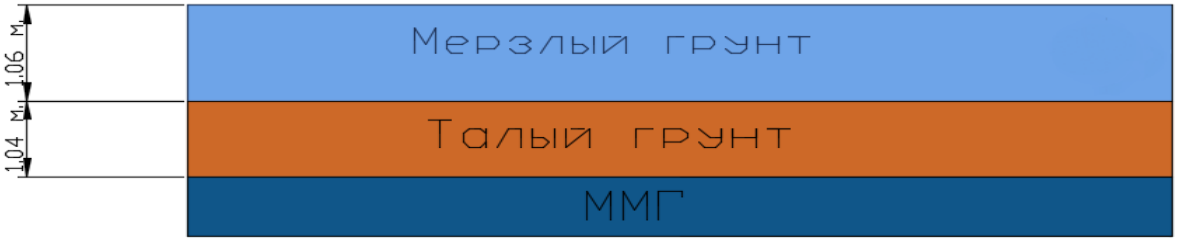


Рис. 3.5. Схема зимнего промерзания грунта на ПК 3062+00

Рис. 3.4. Схема летнего оттаивания грунта на ПК 3062+00

В общем случае значения искомых критических параметров определяются при указанном условии подбором из зависимостей. Некоторые параметры могут быть выражены непосредственно. Это касается, например, величины критического термического сопротивления снега $\bar{R}_{СН}^{КР}$. Выражение для определения указанной характеристики в рамках рассматриваемой расчетной схемы имеет вид:

$$\bar{R}_{СН}^{КР} = \frac{\xi_Л \left(S + \frac{\xi_Л}{2\lambda_{М2}} \right) - m_1 G - \frac{\left|\Omega_З^П\right|}{Q_{Ф2}}}{(m_1 b - \xi_Л)} \qquad (3.15)$$

И для расчета однослойного разреза:

$$R_{сн}^{кр} = \frac{\left|\Omega_з^n\right|}{\xi_л \cdot Q_ф} - \frac{\xi_л}{2\lambda_м} - R_n^з = \frac{|-90000|}{2{,}1*19586} - \frac{2{,}1}{2*1{,}8} - 0{,}1 = 1{,}51 \quad (3.16)$$

В дальнейшем в качестве расчетной толщи основания будет принята верхняя часть деятельного слоя мощностью 1,06 м, сложенная суглинком легким пылеватым текучепластичным.

Вышеприведенный расчет проведен по методике общих норм для оснований и фундаментов. Сравним результаты с расчетом глубины промерзания-оттаивания [10].

Многолетняя средняя сумма градусо-суток отрицательных температур наружного воздуха Ω ≈ 4200°С·сут. Насыпь сооружают на основании из суглинка (влажность на границе текучести W_L=33,5%, плотность сухого грунта ρ_d = 1,42 г/см^3 = 1420 кг/м^3).

Для однослойного глинистого грунта глубину промерзания-оттаивания можно рассчитать по формулам 2.5-2.8 согласно методике, изложенной в справочном пособии П.И. Дыдышко «Проектирование земляного полотна железнодорожного пути» [10]:

$$Z_{пр-от}^{рп} = К_в \alpha Z_{пр-от}^{п}, \quad (3.17)$$

где $К_в$ – коэффициент, характеризующий вид грунта (согласно табл. П6.1 справочного пособия И.П. Дыдышко [10] $К_в$=123 для глинистого грунта для условий сезонного промерзания и несливающейся мерзлоты);

α – коэффициент, учитывающий фактические величины теплофизических характеристик грунта;

$Z_{пр-от}^{п}$ – глубина промерзания однослойного глинистого (пучинистого) грунта, определяемая по кривой $h_п$=0 номограммы на рис 3.6.

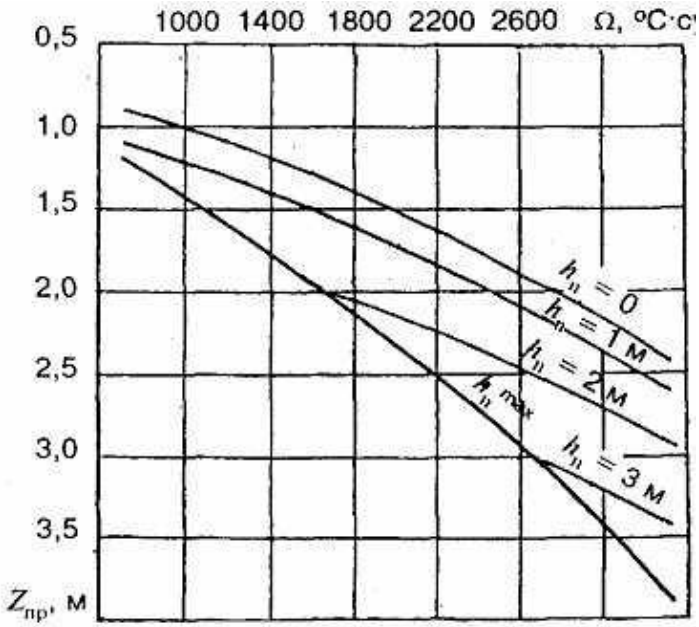


Рис. 3.6. Номограмма для определения глубины промерзания-оттаивания грунтов на участках с сезонным промерзанием или несливающейся мерзлотой в земляном полотне[5]

Согласно кривизне линии $h_п$=0 при Ω ≈ 4200 °С·сут $Z^{п}_{пр-от} = 3{,}29$ м.

При определении глубины сезонного промерзания коэффициент учета фактических величин теплофизических грунтовых характеристик:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda_м}{Q}}. \quad (3.18)$$

При определении глубины сезонного оттаивания:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda_т}{Q}}, \quad (3.19)$$

где $\lambda_м$, $\lambda_т$ – фактические коэффициенты теплопроводности соответсвенно мерзлого и талого грунтов, ккал/(м·ч·°С);

Q – количество теплоты льдообразования, ккал/м^3,

$$Q = \rho_d (W^p/100) i \cdot 80, \quad (3.20)$$

где W^p – расчетная влажность грунта, %, принимаемая W^p=0,8·W_L;

i – коэффициент, характеризующий количество замерзшей воды в грунте, принимаемый 0,9 для суглинка легкого по справочному пособию [10].

В результате расчета получено:

$Z_{\text{пр}}^{\text{п}} = 2{,}7$ м,

$Z_{\text{от}}^{\text{п}} = 1{,}3$ м.

Данные величины мало отличаются от полученных по методике выше, к расчету приняты величины:

- промерзания 2,9 м;

- оттаивания 1,06 м.

3.3 Расчет деформативности основания и устойчивости насыпи на ПК 3062+00

Необходимо произвести расчеты по формулам из учебного пособия «Расчеты и проектирование железнодорожного пути» под редакцией д-ра тех. наук, проф. Виноградова В. В. [35].

Расчет нагрузок деятельного слоя и насыпи, соответственно:

$$P_{\text{д.с.}} = \gamma_{\text{д.с.}} \times h_{\text{д.с.}} = 19{,}4 \times 1{,}06 = 20{,}564 \text{ кН/м}^2 \quad (3.21)$$

$$P_{\text{нас}} = \gamma_{\text{нас}} \times h_{\text{нас}} = 18{,}5 \times 3{,}4 = 64{,}6 \text{ кН/м}^2 \quad (3.22)$$

Расчет критических нагрузок:

$$P_{\text{кр}}^{\text{д.с.}} = \frac{\pi(\gamma h + \text{C}_{\text{д.с.}} \times ctg\varphi_{\text{д.с.}})}{ctg\varphi_{\text{д.с.}} + \varphi_{\text{д.с.}} - \frac{\pi}{2}} + \gamma h = \frac{3.14 \times 18 \times 3.27}{3.27 + 0.296 - 1.57} = 73.312 \text{ кН/м}^2 \quad (3.23)$$

Примечание: так как мы рассматриваем точку в самой вершине деятельного слоя, то $h_{д.с.}=0$, а следовательно и произведение $\gamma h = 0$, по этому они и пропадут в расчете (1.23).

$$P_{\text{кр}}^{\text{т}} = \frac{\pi(\gamma h + \text{C}_{\text{т}} \times ctg\varphi_{\text{т}})}{ctg\varphi_{\text{т}} + \varphi_{\text{т}} - \frac{\pi}{2}} + \gamma h = \frac{3{,}14 \times (19{,}4 \times 1{,}06 + 11 \times 5{,}14)}{5{,}14 + 0{,}192 - 1{,}57} = 64{,}386 \text{ кН/м}^2 \quad (3.24)$$

Примечание*:* для вычисления ctg необходимо брать угол φ в градусах, а для арифметических операций необходимо угол переводить в радианы.

Расчет эксплуатационных нагрузок на деятельный слой и талик, соответственно учебному пособию В.В. Виноградова [35]:

$$P_{Э}^{д.с.} = P_{тр} + P_{ВСП} + P_{нас} = 18{,}7 + 1{,}84 + 64{,}6 = 86{,}14\ кН/м^2 \quad (3.25)$$

$$P_{Э}^{т} = P_{тр} + P_{ВСП} + P_{нас} + P_{д.с.} = 17{,}93 + 1{,}312 + 64{,}6 + 31.43 = 115{,}27\ кН/м^2 \quad (3.26)$$

Расчет нагрузок от подвижного состава и от ВСП производится по формуле учебного пособия В.В. Виноградова [35]:

$$б_{всп/тр} = I_{всп/тр} \times P_{всп/тр} \quad (3.27)$$

где $б_{всп/тр}$ – напряжение от ВСП/подвижного состава ($кН/м^2$); $P_{всп/тр}$ – нагрузка от ВСП/ подвижного состава, действующие на основание насыпи ($кН/м^2$); $I_{всп/тр}$ – табулированное (вспомогательное) число, зависящее от ширины прикладываемой нагрузки $b_{всн/тр}$ (м) и глубины расположения слоя основания $y_{всп/тр.}$, (м)

Значения $I_{всп/тр}$ мы получаем при помощи интерполяции значений приложения 5 данного учебного пособия, отталкиваясь от значений отношения $\frac{y_{всп/тр}}{b_{всп/тр}}$.

Результаты расчета сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2. Значения напряжений от внешних эксплуатационных нагрузок по глубине

$Y_{всп/тр}$, м	Точки сеч-я	$Y_{тр}/b_{тр}$	$Y_{всп}/b_{всп}$	$I_{тр}$	$I_{всп}$	$б_{тр}$, $кН/м^2$	$б_{всп}$, $кН/м^2$
0	1	0	0	1	1	110	16
3,4	2	2,236842	0,94444444	0,170	0,090	18,7	1,84
3,79	3	2,493421	1,05277777	0,163	0,082	17,93	1,312
5,29	4	3,480263	1,46944444	0,112	0,080	12,32	1,28
9,89	5	6,506578	2,74722222	0,100	0,077	11	1,232
	Рвсп	16	Нагрузка от ВСП				
	Рп	110	нагрузка от подвижного состава				
	bп	1,52	ширина нагрузки от подвижного состава (ширина колеи в РФ 1520 мм или 1,52 м)				
	bвсп	3,6	ширина нагрузки от верхнего строения пути (из проекта)				

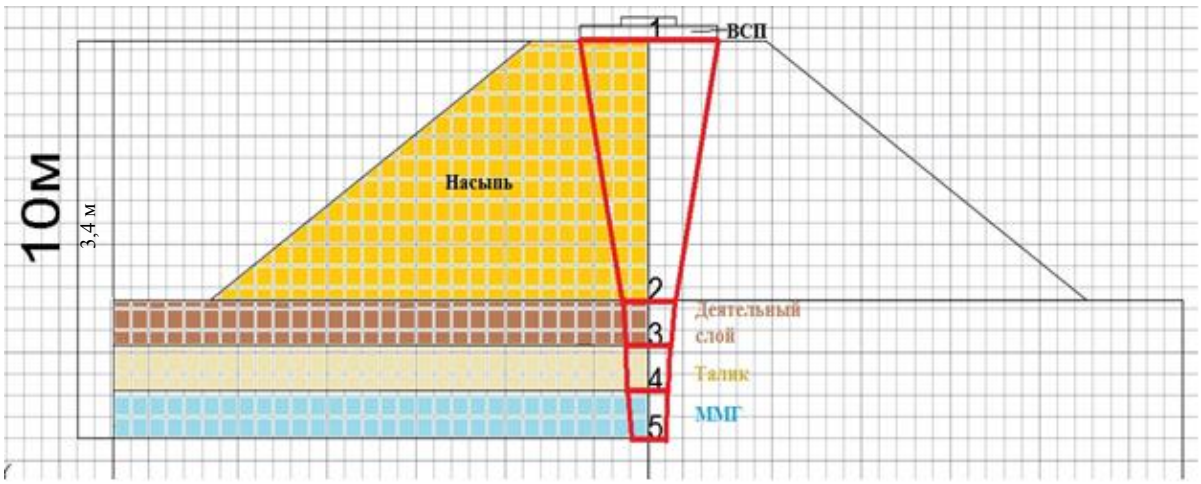


Рис. 3.7. Эпюра напряжений от ВСП на ПК 3062+00

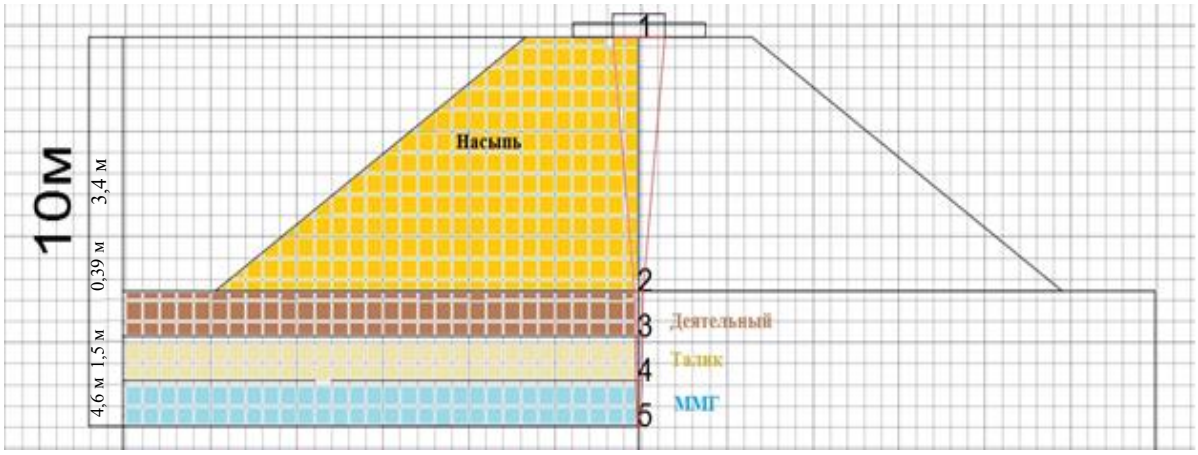


Рис. 3.8. Эпюра напряжений от транспортной нагрузки на ПК 3062+00

Расчет коэффициентов безопасности

Коэффициент безопасности деятельного слоя [35]:

$$K_{\text{без}}^{\text{д.с.}} = \frac{P_{\text{кр}}^{\text{д.с.}}}{P_{\text{э}}^{\text{д.с.}}} = \frac{73{,}312}{86{,}14} = 0{,}688 \qquad (3.28)$$

где $K_{без}^{д.с.}$ коэффициент безопасности деятельного слоя, $P_{кр}^{д.с.}$ - критическая нагрузка, воспринимаемая деятельным слоем ($кН/м^2$), $P_{э}^{д.с.}$ - эксплуатационная нагрузка, действующая на деятельный слой ($кН/м^2$).

Коэффициент безопасности талика [35]:

$$K_{\text{без}}^{\text{т}} = \frac{P_{\text{кр}}^{\text{т}}}{P_{\text{э}}^{\text{т}}} = \frac{64{,}386}{115{,}27} = 0{,}62 \qquad (3.29)$$

где $K_{без}^{т}$ - коэффициент безопасности талика, $P_{кр}^{т}$ - критическая нагрузка, воспринимаемая таликом ($кН/м^2$), $P_{э}^{т}$ - эксплуатационная нагрузка, действующая на талик ($кН/м^2$).

После расчета в ручную мы проверяем ту же насыпь в программных комплексах «GEO5» и «Plaxis».

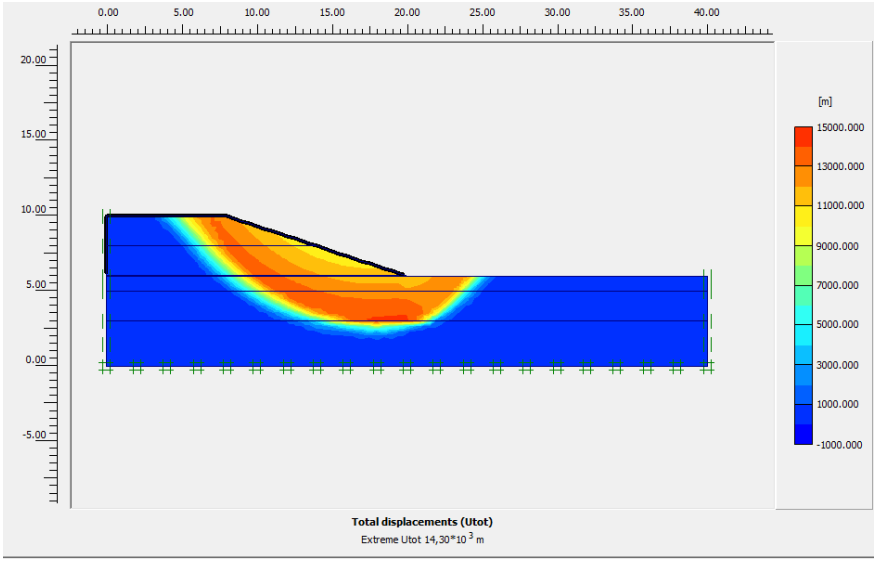


Рис. 3.9. Расчет смещения земляного полотна в программном комплексе «Plaxis»

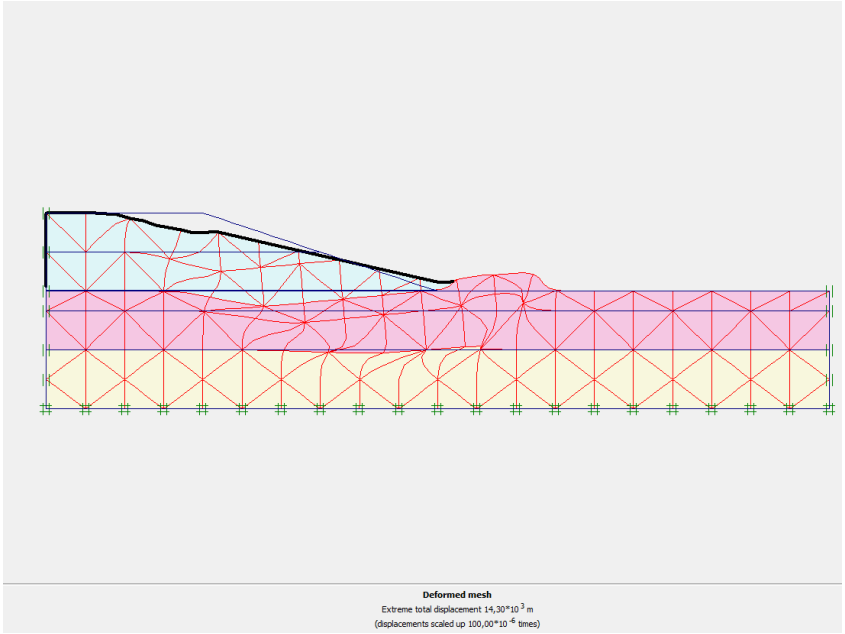


Рис. 3.10. Деформированное состояние насыпи показанное в программном комплексе «Plaxis»

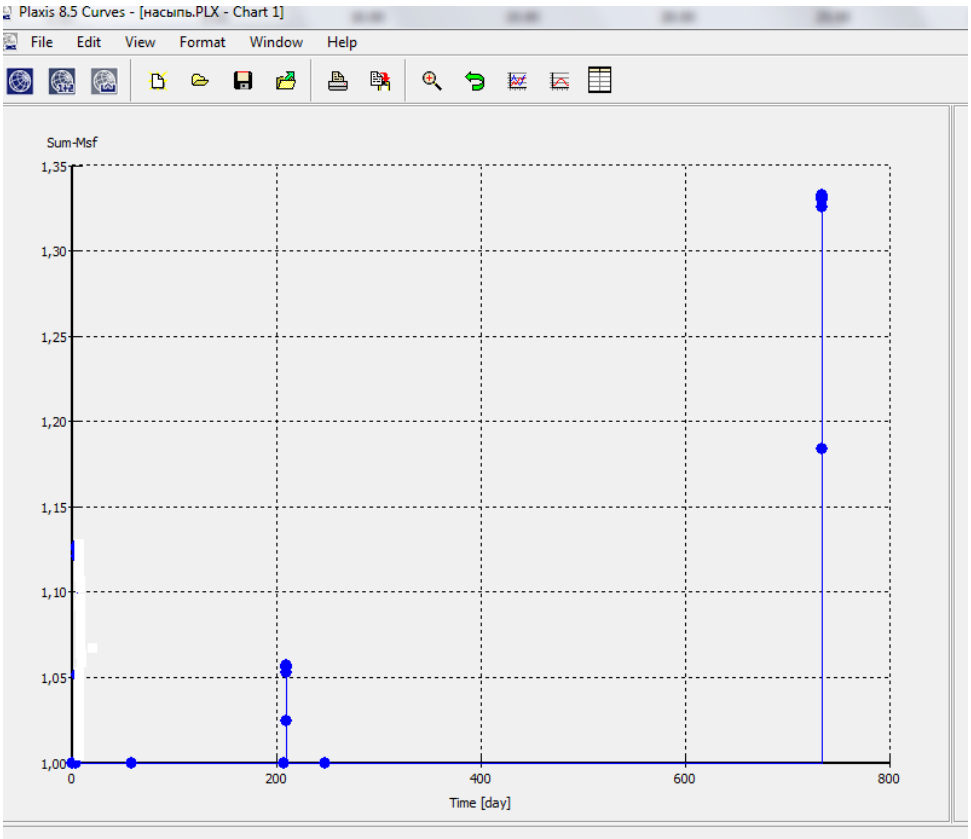


Рис. 3.11. Изменение коэффициента стабильности со временем после процесса консолидации

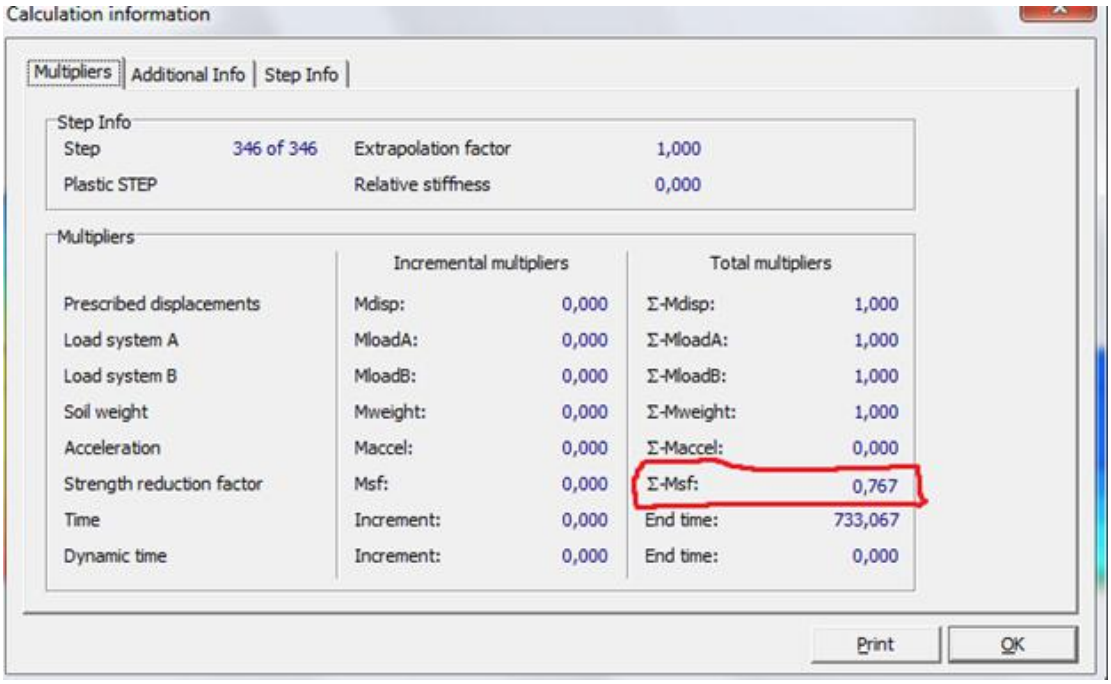


Рис. 3.12. Расчет коэффицента стабильности в программном комплексе «Plaxis»

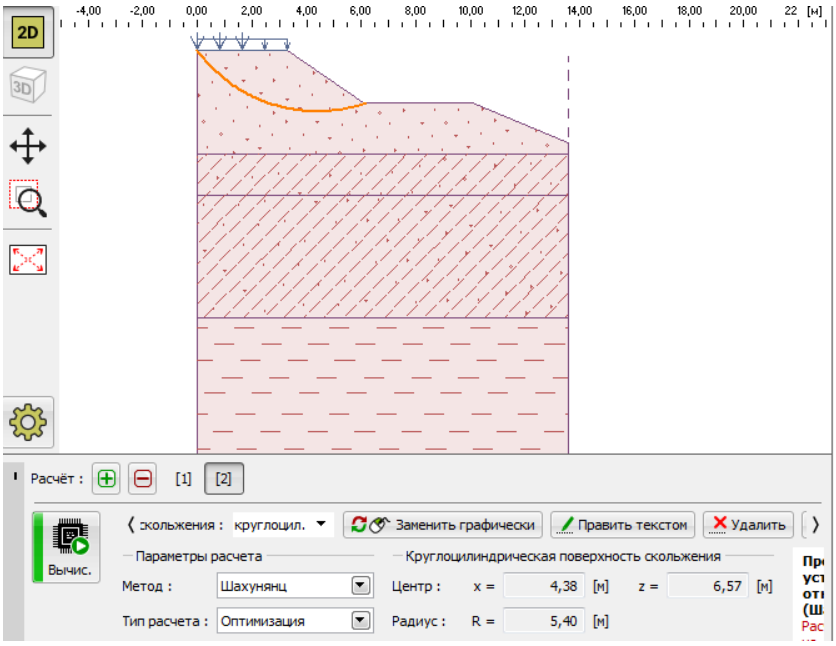


Рис. 3.13. Расчет коэффициента устойчивости в программном комплексе «GEO5»

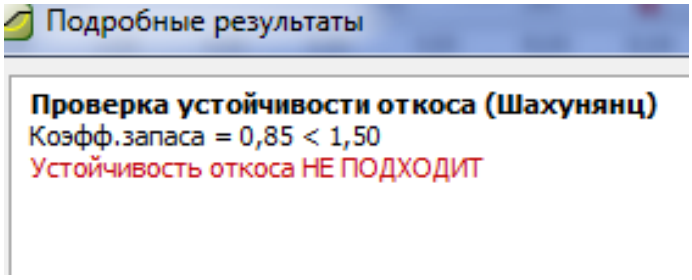


Рис. 3.14. Расчет коэффициента устойчивости в программе «GEO5»

Проведя данные расчеты, отталкиваясь от показателей коэффициентов безопасности, можем сделать вывод, что данное основание не является безопасным для возведения и эксплуатации насыпи на данном участке. Следовательно, требуется упрочнение грунтов основания методом применения интенсивной технологии.

3.4 Исследовательский раздел. Повышение прочности основания земляного полотна на просадочных многолетнемерзлых грунтах (ММГ) на участке ПК 3060+50 – ПК 3065+50 железнодорожной линии Салехард – Надым

Расчеты исследовательского раздела выполнены по методике, разработанной проф. Луцким С.Я. и Хрипковым К.Н [19].

3.4.1 Классификация участков земляного полотна по фактору потенциальной нестабильности основания

В соответствии с нормами [2] естественные основания земляного полотна по степени их деформативности следует разделять на прочные, недостаточно прочные, слабые и просадочные в зависимости от величины относительной осадки вечномерзлых грунтов при их оттаивании (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Классификация грунтов оснований по просадочности

Тип (категория) и название основания	Величина относительной осадки, м	Основные виды и состояние грунтов основания
I. Прочное	$\delta < 0{,}03$	Скальные породы, крупнообломочные и песчаные грунты без включений льда; глинистые талые грунты твердой и полутвердой консистенции
II. Недостаточно прочное	$0{,}03 < \delta < 0{,}1$	Глинистые грунты тугопластичной, мягкопластичной и текучепластичной консистенции, а также песчаные и крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем при наличии в них прослоев или линз льда суммарной толщиной до 0,1м в каждом слое мощностью 1 м исследуемой вечномерзлой толщи основания
III. Слабое	$0{,}1 < \delta < 0{,}4$	Глинистые и торфяные грунты текучепластичной и текучей консистенции, а также песчаные и крупнообломочные грунты при наличии в них линз или отдельных прослоев льда суммарной толщиной до 0,4 м в каждом слое мощностью 1 м исследуемой вечномерзлой толщи основании

Продолжение таблицы 3.4.

IV. Просадочное	$\delta > 0{,}4$	Глинистые грунты текучей консистенции и торфяные отложения, а также грунты всех видов с наличием подземного льда суммарной мощностью более 0,4 м в каждом слое толщиной 1 м исследуемой вечномерзлой толщи основания

Для перегона Ивлевский-Тальников железнодорожной линии «Салехард-Надым» по данным, полученным в результате инженерных изысканий выполнена (на основании критериев просадочности грунтов) классификация потенциально опасных нестабильных участков. Сведения об их местоположении приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Типизация потенциально опасных участков на перегоне Ивлевский-Тальников

№ п/п	Пикет	№ скважины	Тип выявленного в скважине основания (категория просадочности)
1	2919+00	234	III
2	2927+15	234	III
3	2932+70	991	III
4	2956+90	992	III
5	2996+50	993	III
6	3008+80	123	III
7	3011+80	991	III
8	3022+85	992	III
9	3038+00	991	III
10	3042+18	993	III
11	3050+00	991	III

3.4.2 Стадия 1. Постановка задачи интенсивной технологии

В соответствии с рекомендациями [17] проектирование интенсивной (композитной) технологии заключается в выборе таких технологических параметров, которые обеспечат в совокупности улучшение эксплуатационных качеств (характеристик) основания земляного полотна:

- уменьшение и последующее затухание осадки (S);
- рост модуля деформации (E);
- повышение прочностных характеристик грунта (C, φ).

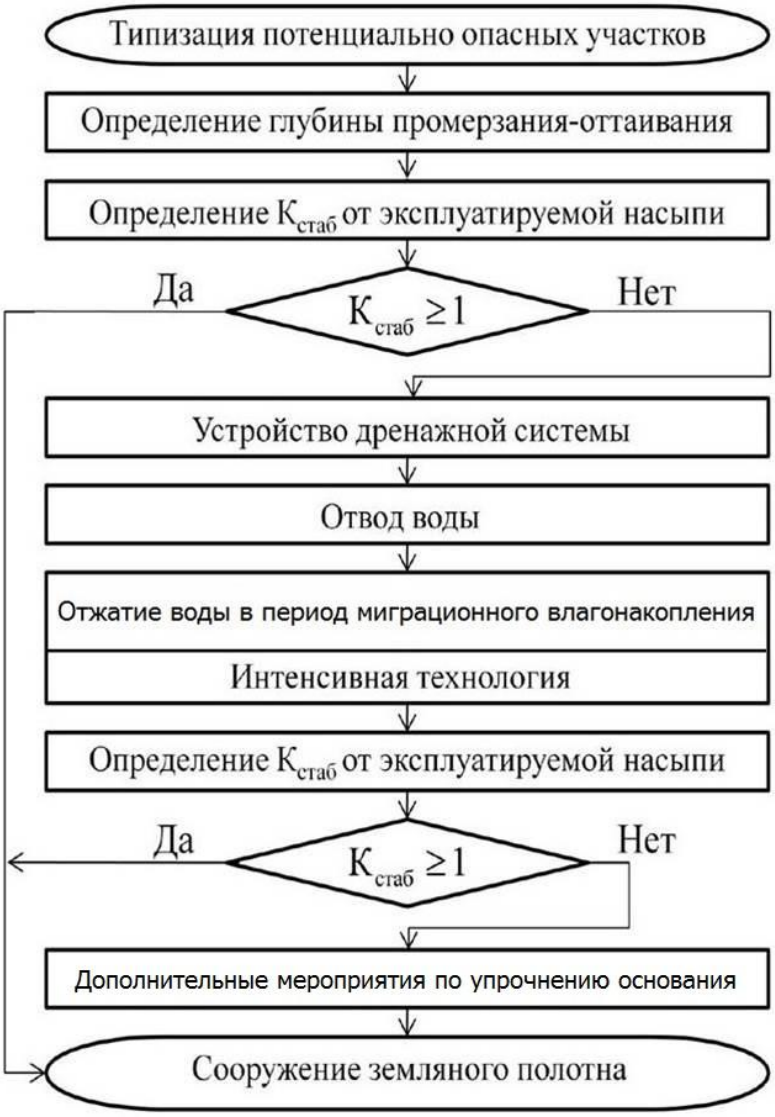


Рис. 3.15. Технологическая схема работ по сооружению земляного полотна на просадочном основании на перегоне Ивлевский-Тальников

Интенсивное уплотнение грунтов осуществляется в летний период, когда полностью оттает промерзающий слой грунта. Эти мероприятия по проведению интенсивной технологии запроектированы по методике С.Я. Луцкого [17].

Физико-механические характеристики грунтов основания на ПК 3062+00 представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5. Физико-механические характеристики грунтов основания на ПК 3062+00

Описание инженерно-геологического элемента	Показатель	Влажность естественная We, д.е.	Плотность			Коэф-т пористости e (д.е.)	Степень влажности S_r (д.е.)	Пластичность			Показатель текучести I_L (д.е.)	Модуль деформации E, МПа	Сцепление C, МПа	Угол внутреннего трения ϕ, град	Расчетное сопротивление R0, кПа
			частиц грунта P_s (г/см3)	влажн. грунта P (г/см3)	сухого грунта, P_d (г/см3)			на гр. текуч. W_L (д.е.)	на гр. раскат. W_p (д.е.)	число пласт I_p (д.е.)					
Суглинок текучепластичный	нормативное значение	0,335	2,73	1,90	1,42	0,92	1,00	0,36	0,26	0,1	0,75	10,00	0,014	25	100

3.4.3 Определение времени промерзания защитного слоя толщиной 1 м

Устройство защитного слоя для проезда техники нужно обеспечить в начале промерзания в зимнее время. После отсыпки защитного слоя необходимо узнать время его промерзания.

Время промерзания защитного слоя устанавливают с учетом его толщины, влажности и средней температуры воздуха за период промерзания.

Время промерзания $t_{пр}$ (ч) вычисляют по формуле:

$$t_{пр} = h_{сл} e^{(-0,0029W+0,16)t+5,7} \quad (3.30)$$

где $h_{сл}$ - толщина отсыпаемого защитного слоя, м;

e - основание натурального логарифма, e = 2,72;

W - влажность грунта, %;

t - температура воздуха, °С.

Значения для расчета представлены ниже:

- толщина отсыпаемого защитного слоя из песка – 1 м;
- влажность грунта – 33,5%;
- температура воздуха -3°С.

$$t_{пр} = 1 * 2,72^{(-0,0029*33,5+0,16)*(-3)+5,7} = 248,34 \text{ ч} = 10,33 \text{ дн}$$

3.4.4 Расчет миграционного влагонакопления дренажной системы в период промерзания

Миграционная влажность w_{mg} характеризует приращение влаги в единице объема промерзающего связного грунта за счет перераспределения начальной влажности и вследствие подтока влаги из смежных зон талого грунта. Такое влагонакопление в промерзающем грунте, которое является главной причиной интенсивного пучинообразования и избыточного льдовыделения, определяется по [36]:

$$w_{mg} = k_b I_t \eta \frac{(w-w_{cr})^2}{w_p} \Psi_t = B\Psi_t, \quad (3.31)$$

где w_{cr} – критическая влажность пучения,

I_t – температурный импульс, возбуждающий движение влаги в промерзающем грунте;

η – табулированный коррелятивный параметр, выражающий связь между температурой и содержанием незамерзшей воды в зоне промерзания (пучения) равный для суглинка 3,8 (согласно табл. 3.3);

w_p – влажность на границе раскатывания,

k_b – параметр, выражающий отношение коэффициентов влагопроводимости талого и мерзлого грунта;

Рассмотрим подробнее каждый составляющий параметр величины миграционной влаги.

Критическая влажность пучения w_{cr} характеризует такое предельно стабильное состояние немерзлого глинистого грунта, при котором содержание связанной воды практически не влияет на ее подвижность в промерзающем и нижележащем талом грунте. Критическая влажность определяется по формуле:

$$w_{cr} = \frac{1}{2\rho_s}\left(\sqrt{1+3\rho_s w_L(1+\rho_s w_L)\exp(-2,8I_p)}-1\right) \quad (3.32)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта,

w_L – влажность грунта на границе текучести.

Значение $\exp(-2,8I_p)$ в зависимости от числа пластичности грунта I_p, может быть определено аналитически ($\exp(-2,8I_p)$=0,771) [36].

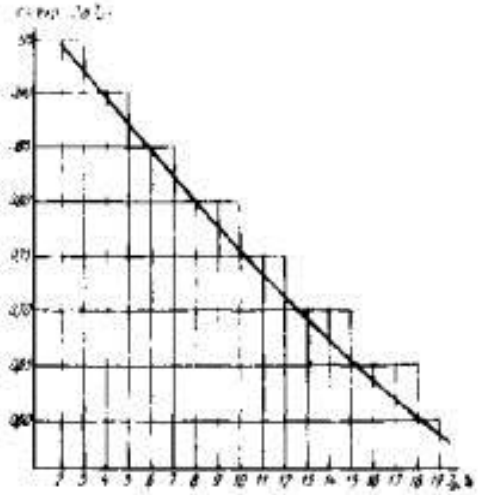


Рис. 3.16. Значение параметра $c = \exp(-2{,}8\, I_p)$

Тогда

$$w_{cr} = \frac{1}{2 \cdot 2{,}73}\left(\sqrt{1 + 3 \cdot 2{,}73 \cdot 0{,}36(1 + 2{,}73 \cdot 0{,}36) \cdot 0{,}882} - 1\right) = 0{,}258 \text{д.е.}$$

Для облегчения расчетов критическая влажность w_{cr} может быть определена по рис 3.17. на основе данных о водно-физических свойствах грунта [30].

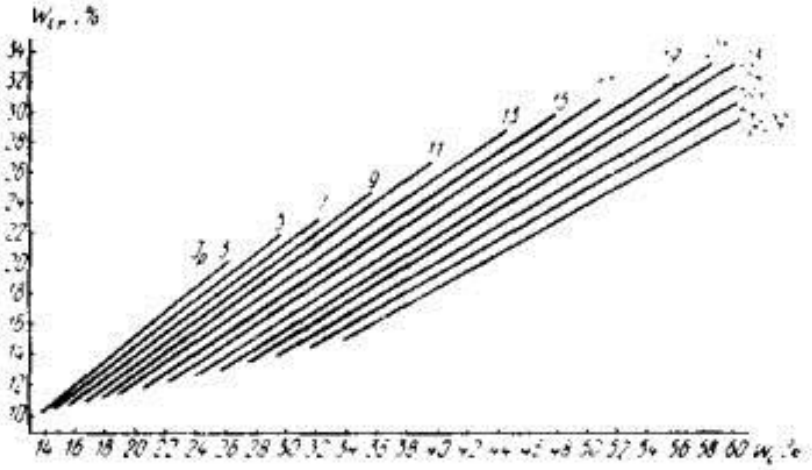


Рис. 3.17. Значение критической влажности w_{cr} в зависимости от числа пластичности I_p и передела текучести w_L грунта (при $\rho_s = 2{,}73\ т/м^3$)

Температурный импульс, который возбуждает движение влаги в промерзающем слое основания, рассчитывается по следующему выражению:

$$I_t = \frac{T_0}{T_{opt}}, \qquad (3.33)$$

где T_0 - расчетная температура у поверхности грунта, °С, и приравненная средней за период промерзания температуре охлаждающей среды;

T_{opt} - расчетная, оптимальная для миграции влаги температура охлаждающей среды, °С,

$$T_{opt} = \sqrt[3]{T_{up}(\nabla T_{cr}\psi d_f)^2}, \qquad (3.34)$$

где T_{up} - температура зоны промерзания, при которой прекращается пучение грунта, °С (см. табл. 3.3);

∇T_{cr} - значение критического градиента температуры в зоне промерзания, равное в среднем 10°С/м (0,1°С/см);

d_f - глубина промерзания грунта, м;

ψ -коэффициент, определяемый по соотношению $F\left(\frac{T_{up}}{T_0} \approx 0,2; \frac{w}{w_{cr}} \approx 1,5\right)$.

Таблица 3.6. Значения параметров η, k_w (T_{up}) и температуры прекращения пучения T_{up} различных видов пучинистого грунта

Наименование вида грунта	Число пластичности грунта I_p	Температура прекращения пучения T_{up}	Значение параметра η	Значение коэффициента k_w при температуре грунта T,°С								
				-0,3	-0,5	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10
Супесь	$0,02 < I_p \leq 0,07$	-1,5	3,55	0,6	0,5	0,4	0,35	0,33	0,3	0,28	0,26	0,25
Супесь пылеватая		-2	5									
Суглинок	$0,07 < I_p \leq 0,13$	-2	4,25	0,7	0,65	0,6	0,5	0,48	0,45	0,43	0,41	0,4
Суглинок пылеватый		-2,5	5									
Суглинок	$0,13 < I_p \leq 0,17$	-2,5	3,8	-	0,75	0,65	0,55	0,53	0,5	0,47	0,46	0,45
Суглинок пылеватый		-3	5,35									
Глина	$I_p > 0,17$	-4										

Для оценки коэффициента ψ грунта основания насыпи (суглинка) использованы графики, представленные на рис. 3.18.

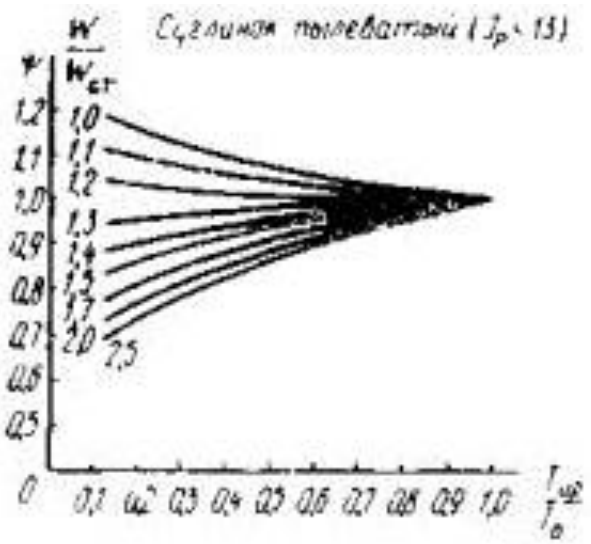


Рис. 3.18. Определение коэффициента ψ для суглинка (при I_p=9,5)[30]

Из графика видно, что ψ =0,8.

Тогда

$$T_{opt} = \sqrt[3]{(-2,5)((-10)\cdot 0,8\cdot 1,03)^2} = -8,323^0 C$$

Температурный импульс, возбуждающий движение влаги в промерзающем грунте будет равен:

$$I_t = \frac{(-13,7)}{(-8,323)} = 1,65$$

Найдем коэффициент пропорциональности, характеризующий зону одновременного пучения грунта:

$$\Psi_t = \Psi\sqrt{\frac{T_{up}}{T_0}} \qquad (3.35)$$

$$\Psi_t = 0,8\sqrt{\frac{(-2,5)}{(-13,7)}} = 0,342$$

Подставив найденные выше значения w_{cr}, Ψ, I_t, η получим влагонакопление в промерзающем слое грунта за счет перераспределения изначальной влажности:

$$w_{mg} = 1 \cdot 1,65 \cdot 4,25 \cdot \frac{(0,335 - 0,258)^2}{0,26} \cdot 0,148 = 0,024 д.е.$$

Величина усадки деятельного слоя за счет перераспределения начальной влаги определяется по формуле согласно [36]:

для s_r>0,95

$$-s_f(p_g) = 0,4 \cdot 10^{-5} E^{-1} p_s d_f^2, \quad (3.36)$$

где где $s_f(p_g)$ – усадка грунта, м;

p_s – плотность частиц грунта, кг/м^3;

E – модуль деформации грунта, МПа;

d_f - глубина промерзания, м.

$$-s_f(p_g) = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 2,73^{-1} \cdot 2740 \cdot 1,04^2 = 0,01 м.$$

Зависимость морозного пучения от мощности промерзающего слоя по сезонам d_f, как от воздействия внешнего давления (нагрузки) проявляется с помощью воздействия массы мерзлого грунта на физико-механические процессы, которые протекают при перераспределении воды в подстилающих слоях грунта талого и приводят к его усадке.

3.4.5 Расчет морозного пучения грунта на участке ПК 3060+50 – ПК 3065+50

Под общей деформацией пучения h_f понимается величина значения вертикального перемещения поверхности промерзающего грунта относительно своего первоначального положения [36]. Общая деформация пучения пород определяется соотношением деформирования за счет массивного распучивания, сегрегационного льдовыделения и усадки в мерзлой зоне:

$$h_f = \frac{\rho}{\rho_s} d_f i_{ef} - s_f(p_g) \qquad (3.37)$$

где ρ, ρ_s - плотность естественного сложения и частиц грунта соответственно;

d_f - мощность сезонного промерзания грунта;

$s_f(p_g)$ - усадка грунта под действием мерзлого грунта;

i_{ef} - избыточное льдовыделение.

При оценке морозоопасности грунтов по их влажностному режиму, помимо определения влажности немерзлого грунта в пределах сезоннопромерзающего слоя ($w_{д.с.}$), следует выявить влажность предела пучения немерзлого грунта (w_{pr}).

Влажность предела пучения характеризует такое предельно стабильное состояние немерзлого грунта трехфазной системы (скелет-вода-воздух), при котором заполнение воздушных пор льдом, в процессе кристаллизации воды, не вызывает возможного увеличения объема грунта.

Расчет влажности предела пучения выполнен по методике [36]:

$$w_{pr} = 0,92 \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s \rho_d} + 0,08 w_w(T_{up}), \qquad (3.38)$$

где ρ_s ; ρ_d – соответственно плотность скелета немерзлого грунта и твердых частиц, т/м^3 (г/см^3);

$w_w(T_{up})$ - содержание (по массе) незамерзшей воды в мерзлом грунте, доли единицы, при температуре, равной 0,5 T_{up}, (где T_{up} - минимальная температура зоны промерзании, при которой прекращается пучение грунта (см. табл. 3.3)).

$$w_{pr} = 0,92 \cdot \frac{2,73 - 1,9}{2,73 \cdot 1,9} + 0,08 \cdot 0,06 = 0,152 д.е.$$

Анализируя полученные результаты, можно сделать выводы, что значение влажности грунта незамерзшего деятельного слоя на участке ПК 3060+50 – ПК 3065+50 соответствует выражению $w_{pr} \le w$ (0,152<0,335),

следовательно, необходимо уменьшить влажность деятельного слоя для устранения возможности образования морозного пучения.

Предварительно рассчитаем величину морозного пучения и определим степень пучинистости грунта на участке ПК 3060+50 – ПК 3065+50.

Для расчетного грунта основания с начальной влажностью *w* в осенний период, превышающей влажность предела пучения, избыточное льдовыделение i_{ef} оценивается по формуле:

$$i_{ef} = 0,09\left[w - w_w(T_{up})\right] + 1,09 w_{mg} \ , \qquad (3.39)$$

где $w_w(T_{up})$ - содержание незамерзшей воды в промерзающем грунте;

w_{mg} - миграционная влажность в пределах слоя промерзающего грунта.

Отсюда избыточное льдовыделение будет равно:

$$i_{ef} = 0,09\left[0,335 - 0,258\right] + 1,09 \cdot 0,024 = 0,03$$

Величина пучения будет соответствовать следующему значению:

$$h_f = \frac{1,90}{2,73} \cdot 1,04 \cdot 0,03 - 0,01 = 0,054 м$$

Все грунты в зависимости от их гранулометрического состава подразделяются на морозоопасные (пучинистые) и неморозоопасные (непучинистые) системы. В свою очередь все морозоопасные грунты в зависимости от содержания тонких фракций, условия увлажнения и промерзания могут быть подразделены по степени пучинистости на следующие группы, в которых основным показателем градации принят модуль пучения [36]:

Таблица 3.7. Степень пучинистости грунтов

потенциально пучинистые (условно непучинистые)	$m_f = 0$
слабо пучинистые	$0 < m_f \leq 3,5$
среднепучинистые	$3,5 < m_f \leq 7$
сильнопучинистые	$7 < m_f \leq 12$
чрезмернопучинистые	$m_f > 12$

Определим морозоопасность и модуль пучения на участке строительства ПК 3060+50 – ПК 3065+50.

Численно модуль пучения равен:

$$m_f = \frac{100\bar{f}}{(1-\bar{f})}\ , \qquad (3.40)$$

где $\bar{f}$ - значения средней интенсивности пучения

$$\bar{f} = \frac{h_f}{d_f} \qquad (3.41)$$

Отсюда модуль пучения равен:

$$m_f = \frac{100 \cdot \frac{0,054}{1,04}}{(1-\frac{0,054}{1,04})} = 5,48$$

Согласно табл. 3.7 грунт основания (суглинок) является среднепучинистым.

В процессе интенсивного уплотнения деятельного слоя изменение его влажности можно определить по следующему выражению:

$$W = W_{пр} - \frac{W_{пр} \cdot S}{h}\ , \qquad (3.42)$$

где $W_{пр}$ - влажность расчетного слоя, д.е.

S - осадка за расчетный период, м

h - мощность расчетного слоя, м

$$W = 33,5 - \frac{33,5 \cdot 0,07}{1,04} = 28,9\%$$

Результаты расчета показали, что за весь период промерзания произошло некоторое перераспределение влаги в деятельном слое. Соответственно, с изменением влажности грунта, изменятся и прочностные характеристики грунта.

По данным натурного наблюдения, которое было проведено научной экспедицией Мерзлотной лаборатории, установлено, что основание из

суглинка мощностью 2 м промерзает за 42 дня, тогда скорость промерзания $v_{пром}$ будет равна 0,049 м/сут.

Отсюда срок промерзания деятельного слоя мощностью 1,04 м будет соответствовать следующему значению:

$$T_З = \frac{\zeta_З}{v_{пром}} = \frac{1,04}{0,049} = 21,2 дня \approx 21 дней$$

Уменьшение влажности деятельного слоя приводит к повышению прочностных характеристик в соответствии с закономерностями, установленными в [10]. При уменьшении влажности глинистых грунтов сцепление существенно возрастает. Также снижается показатель консистенции $B_к$, характеризующий степень подвижности частиц грунта при различной влажности, который определяется по формуле:

$$B_k = \frac{W - W_p}{I_p}, \qquad (3.43)$$

где W - естественная влажность грунта, д.е.;

W_p - влажность на границе раскатывания, д.е.,

I_p - число пластичности.

$$B_k = \frac{0,336 - 0,335}{0,07} = 0,37$$

Изменение угла внутреннего трения ϕ можно отследить по номограмме, взятой из [10]:

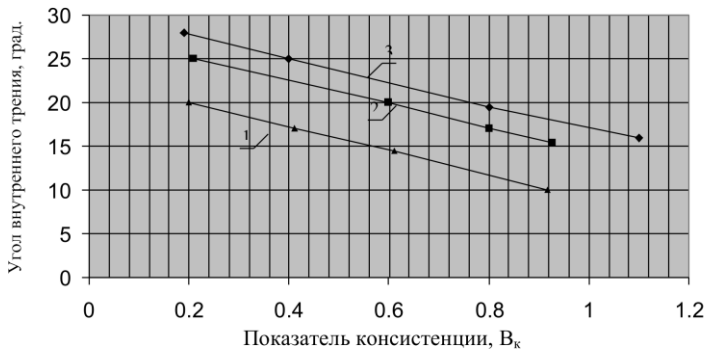


Рис. 3.19. Зависимость угла внутреннего трения от показателя консистенции $B_к$ (1-глина; 2-суглинок; 3-супесь)

Анализ номограммы показывает, что угол внутреннего трения деятельного слоя при уменьшении влажности увеличивается.

Изменение сцепления С можно определить по зависимости его изменения от влажности по рис. 3.20. согласно статьи Д.В. Евстифеева [11]:

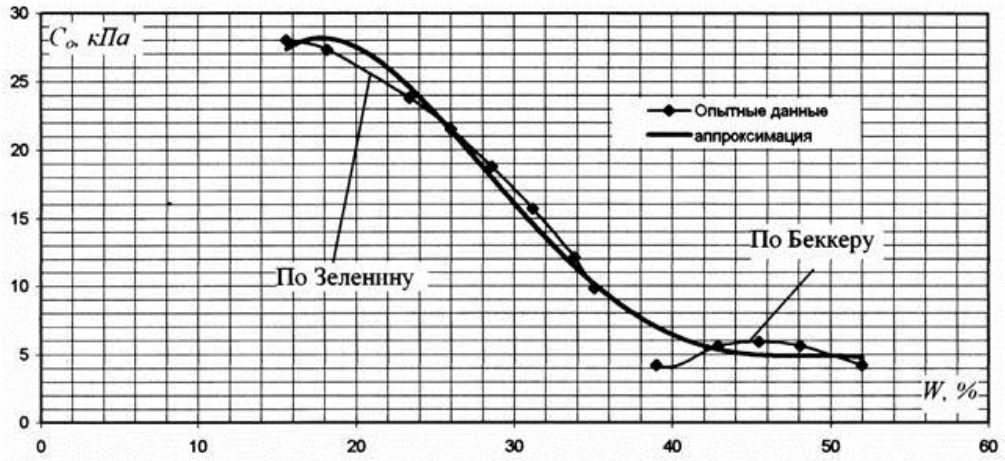


Рис. 3.20. Зависимость сцепления грунта от его влажности

3.4.6 Снижение накопленной влажности грунтов на основе дренажной системы на участке ПК 3060+50-3065+50

Снижение влажности деятельного слоя происходит в процессе оттаивания.

После оттаивания слоя распученного грунта возможен негативный процесс – свободная вода возвращается в грунт основания, повышает его влажность. Циклический характер перемещения воды в грунте основания насыпей в течение года позволяет поддерживать в нем высокую влажность длительное время. В результате просадки грунтов продолжаются десятилетиями [27].

Целесообразно регулировать этот природный процесс за счет интенсивной технологии, не дав воде из оттаивающего распученного грунта возвращаться в грунт основания, и тем самым повысить стабильность будущей насыпи.

Для этого устраивают дренажную систему, модифицированную интенсивной технологией, которая способствует улучшению прочностных и деформационных характеристик грунтов деятельного слоя [27]. Дренажная система включает устройство боковых водоотводных канав и защитного слоя. Она позволит в период оттаивания отвести накопленную влагу за пределы строительной площадки.

Вода к дренажу будет перемещаться, поскольку оттаявший грунт имеет комковатую структуру и, следовательно, высокий коэффициент фильтрации. К тому времени, когда сезонно-мерзлый слой полностью оттает, его толща при помощи дренажного устройства освободится от воды, и в грунт основания большая ее часть не вернется. Дренаж обеспечит сбор и отвод талых и дождевых поверхностных вод [27].

Для установления эффективности работы дренажных устройств необходимо произвести расчеты снижения влажности грунта деятельного слоя.

Уменьшение влажности в деятельном слое (ΔW) определяется следующим выражением [25]:

$$\Delta W = n \cdot \frac{\gamma_в}{\rho_d} - (1+\alpha) \cdot W_p \ , \qquad (3.44)$$

где n - пористость грунта, %;

$\gamma_в$ - плотность воды;

ρ_d - плотность скелета грунта, $т/м^3$;

α - количество капиллярно застрявшей воды в долях;

W_p - влажность на границе раскатывания, д.е.

$$\Delta W = 0,92 \cdot \frac{10}{14,2} - (1+0,1) \cdot 0,26 = 6,61\%$$

Из-за уменьшения влажности деятельного слоя в период морозного пучения и оттаивания, за счет отвода накопленной защитным слоем воды за пределы строительной площадки, изменились и прочностные характеристики грунта. Новые значения характеристик грунта деятельного слоя представлены в таблице ниже.

Таблица 3.8. Характеристики грунта (ПК 3062+00) до и после осадки

	Деятельный слой		Талик	
	Начальные	После оттаив.	Начальные	После оттаив.
Влажность, W	0,335	0,289	0,335	0,335
Сцепление, С	14	17	9	9
Угол вн. тр., φ	25	26	16	16
Плотность, ρ	1,42	2,088	1,42	1,42
Коэф. без., $K_{без}$	0,69	0,87	0,62	0,62

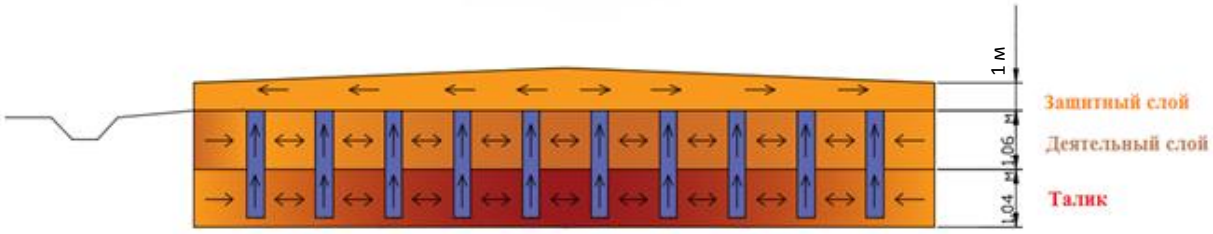


Рис. 3.21. Схема миграции воды на ПК 3062+00

3.5 Стадия 2. Выбор катка для производства работ и расчет действующих в толще основания напряжений на участке ПК 3060+50 – ПК 3065+50

Второй этап интенсивной технологии заключается в упрочнении грунтов основания при помощи их уплотнения за счет дополнительной внешней нагрузки, а именно от грунтовых катков, что увеличивает степень консолидации и уменьшает влажность несущих грунтов.

Важно учитывать несущую способность каждого из слоев основания по глубине заложения и распространение напряжений, возникающих при дополнительном воздействии на них, для того чтобы при упрочнении избежать провала техники [17].

Определим напряжение от насыпного защитного слоя. Используем песок средней фракции, с объемным весом ($\gamma_{нас}$) = 18,5 кН/м^3 и высотой ($h_{з.с.}$)=1 м [11].

$$P_{з.с.} = \gamma_{нас} \cdot h_{з.с.} = 18{,}5 \text{ кН/м}^2 \quad (3.45)$$

Критические нагрузки для деятельного слоя и талика определяются по формуле Н.П. Пузыревского:

$$P_{кр}^{д.с.} = \frac{\pi(\gamma h + C_{д.с.} \times ctg\varphi_{д.с.})}{ctg\varphi_{д.с.} + \varphi_{д.с.} - \frac{\pi}{2}} + \gamma h = \frac{3.14 \times 17 \times 1{,}88}{1{,}88 + 0.489 - 1.57} = 117{,}16 \frac{кН}{м^2} \quad (3.46)$$

где ϒд.с. – средний объемный вес грунта деятельного слоя = 19,4 кН/м^3; фд.с. – угол внутреннего трения грунта деятельного слоя = 26 (0,489) град. (рад.); Сд.с. – сцепление грунта деятельного слоя = 17 кН/м^2; hд.с. – мощность деятельного слоя = 1,06 м.

$$P_{кр}^{т} = \frac{\pi \cdot (\gamma \cdot h + C_т \cdot ctg\varphi_т)}{ctg\varphi_т + \varphi_т - \frac{\pi}{2}} + \gamma h = \frac{3{,}14 \cdot (19{,}4 \cdot 1{,}06 + 9 \cdot 3{,}49)}{3{,}49 + 0{,}279 - 1{,}57} = 94{,}819 \text{ кН/м}^2 \quad (3.47)$$

где ϒт – средний объемный вес грунта талика = 19,4 кН/м^3; фт – угол внутреннего трения грунта талика = 16 (0,279232) град. (рад.); Ст – сцепление грунта талика = 9 кН/м^2; hт – мощность талика = 1,04 м [10].

Для начала строительства выберем каток, позволяющий уплотнять грунты основания. Возьмем в качестве строительной техники грунтоуплотняющий каток HAMM 2520D со следующими характеристиками:

- масса, т – 12;
- вынуждающая сила, кН – 104;
- ширина вальца, м – 2,2;
- частота вибрации, Гц – 30-33;
- общая нагрузка от катка, кН – 224.

Нагрузка от катка на поверхность деятельного слоя определяется:

$$P_K = \frac{M_K}{d \cdot l}, \qquad (3.48)$$

где $M_к$ – общая масса катка с учетом вынуждающей силы, кН;

d – ширина следа от катка, м;

l – ширина вальца виброкатка, м;

$$P_K = \frac{M_K}{d \cdot l} = 213,3 кН / м^2$$

Из расчета видно, что нагрузка от катка значительно (более чем в 2 раза) превышает безопасную (максимально допустимую) нагрузку на основание. Более легкий каток принимать не следует, так как увеличится время уплотнения основания.

Рассмотрим вариант армирования защитного слоя геотекстилем (с применением более тяжелого катка) [26].

Исходные данные:

- каток RV-17, DT (характеристики представлены в табл. 3.9)
- толщина насыпного слоя $h_н$ = 1 м;
- размер отпечатка вальца D_o = 0,5 м;
- нагрузка от катка с учетом вынуждающей силы на низкой амплитуде P_k=372,73 кПа;

Таблица 3.9. Технические характеристики катка RV-17, DT

Масса конструктивная, кг	16700
Масса эксплуатационная, кг	17000
Скорость рабочая, вперед/назад, min, км/ч	6
Скорость транспортная, вперед/назад, min, км/ч	10
Ширина уплотняемой полосы, мм	2200
Частота колебаний вибратора, Гц	28/35
Уплотняющее усилие, кН	350/240
Линейное статическое давление вальца, кН/м	57
Амплитуда колебаний вальца, мм	1,9/0,9
Угол поперечной устойчивости, min, град.	15
Преодолеваемый подъем, min, %/ град.	45/24
Среднее время работы без дополнительной заправки топливом, ч	10
Тип двигателя	DEUTZ BF06M 2012C
Мощность двигателя, кВт	155
Тип трансмиссии	гидравлическая
Габаритные размеры	
Длина, мм	6350
Высота в рабочем состоянии, мм	3000
Диаметр вальца/колеса, мм	1600/1480
Угол поворота, град.	±37

Физико-механические характеристики грунтов насыпи и основания участка ПК 3060+00 – ПК 3065+00:

- удельный вес насыпного грунта $\gamma_н$ =18,15 кН/м^3;
- угол внутреннего трения грунта насыпи $\varphi_н$ = 31^0 (песок пылеватый);

- удельное сцепление грунта основания C = 19,5 кПа;
- угол внутреннего трения грунта основания φ =18,7^0;
- модуль деформации грунтов основания $E_{осн}$ = 2450 кПа.

Порядок расчёта

Выбор материала для армирования защитного слоя выполняется последовательной оценкой и приближением прочностных характеристик. Зададим нетканый иглопробивной термоскреплённый гидроизоляционный (для исключения обратной инфильтрации влаги) геотекстиль Terrasafe 4000 с условным модулем деформации $E_{ГС}$ = 18 кН/м.

Нагрузка от собственного веса грунта:

$$P_Г = \gamma_н h_н = 18,15 \cdot 1 = 18,15 \text{ кПа.}$$

1. Проверка несущей способности слабого основания:

$$P_z^{кр} + kP_{гт} \geq P_z ,$$

где $P_z^{кр}$ - критическая нагрузка на грунт;

P_z - суммарная нагрузка, действующая на слабое основание;

$P_{гт}$ – допустимая дополнительная нагрузка, воспринимаемая армирующей прослойкой, кПа.

По графику на рис. 3.22 из отраслевого методического дорожного документа [26] устанавливается поправочный коэффициент к напряжениям (при $2h_н/D_o$ = 1,6) k = 0,35 и D_z = 1,2 м.

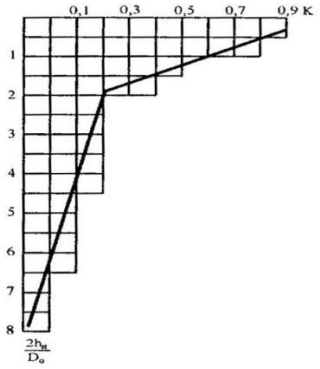


Рис. 3.22. График для определения поправочного коэффициента к напряжениям по глубине

Суммарная нагрузка, действующая на слабое основание, равна:

$$P_z = P_k k + P_Г = 372,73 \cdot 0,35 + 18,15 = 148,61 \text{ кПа}$$

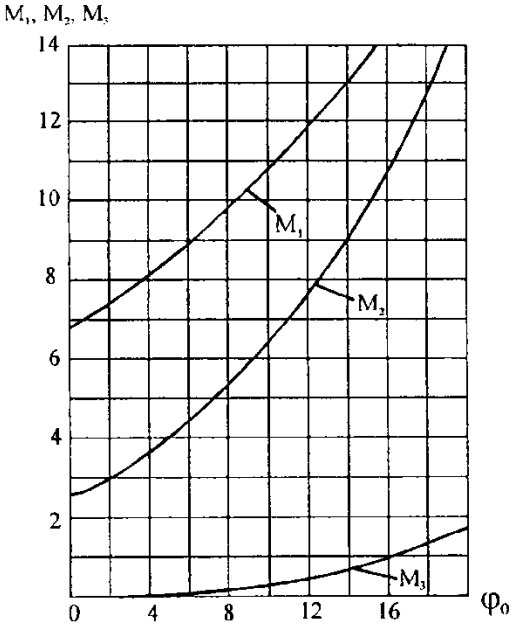


Рис. 3.23. Графики для определения коэффициентов M_1, M_2, M_3

Определим по кривым (рис. 3.23) из отраслевого методического дорожного документа [26] при φ = 26^0 значения:

M_1 = 14; M_2 = 14; M_3 = 1,8.

Найдём критическую нагрузку на слабый грунт по формуле:

$$P_z^{кр} = M_1 C + M_2 \gamma_н h_н + M_3 D_z \gamma_{осн} \tag{3.49}$$

$$P_z^{кр} = 14 \cdot 19,5 + 14 \cdot 18,15 \cdot 1 + 1,8 \cdot 1,2 \cdot 19,91 = 570,1 \text{ кПа}$$

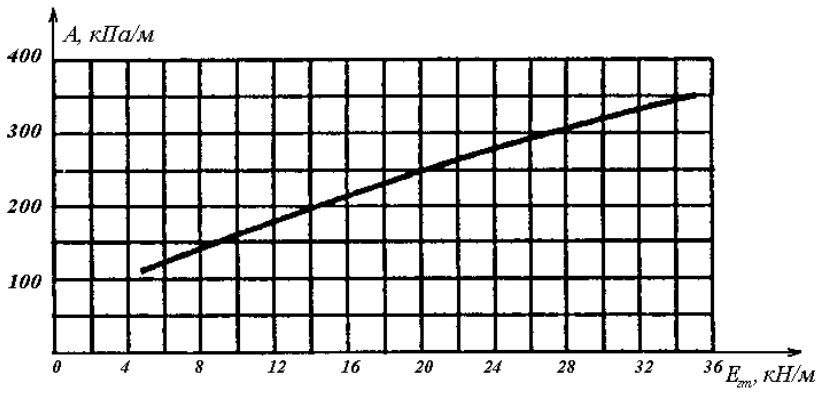


Рис. 3.24. Эмпирическая кривая для определения параметра *A*

По графику на рис. 3.24 согласно отраслевому методическому дорожному документу [26] определяем параметр A = 235 кПа/м и затем рассчитаем $P_{гт}$:

$$P_{гт} = Ah_н = 235 \cdot 1 = 235 \text{ кПа}.$$

Проверяем условие по несущей способности

$$570,1 + 0,35 \cdot 94 > 137,71 \text{ кПа}$$

Условие выполняется, следовательно, для армирования защитного слоя на слабом основании может быть рекомендован геотекстиль марки Terrasafe 4000.

Разделим основание на расчетные слои по прочностным характеристикам (для определения напряжений от строительной нагрузки):

1 слой – защитный слой,

2 слой – деятельный слой,

3 слой – талик.

Изобразим схематически разграничение основания на слои и эпюру напряжений в нем на рис. 3.25:

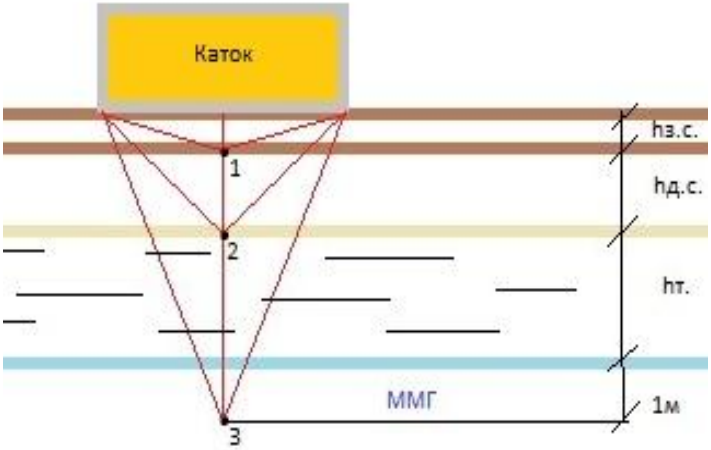


Рис. 3.25. Эпюра напряжений в грунте от катка

Вертикальные напряжения, действующие на деятельный слой [11]:

$$\sigma_{zp1} = \alpha_1 \cdot P_K = 0.9578 \cdot 104,62 = 100,207 \text{ кН/м}^2 \quad (3.50)$$

Вертикальные напряжения, действующие на талик:

$$\sigma_{zp2} = \alpha_2 \cdot P_K = 0.673 \cdot 104{,}62 = 70{,}41 \text{ кН/м}^2 \quad (3.51)$$

Вертикальные напряжения в толще грунта на глубине 1м от уровня ММГ:

$$\sigma_{zp3} = \alpha_3 \cdot P_K = 0{,}3527 \cdot 104{,}62 = 36{,}9 \text{ кН/м}^2 \quad (3.52)$$

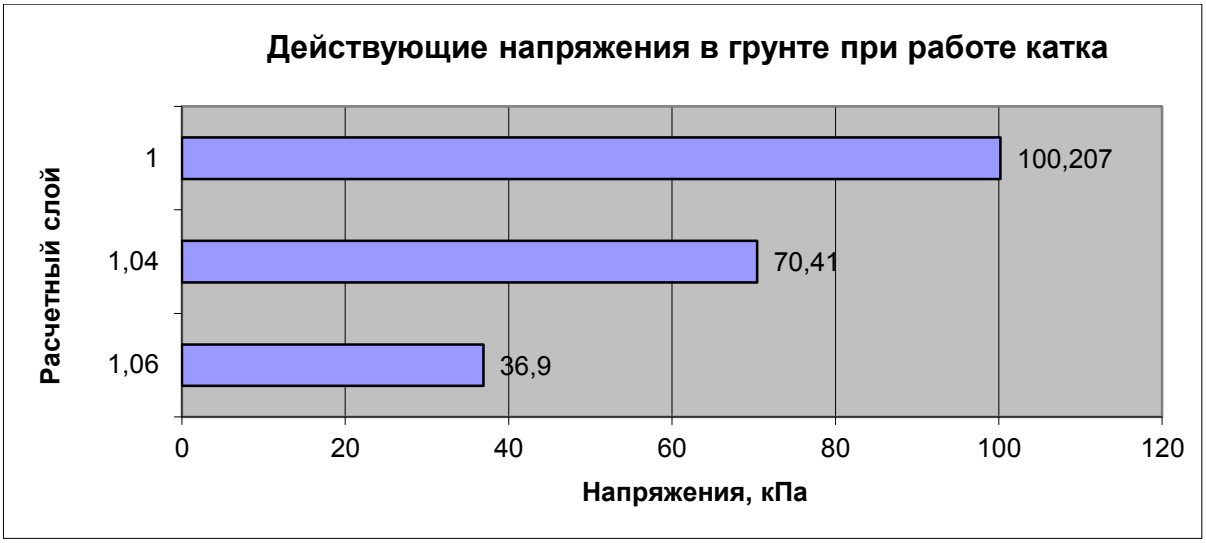


Рис. 3.26. Распределение напряжений от грунтоуплотняющего катка по глубине

Сравним напряжения от грунтоуплотняющего катка с предельными нагрузками, которые воспринимают слои основания. В результате нагрузки по глубине не превосходят критических, значит, каток выбран правильно.

3.6 Расчет консолидации с последовательным увеличением прочностных характеристик грунта основания при его уплотнении

3.6.1 Определение осадки основания под действием напряжений от строительной нагрузки

Виброуплотнение выполняется под действием напряжений от воздействия нагрузки строительной техники. При применении интенсивной технологии на глубине деятельного слоя происходят осадки под влиянием напряжений от веса катка.

Мгновенная осадка деятельного слоя от катка определяется по формуле

$$S_{мгн} = m_v \cdot (P_K - U_0) \cdot h \tag{3.53}$$

где m_v - коэффициент сжимаемости i-ого слоя грунта, м^2/т;

P_K - напряжение от строительной техники, $кН/м^2$;

U_0 - начальное давление в поровой воде**;**

h_i - мощность сжимаемого слоя, м.

$$S_{мгн} = 0,59 \cdot (0,061 - 0,033) \cdot 1,287 = 0,021м$$

Осадка деятельного слоя грунта основания

$$S_{д.с.} = \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_{e,i}}, \tag{3.54}$$

где β - коэффициент бокового давления;

$\sigma_{zp,i}$ - среднее значение нормального вертикального напряжения от внешней нагрузки в i-м слое грунта по вертикали, проходящей через ось насыпи, $кН/м^2$;

h_i - толщина i-го слоя грунта, м;

E_i - модуль деформации i-ого слоя основания, $кН/м^2$;

n - число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

$$S_{д.с.} = 0,8 \cdot (\frac{107 \cdot 1,287}{2450}) = 0,045 м$$

Полная осадка деятельного слоя.

$$S_{дс} = S_0 + S_{д.с.} = 0,021 + 0,045 = 0,066 м$$

3.6.2 Определение осадки основания под влиянием напряжений строительной техники за одну рабочую смену

Интенсивная технология применяется в период положительных температур перед началом промерзания грунта основания.

Коэффициент консолидации определяется:

$$c_k = \frac{K_ф \cdot (1 + e_{д.с.})}{a \cdot \Delta_B} \quad (3.55)$$

где $\Delta_в$ - объемный вес воды;

а – коэффициент уплотнения, см^2/кг;

$K_ф$ - коэффициент фильтрации, см/сек;

e - пористость грунта основания, %.

$C_k = \frac{K_ф \cdot (1+e_{ср})}{\alpha \cdot \Delta B} = \frac{0,000015 \cdot (1+0,379)}{0,0628 \cdot 0,001} = 0,336$ (для деятельного слоя);

и $\frac{0,0000083 \cdot (1+0,662)}{0,108 \cdot 0,001} = 0,129$ (для талика);

Определение осадки деятельного слоя за одну рабочую смену (16 часов).

Определим величину фактора времени, необходимого для расчета $T_в$ и $T_г$, по формуле

$T_г = \frac{C_u \cdot T}{l^2} = \frac{0,336 \cdot 960}{40000} = 0,008$ (для деятельного слоя);

и $\frac{0,129 \cdot 960}{40000} = 0,003$ (для талика)

$T_в = \frac{0,191 \cdot 960}{1440 \cdot 2,26^2} = 0,02493$,

что по графику б) на рис 3.27 соответствует 13,5 % консолидации,

где C_u - коэффициент консолидации грунта;

H - расчётный путь вертикальной фильтрации воды, см;

l – расчетный путь горизонтальной фильтрации, см;

T - срок консолидации грунта основания (одна рабочая смена), мин.

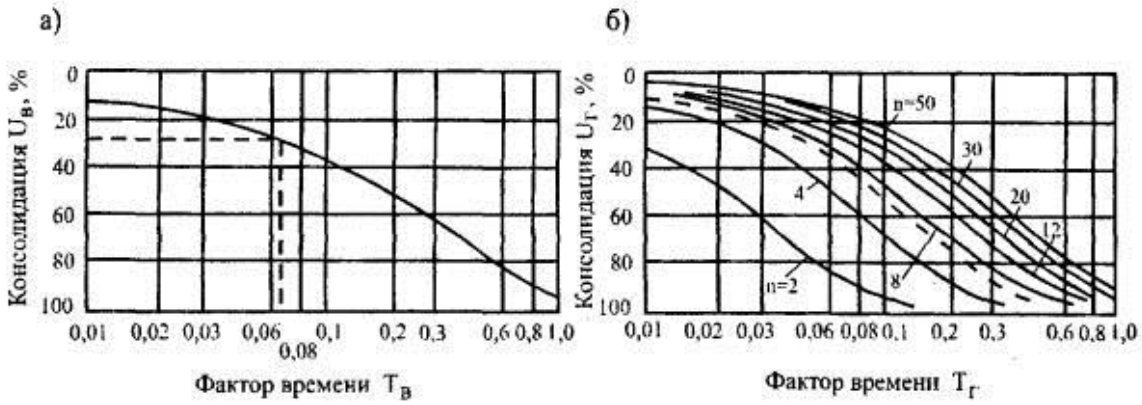


Рис. 3.27. Графики для определения степени консолидации грунта основания с вертикальными дренами [29]

Степень консолидации $u_{общ}$, %, определяется по формуле:

$$u_{общ} = 100 - 0{,}01 \cdot (100 - u_г) \cdot (100 - u_в), \qquad (3.56)$$

Степень консолидации деятельного слоя (отношение его осадки, которая была достигнута за время Т=16 часов, к полной осадке от проектной нагрузки) будет равна:

$$U_{д.с.} = 100 - 0{,}01(100 – 13{,}5)(100 - 21)=32\%$$

$$U_{т.} = 100 - 0{,}01(100 – 13{,}5)(100 - 21)=31\%$$

Осадка за 16 часов определятся по следующему выражению:

Для деятельного слоя:

$$S_{смен,д.с.} = U_{плн} \cdot S_{общ,д.с.} = 0{,}32 \cdot 0{,}045 = 0{,}014 \text{ м.}$$

Для талика:

$$S_{смен,т} = U_{плн,т.} \cdot S_{общ} = 0{,}33 \cdot 0{,}094 = 0{,}03 \text{ м.}$$

.

Каждая следующая смена считается аналогично с учетом измененных прочностных характеристик деятельного слоя за текущую смену. Результаты расчета приведены в табл. 3.10. А в табл. 3.11 изменение прочностных характеристик для талика.

3.6.3 Улучшение грунтовых характеристик слабого основания

Улучшение грунтовых характеристик происходит при изменении влажности по следующему выражению:

$$W_{\text{д.с.}} = W_{pr} - \frac{W_{pr} \cdot S_{\text{смен,д.с.}}}{h} = 0{,}289 - \frac{0{,}289 \cdot 0{,}014}{1{,}51} = 0{,}271 \text{ д. е.}$$

$$W_{\text{т.}} = W_{pr} - \frac{W_{pr} \cdot S_{\text{смен,т.}}}{h} = 0{,}335 - \frac{0{,}335 \cdot 0{,}03}{2{,}6} = 0{,}32 \text{ д. е.} \qquad (3.57)$$

где $W_{пр}$ - влажность расчетного слоя, д.е.;

S - осадка за расчетный период, м;

h - мощность расчетного слоя, м.

Изменение угла внутреннего трения ϕ определяется по графику на рис. 3.28 согласно учебнику Н.Н. Маслова [25]. При снижении влажности возрастает угол внутреннего трения.

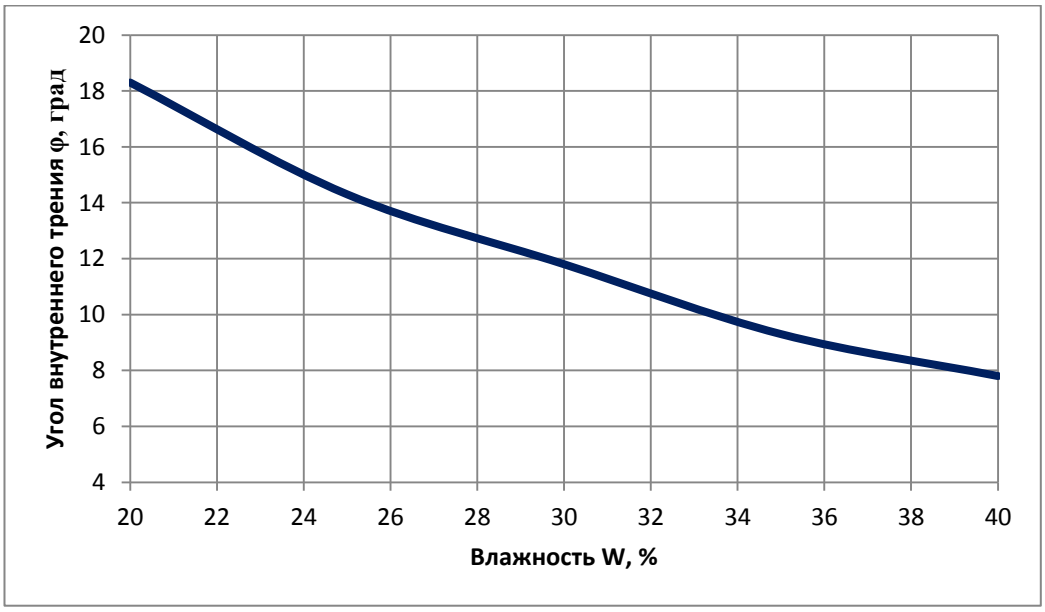


Рис. 3.28. График зависимости угла внутреннего трения от влажности для суглинка легкого пылеватого текучепластичного

Изменение сцепления С определяется приближенно по зависимости его от влажности по графику на рис. 3.29 согласно учебнику Н.Н. Маслова [25].

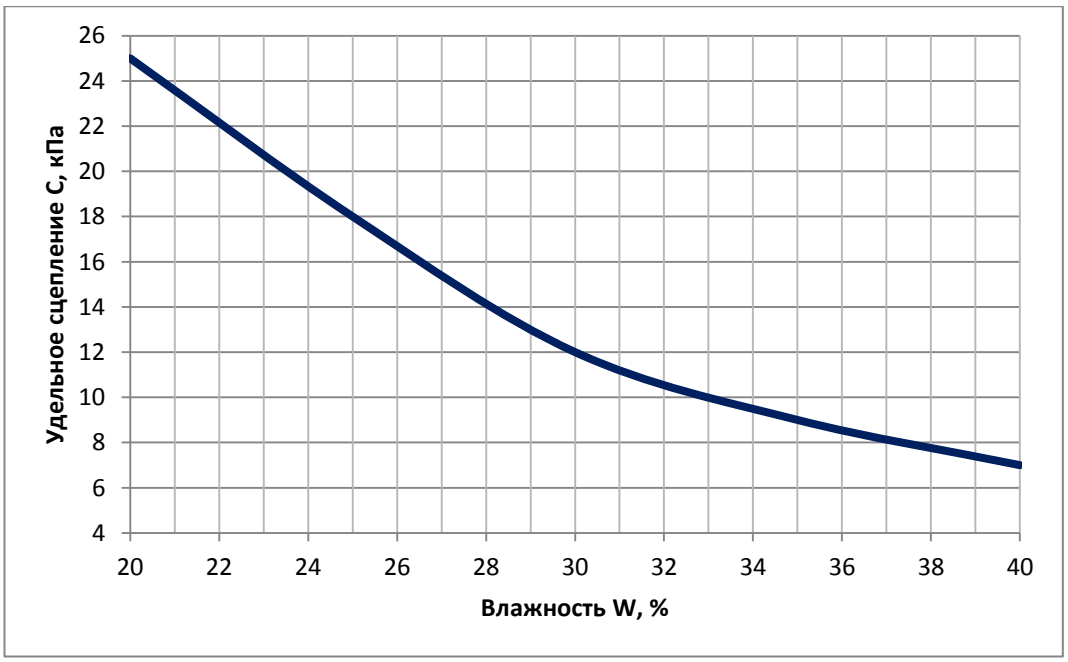


Рис. 3.29. График изменения удельной силы сцепления в зависимости от влажности для суглинка легкого пылеватого текучепластичного

Таблица 3.10. Поэтапное изменение характеристик грунта деятельного слоя ПК 3062+00

Д.С.	Начальные	После оттаивания	ИТ, дни		
	нач хар-ки	После оттаивания	1(RV-17,DT)	2(RV-17,DT)	3(RV-17,DT)
W	0,335	0,289	0,271	0,252	0,232
C	14	17	18,5	19	20
λ	1,8	0	0	0	0
φ	25	26	28	29	29,5
Кбез	0,688334452	0,867171924	1,011455	1,130028	1,274726242
S	0	0	0,014191	0,013827	0,010435672
ρ	1,42	2,088338728	2,182463	2,225901	2,226380945
Кф	0,00011	0,0001	0,000015	0,000013	0,000010
Ркр	92,9981145	117,160	136,654	145,396	155,805
h	1,06	1,06	1,05	1,03	1,02

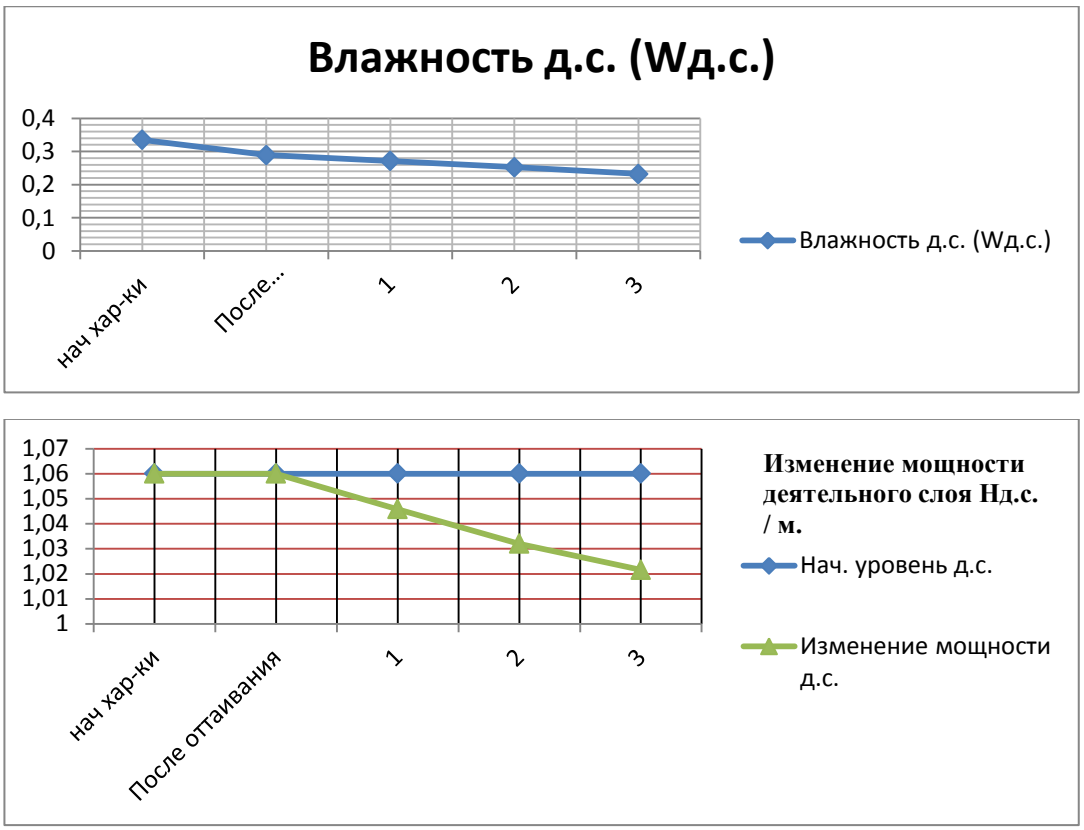


Рис. 3.30. Изменение влажности и мощности деятельного слоя на ПК 3062+00

Таблица 3.11. Поэтапное изменение характеристик грунта талика на ПК 3062+00

Т.			ИТ, дни		
	нач хар-ки	После оттаивания	1(RV-17,DT)	2(RV-17,DT)	3(RV-17,DT)
W	0,335	0,335	0,323	0,309	0,294
C	9	9	12	13,5	14,5
λ	0	0	0	0	0
φ	16	16	19	21	22
Кбез	0,621653	0,62197	0,816272	0,98751307	1,12013877
S	0	0	0,0296491	0,02831439	0,0262614
ρ	1,42	1,42	2,0721092	2,09158539	2,09462609
Кф	0	0	0,0000083	0,00007708	0,00000486
Ркр	94,77097	94,819	124,216	143,650	155,502
h	1,04	1,04	1,01	0,98	0,96

Рис. 3.31. Изменение влажности талика на ПК 3062+00

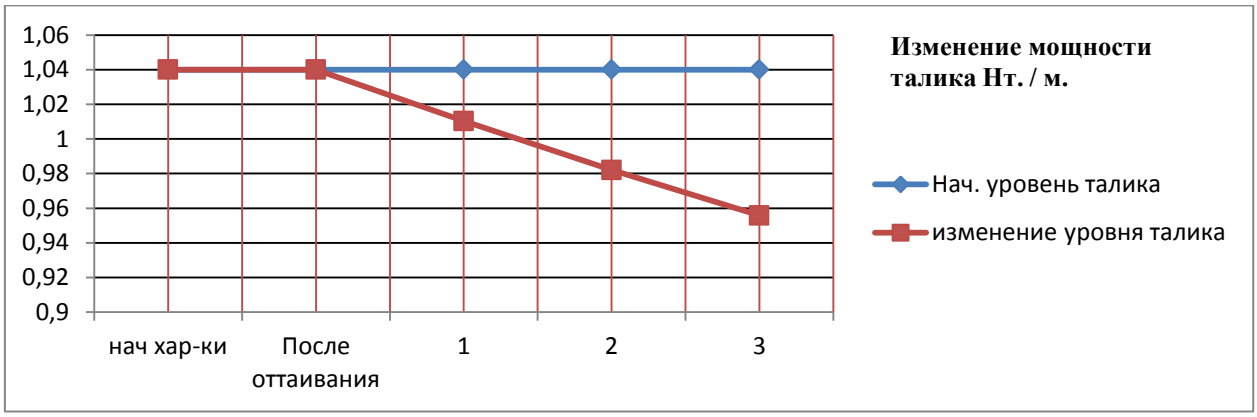
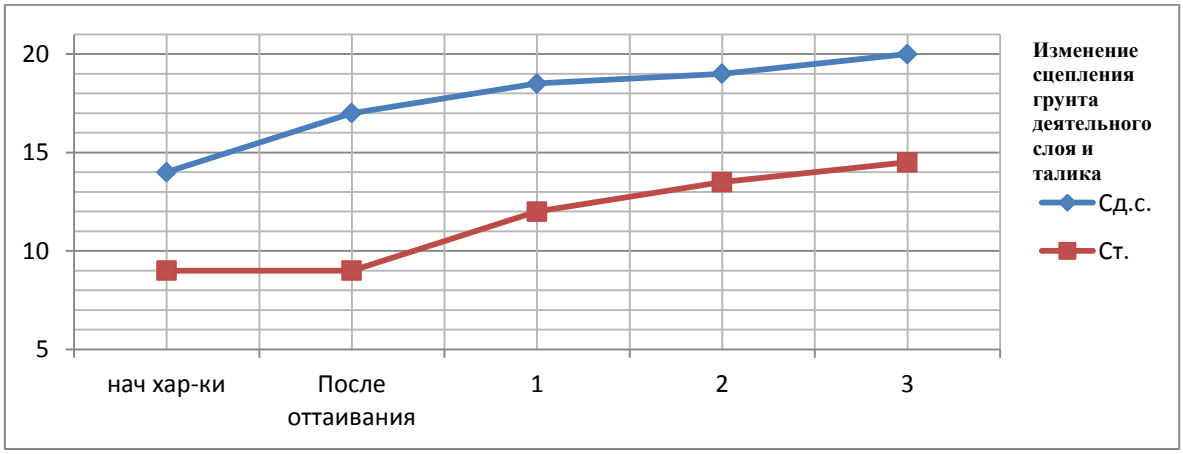
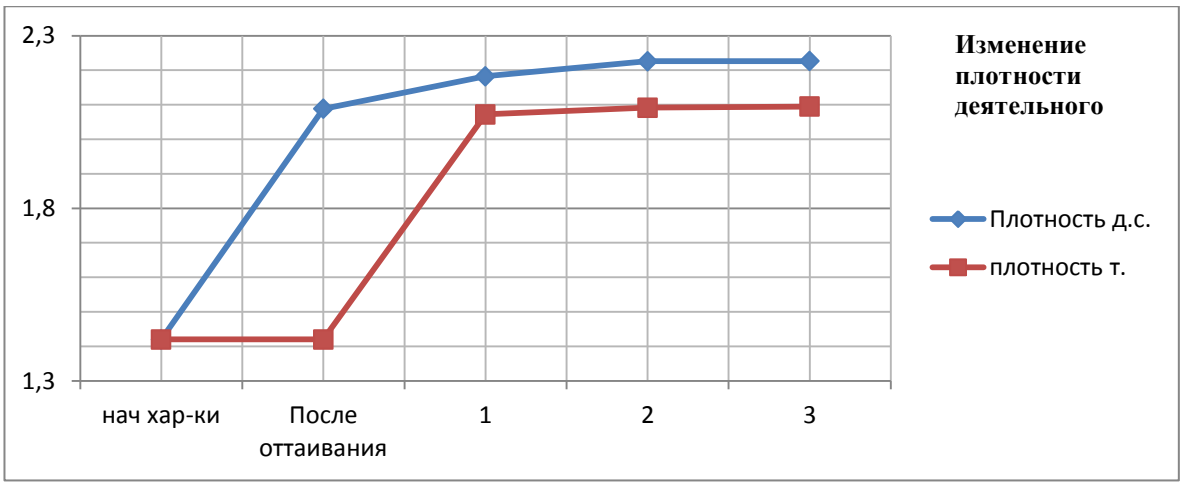


Рис. 3.32 «Изменение мощности талика на ПК 3062+00»





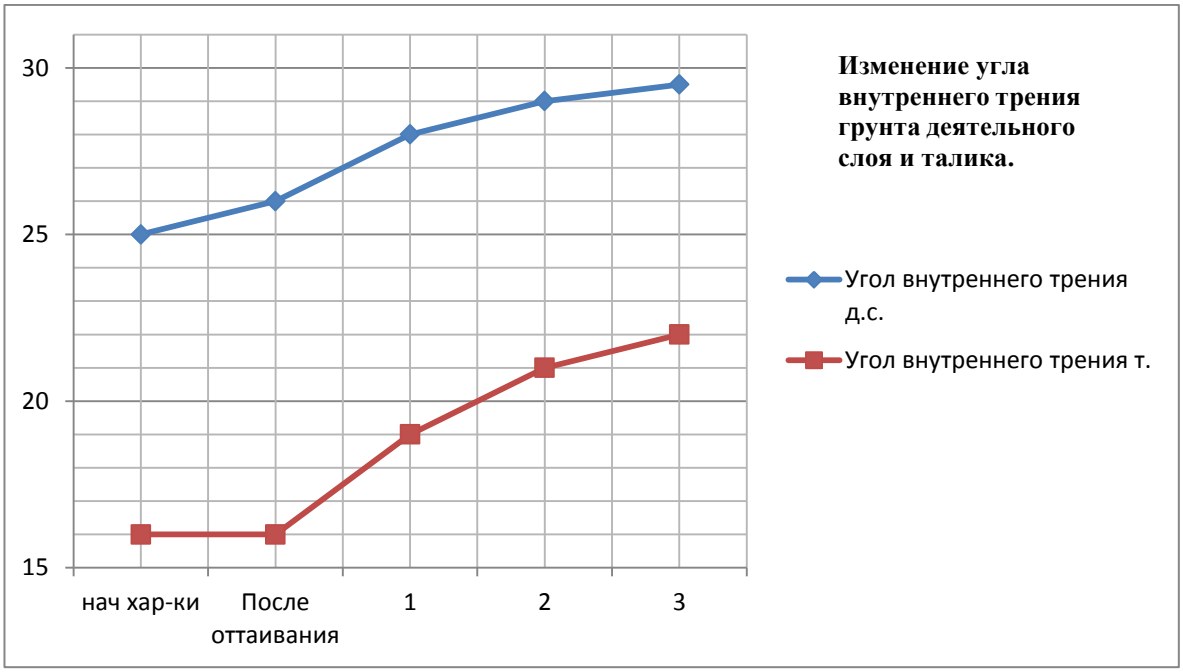
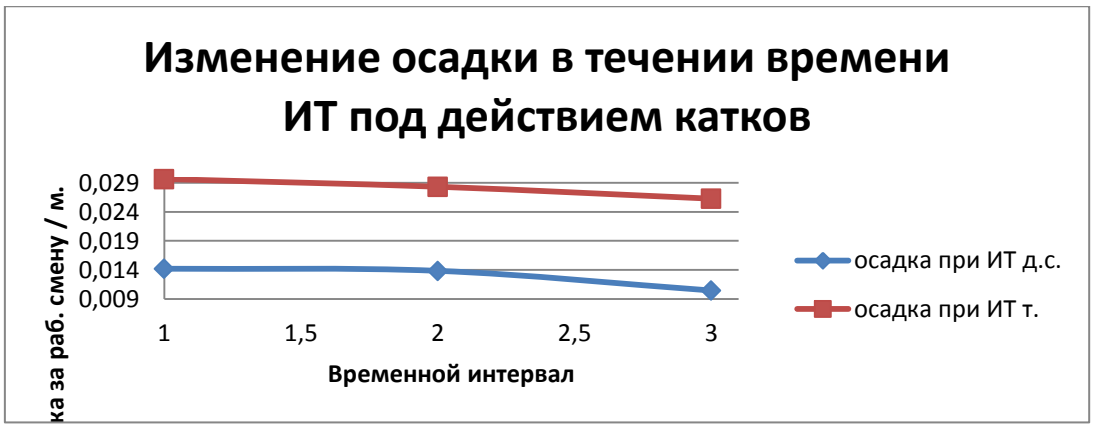
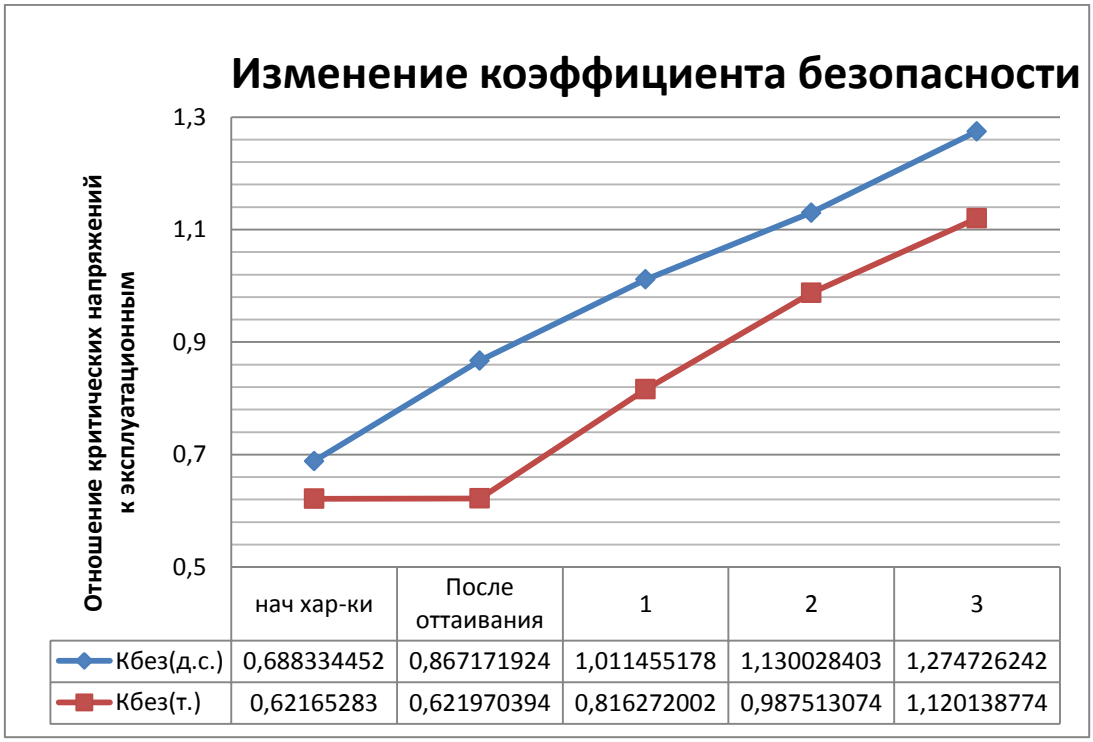


Рис. 3.33. Изменение сцепления, плотности и угла внутреннего трения грунтов основания на ПК 3062+00





	нач хар-ки	После оттаивания	1	2	3
Кбез(д.с.)	0,688334452	0,867171924	1,011455178	1,130028403	1,274726242
Кбез(т.)	0,62165283	0,621970394	0,816272002	0,987513074	1,120138774

Рис. 3.34. Изменение осадки при ИТ и коэффициента безопасности грунтов основания на ПК 3062+00

Раздел 4. ЭКОНОМИКА

4.1 Отраслевая сметно-нормативная база ценообразования (ОСНБЖ-2001 в редакции 2011 года) для строительства объектов ОАО «РЖД»

В данном разделе рассматривается отраслевая сметно-нормативная база ценообразования, а также произведен сметный расчет применения интенсивной технологии на участке ПК 3060+00 – ПК 3065+00 ж.д. линии «Салехард-Надым».

Необходимость разработки собственной базы ценообразования для строительства и реконструкции железнодорожных объектов связана со спецификой и своеобразием железнодорожного строительства, внедрением новейших специфических технологий (например, при строительстве высокоскоростных магистралей), использование новых материалов, изделий и конструкций, использование новых (в т.ч. импортных) машин и механизмов.

Заказчиком и координатором работ по созданию (корректировке) отраслевой базы ценообразования является Департамент капитального строительства ОАО «РЖД».

Функции головной организации выполняет Институт экономики и развития транспорта (ОАО «ИЭРТ») (рис. 4.1)

Рис. 4.1. Основные направления работы ОАО «ИЭРТ»

В настоящее время сметная стоимость строительства новых, реконструкция, расширения и технические перевооружения действующих предприятий, зданий и сооружений определяется согласно положениям «Порядка определения стоимости строительства объектов инфраструктуры ж.д. транспорта и других объектов ОАО «РЖД» с применением отраслевой сметно-нормативной базы ОСНБЖ-2001 ОАО «РЖД» М. 2011 г.

«Порядок определения стоимости строительства объектов инфраструктуры ж.д. транспорта и других объектов ОАО «РЖД» с применением отраслевой сметно-нормативной базы ОСНБЖ-2001» утвержден 29.12.2011г. №2821р

Вновь введенная отраслевая база содержит более 100 сборников отраслевых сметных нормативов, дифференцированных по 40 регионам Российской Федерации.

В методических и нормативных документах отраслевой сметно-нормативной базы отражены особенности работы по строительству и

капитальному ремонту зданий и сооружении инфраструктуры железнодорожного транспорта и других объектов ОАО «РЖД».

Инфраструктура ж.д. транспорта - это технологический комплекс, включающий:

- железнодорожные пути;
- железнодорожные станции;
- сети связи;
- устройство электроснабжения;
- системы сигнализации, централизации;
- систему управления движением и др.

Отраслевую сметно-нормативную базу ОСНБЖ-2001 в редакции 2011 г. используют участники инвестиционного процесса, независимо от источника финансирования, ведомственной принадлежности и форм собственности при строительстве объектов ОАО «РЖД» на территории Российской Федерации.

Затраты на перевозку строительных грузов по строящимся железнодорожным линиям определяются по соответствующим таблицам сборника ОССПЖ, как по действующей сети железных дорог.

Расстояния перевозки железнодорожным транспортом принимаются по кратчайшему направлению.

Транспортные расходы на перевозку балластных материалов хоппер-дозаторами и думпкарами и в пределах указанных расстояний согласно [28] включены в стоимость строительно-монтажных работ. Сметные цены на перевозку балластных материалов этим же видом подвижного состава предназначены для составления локальных смет исключительно на сооружение верхнего строения пути и земляного полотна при доставке этих материалов непосредственно на место производства работ [28].

При перевозке грузов автомобильным транспортом в регионах, где поясной коэффициент отличается от единицы, сметные цены определяются

путем умножения цен базового территориального района на величину этого коэффициента.

Величина автотарифов на перевозку нерудных материалов автомобилями-самосвалами при строительстве искусственных сооружений, земляного полотна и укрепления откосов железных дорог определяется по сметным ценам на перевозку грузов автомобилями-самосвалами, работающими вне карьеров, первого тарифного класса с применением коэффициента в размере К=0,80 [28].

4.2 Расчет сметной стоимости работ с применением интенсивной технологии на участке ПК 3060+00-ПК 3065+00 железнодорожной линии Салехард-Надым перегона Ивлевский-Тальников

Интенсивная технология позволяет достигнуть оптимальных характеристик грунта в наиболее короткий период.

Исходные данные

Объем разрабатываемого грунта с погрузкой на автомобили-самосвалы экскаваторами с ковшом вместимостью 1м^3 – 217,39 тыс. м^3

Перевозка грузов автомобилями-самосвалами из карьеров – 30869,4 т

Укрепление откосов насыпных сооружений геоячейками типа "ПРУДОН- 494" с заполнением щебнем – 3,623 тыс. м^2 укрепляемой поверхности

Уплотнение грунта вибрационными катками 13 т на первый проход по одному следу при толщине 30 см – всего 217,39 тыс. м^3 (в первый день 72,46 тыс. м^3; в последующие два дня 144,93 тыс. м^3)

Расстояние до ближайшего притрассового карьера – 23 км

Объем полезного слоя карьера – 855 тыс. м^3

Расчет стоимости работ представлен в расчетной смете.

Сметный расчет применения интенсивной технологии на участке ПК 3060+00 – ПК 3065+00 ж.д. линии «Салехард-Надым»

№ п.п.	Обоснование	Наименование работ и затрат, ед. изм.	Обьем	Ед. стоимость		Общая стоимость			Затраты труда строителей		Накл. расх.	Сметн. приб.
				Всего	ЭММ	Всего	Осн. з/платы	ЭММ				
				ОЗП	З/п.маш.			З/п.маш.	на ед.	всего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	ФЕР01-01-013-2	Разработка грунта с погрузкой на автомобили-самосвалы экскаваторами с ковшом вместимостью 1 м3, группа грунтов 2	217,39	2921	2854,34	635014	13565,1	620505	8	1739,12	95%	50%
		1000 м3		62,4	557,1			121108			127939	67336,6
2	ОССПЖ-2001-012	Перевозка грузов автомобилями-самосвалами из карьеров. Расстояние перевозки (км): Св. 10,0	30869,4	14,38	14,38	443902	0	443902	0	0	%	%
		т		0	0			0			0	0
3	ФЕР01-02-036-2	Укрепление откосов насыпных сооружений, конусов мостов и путепроводов геоячейками типа "ПРУДОН- 494" с заполнением щебнем, с высотой ячеек 15 см	3,623	179990	1383	652103	9472,41	5010	326	1181	80%	45%
		1000 м2 укрепляемой поверхности		2614	121			440			7930	4460
4	ФЕР01-02-003-2	Уплотнение грунта вибрационными катками 13 т на первый проход по одному следу при толщине 30 см	72,46	994	994	72062,9	0	72063	0	0	95%	50%
		1000м^3		0	143			10426			9905	5213
5	ФЕР01-02-003-11	На каждый последующий проход по одному следу добавлять к расценке 01-02-003-05	144,93	994	994	144136	0	144136	0	0	95%	50%
		1000м^3		0	11			20853			19810	10427
		Итого:				1947218	23038	1285616		2920	165584	87437
		Непредвиденные расходы 2 %				38944						
		Итого с непредвиденными в ценах на 2001 г.				**1986162**						
		Всего с учетом коэффициента пересчета на текущие цены 8,91				17696703						
		НДС 18%				3185407						
		Всего по смете				**20882110**						

Раздел 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

5.1 Меры безопасности при работе катка

В условиях применения интенсивной технологии крайне важно соблюсти технику безопасности при работе с катком.

Обратимся к типовой инструкции №7 по охране труда для машиниста катка, которая была утверждена Федеральным дорожным департаментом Минтранса РФ 11 марта 1993 года [51].Она содержит 87 пунктов и включает в себя общие требования, требования перед началом и во время производства работ, требования при транспортировке катков, требования после окончания работ. Выделим основные требования из данной инструкции.

Организация безопасности

Согласно данной инструкции, к работе на самоходных и прицепных катках допускаются лица не моложе 18 лет. Машинисты должны обладать правами управления катка, пройти медицинскую комиссию и признаться годными для данной работы, ознакомиться с правилами распорядка организации и условиями работы, а также пройти обучение безопасным методам и приемам работы и быть проинструктированы по безопасности труда и эксплуатации катков.

Все катки закрепляются за определенным машинистом. Каток должен содержаться в технически исправном состоянии и иметь исправные сигнализации. Машинист катка во время работы должен пользоваться специальной одеждой, соответствующей требованиям. Рабочее место машинист должен содержать в чистоте.

Если работа катка осуществляется в темное время суток, то место работы необходимо хорошо и равномерно осветить. На неосвещенной площадке работать запрещается.

На территории работы, заправки и стоянки катков (а также других машин) запрещается загрязнение легковоспламеняющимися жидкостями. Если горючее пламя воспламенилось, то его следует тушить огнетушителями или забрасывать сухим песком. Воду для тушения пламя использовать запрещается.

Машинисту катка запрещается:

- оставлять каток с работающим двигателем без присмотра;
- передавать управление катком незакрепленным за ним лицам;
- допускать нахождение посторонних лиц на машине, а также на территории рабочей зоны или при транспортировании катка.

Требования перед началом и во время производства работ

Перед началом работ машинист катка обязан:

- ознакомиться с технологией рабочего процесса;
- ознакомиться с зоной производства и фронтом работ;
- убедиться в отсутствии на участке посторонних предметов;
- проверить наличие ограждений и предупредительных знаков;
- ознакомиться с зоной производства и фронтом работ;
- уточнить местонахождение подземных коммуникаций и линий электропередачи.

Прежде чем приступать к работе, необходимо проверить техническое состояние катка, исправность инструмента. Перед пуском двигателя необходимо проверить уровень масла в картере, заправку топливом и водой (антифризом). При пуске двигателя в холодное время года следует заливать в радиатор горячую воду, а в картер - подогретое масло. Запрещается пользоваться для подогрева двигателя открытым огнем.

Расстояние между движущимися друг за другом катками должно быть не менее 10 м.

Прежде чем тронуться с места, машинист должен предварительно убедиться в отсутствии людей около катка. Проезд должен быть свободным. В зоне работы катков запрещается находиться посторонним лицам.

Во время работы машинист катка должен не отвлекаться, обязан внимательно следить за показаниями контрольно-измерительных приборов, за режимом работы двигателя и механизма управления.

При работе на насыпях высотой более 1,0 м расстояние от ближайшего вальца катка до бровки земляного полотна должно быть не менее 1 м.

При уплотнении грунта или дорожного покрытия катками вибрационного действия машинист должен внимательно следить за исправным состоянием всех болтовых соединений и периодически их подтягивать. Грунт, подлежащий уплотнению виброкатками, должен быть предварительно разровнен (спланирован).

Требования при транспортировке катков

Перед тем, как произвести транспортировку катка, машинист должен проверить состояние всех машин и механизмов. Если неисправности будут обнаружены, то необходимо будет произвести ремонт. Также необходимо получить сведения от руководителя об искусственных сооружениях по пути следования и их прочности.

Перегон катков с одного участка на другой разрешается только руководителем работ и только при полной исправности машины и механизмов. Перегон может осуществляться как своим ходом, так и буксиром.

Если движение машин и катков будет происходить по мосту или другим искусственным сооружениям, машинист должен проверить указатели дорожных знаков на грузоподъемность. Машинист должен убедиться, что техническое состояние моста позволяет безопасно производить переезд, а его габариты соответствуют машине или катку.

Если движение машин и катка будет происходить через железнодорожный переезд, машинист обязан проявлять повышенную внимательность и особую осторожность. Машинист должен строго руководствоваться знаками переезда и указаниями дежурного.

Во время транспортировки находиться на катке запрещается.

Соблюдение требований после окончания работ

После того, как окончилась работа машинист катка должен выключить и запереть пусковые механизмы, произвести контрольный осмотр катка. В случае необходимости провести техническое обслуживание катка. В случае обнаруженных неисправностей необходимо сообщить мастеру для принятия соответствующих мер. Также необходимо навести порядок на своем рабочем месте, собрать все инструменты и убрать лишние предметы.

5.2 Чрезвычайные ситуации техногенного характера на железнодорожном транспорте

Данный раздел посвящен рассмотрению чрезвычайной ситуации. При несоблюдении техники безопасности, в вагоне поезда происходит детонация взрывчатого вещества. Мощность взрыва составляет около 17т гексогена. Взрывная волна оказывает воздействие на прилегающие здания.

Ежедневно по дорогам Российской Федерации перевозится огромное количество взрывчатых веществ: углеводородное сырье, спирт и другие продукты переработки и производных веществ.

В цистернах при транспортировке и хранении сжиженные газы и продукты испарения жидкого топлива и спирта образуют газопаровоздушные смеси (ГПВС) и воздушные смеси (ПВС).

Взрыв твердого взрывчатого вещества на ст. Надым

Высота взрыва влияет на эффект взрыва. Чаще всего на железной дороге случаются наземные взрывы. Для наземных взрывов определение избыточного давления во фронте ударной волны осуществляется по экспериментальным зависимостям, полученным на основе теории подобия:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{100 \cdot \sqrt[3]{G_Э}}{R} + \frac{430 \cdot \sqrt[3]{G_Э^2}}{R^2} + \frac{1400 \cdot G_Э}{R^3} \qquad (5.1)$$

где ΔP_{ϕ} - избыточное давление во фронте ударной волны, кПа;

R – расстояние от центра взрыва до точки, в которой определяется величина избыточного давления, м;

$G_Э$ – эквивалентное (тринитротолуолу) количество взрывчатого вещества, кг.

$$Gэ = KэG, \qquad (5.2)$$

где G – количество данного взрывчатого вещества, кг;

Кэ – коэффициент эквивалентности данного взрывчатого вещества тринитротолуолу (ТНТ).

$$K_Э = \frac{C_V^{BB}}{C_V^{THT}}, \qquad (5.3)$$

где C_V^{BB} – теплота взрыва данного ВВ., кДж/кг;

C_V^{THT} – теплота взрыва тринитротолуола, кДж/кг.

В качестве количественного показателя устойчивости объекта воздействию ударной волны принимается значение избыточного давления, при котором здания, сооружения и оборудование сохраняются или получают слабые и средние разрушения. Это значение избыточного давления принято считать пределом взрывоустойчивости объекта к ударной волне.

Под взрывоустойчивостью понимается предельная величина избыточного давления $\Delta P_{\lim}$, до которой рассматриваемый элемент сохраняет ремонтопригодность или возможность его восстановления. Обычно это может быть в случае, если элемент получит среднюю степень разрушения.

Для расчета предела устойчивости данного типа здания используется следующая эмпирическая зависимость:

$$\Delta P_{\lim} = K_П \prod_{i=1}^{n} K_i \qquad (5.4)$$

$К_п$ – коэффициент, учитывающий степень разрушения здания;

$К_1$ – коэффициент, учитывающий назначение здания;

$К_2$ – коэффициент, учитывающий тип конструкции здания;

$К_3$ – коэффициент, учитывающий строительный материал;

$К_4$ – коэффициент, учитывающий сейсмостойкость;

$К_5$ – коэффициент, учитывающий степень износа каркасных зданий;

$К_6$ – коэффициент, учитывающий состояние здания.

Таблица 5.1. Значения коэффициента $К_п$

Степень разрушения	Значения коэффициента $К_п$
Полная	1
Сильная	0,87
Средняя	0,56
Слабая	0,35

Таблица 5.2. Значения коэффициента $К_1$

Назначение здания	Значения коэффициента $К_1$
Производственные здания	14
Жилые и административные здания	23

Таблица 5.3. Значения коэффициента $К_2$

Тип конструкции здания	Значения коэффициента $К_2$
Бескаркасная	1
Каркасная	2
Монолитная	3,5

Таблица 5.4. Значения коэффициента $К_3$

Строительный материал	Значения коэффициента $К_3$
Дерево	1
Кирпич	1,5
Легкий бетон и железобетон с процентом армирования менее 0,3	2
Средний бетон и железобетон с процентом армирования более 0,5	3

Таблица 5.5. Значения коэффициента $К_4$

Степень устойчивости	Значения коэффициента $К_4$
Не сейсмостойкие	1
Сейсмостойкие	1,5

Таблица 5.6. Значения коэффициента $К_5$

Степень износа для каркасных зданий	Значения коэффициента $К_5$
Трещины в заполнителе каркаса	0,75
Значительные нарушения в заполнителе, трещины в каркасе	0,5
Значительные трещины в каркасе	0,25

Таблица 5.7. Значения коэффициента $К_6$

Состояние здания	Значения коэффициента $К_6$		
	Жилые и административные здания	Промышленные	
		Каркасные	Бескаркасные
Хорошее	1	1	1
Удовлетворительное	0,75	0,5	0,67
Ухудшающееся	0,5	0,25	0,33

$К_7$ – коэффициент, учитывающий высоту здания:

$$K_7 = \frac{H_{ЗД}^{-2}}{3 \cdot \left[1 + 0,43 \cdot \left(H_{ЗД}^{-5}\right)\right]}, \quad (5.5)$$

$К_8$ – коэффициент, учитывающий наличие кранового оборудования:

$$K_8 = 1 + 4.65 \cdot 10^{-3} Q_{KP}, \quad (5.6)$$

где QKP -грузоподъемность крана, т.

$К_9$ – коэффициент ориентации объекта на центр возможного взрыва. Если ударная волна падает по нормали к наибольшей стене ($К_9$ = 0,91), под углом 45^0 ($К_9$ = 1,25), для промежуточных значений $К_9$ = 1.

$К_{10}$ – коэффициент экранирования объекта соседними сооружениями застройки: если объект находится на открытой территории или ближайшее строение расположено не ближе 50-70м, то $К_{10}$ = 1; если экранирующие постройки расположены ближе 50 м по линии распространения взрывной ударной волны, то $К_{10}$ = 1,11… 1,43 (в зависимости от степени затенения).

По значению величины $\Delta P_{\lim}$ из таблицы определяется степень потери взрывоустойчивости (КПВ).

Оценка воздействия ударной волны на здания и сооружения

Воздействие ударной волны на здания и сооружения может быть прямое или косвенное.

Прямое воздействие на здание носит разрушительный характер. Воздействие на человека носит травматический характер. Тяжесть полученных травм от величины давления во фронте ударной волны. Травмы человека можно разделить по степени тяжести на легкие, средние, тяжелые и крайне тяжелые.

При давлении во фронте ударной волны 20-40 кПа, человек получит легкие травмы. Это могут быть незначительные повреждения, легкие контузии.

При давлении во фронте ударной волны 40-60 кПа, человек получит средние травмы. К ним относятся серьезные контузии, повреждения слуха, вывихи, переломы конечностей, кровотечение из носа и ушей.

При давлении во фронте ударной волны 60-100 кПа человек получит тяжелые травмы, что приведет к тяжелым контузиям, серьезным переломам конечностей, сильным кровотечениям.

При избыточном давлении более 100 кПа наступают крайне тяжелые травмы. Такие травмы чаще всего заканчиваются летальным исходом.

Воздействие избыточного давления во фронте ударной волны на здания и сооружения приводит к полному или частичному разрушению. По величине разрушения зданий и сооружений можно разделить на слабые, средние, сильные и полные.

Степень разрушения зданий и других производственных комплексов разнообразна. Оценка воздействия представлена в таблице 5.8.

Таблица 5.8. Оценка степени разрушений производственных комплексов при воздействии ударной волны

Здания и сооружения	Полное разрушение (кПа)	Сильное разрушение (кПа)	Среднее разрушение (кПа)	Слабое разрушение (кПа)
Кирпичное многоэтажное здание	Свыше 30	20-30	10-20	8-10
Кирпичное одно-двухэтажное здание	Свыше 35	25-35	15-25	8-15
Промышленное здание с металлическим и железобетонным каркасом	Свыше 60	50-60	40-50	20-40
Приборная стойка	Свыше 70	50-70	30-50	10-30
Антенные устройства	Свыше 40	40	20-40	10-20
Открытые склады с железобетонным покрытием	Свыше 200	180-200	150-180	Менее 150

Для того, что уменьшить поражающее действие ударной волны, необходимо выполнять требования строительных норм. Категорически не

допускается отклонений от проекта в стороны ухудшения прочностных характеристик, например, для удешевления строительства.

От действия ударной волны создаются различные очаги поражения, разрушения. Их размеры зависят от мощности и вида взрыва, а также от рельефа местности.

На равниной местности граница очага условно ограничивается радиусом с избыточным давлением во фронте ударной волны 10 кПа (0,1 кгс/см).

Исходные данные

На железнодорожной станции в результате диверсии произошёл взрыв 17 т гексогена, находившийся в двух вагонах.

Перечень зданий и сооружения железнодорожной станции, находящихся в зоне поражения, представлен в таблице 5.8.:

Таблица 5.8. Перечень зданий и сооружения железнодорожной станции, находящихся в зоне поражения

Наименование зданий и сооружений	Конструкция здания	Расстояние от эпицентра, м
Водонапорная башня	К	85
Вокзал	К	30
Почта	П	130
Склад багажа	ОБ	180

К – кирпичные; П – бескаркасные крупнопанельные здания; ОБ – объемноблочные здания.

Расчёт

Масса тротила эквивалентная по теплоте взрыва 17 т гексогена:

По (5.3):

$$K_э = \frac{5540}{4240} = 1{,}31$$ кДж/кг

По (5.2):

Gэ = 1,31*17000 = 22270 кг

Определение избыточного давления во фронте ударной волны при наземном взрыве 17 т гексогена осуществляется по экспериментальной зависимости полученной на основе теории подобия по (5.1):

$$\Delta P_ф = \frac{100 \cdot \sqrt[3]{G_Э}}{R} + \frac{430 \cdot \sqrt[3]{G_Э^2}}{R^2} + \frac{1400 \cdot G_Э}{R^3}$$

Результаты расчёта и оценка степени разрушения зданий и сооружений от ударной волны приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9. Взрывоустойчивость зданий и сооружений железнодорожной станции

Наименование зданий и сооружений	Конструкция здания	Расстояние от эпицентра (радиус), м	Коэффициенты							ΔPlim, кПа	ΔPф, кПа	Степень разрушения
			K_1	K_2	K_3	K_6	K_7	K_9	K_{10}			
Водонапорная башня	К	85	14	1	1,5	0,75	0,85	0.9	1	12,05	131	Сильное
Вокзал	К	30	23	1	1,5	1	0,93	0.9	1,11	32,05	1626.7	Полное
Почта	П	130	23	2	1	1	0,93	1,25	1	53,48	55.97	Слабое
Склад багажа	ОБ	180	14	1	2	0,75	1,17	1,25	1	30,71	31.48	Слабое

Вывод: проведенный расчет показал, что в нашем случае взрыв окажет сильное воздействие на все сооружения и здания, находящиеся в радиусе 70 м от эпицентра взрыва, они будут полностью разрушены. Можно сделать вывод о том, что детонация взрывчатого вещества на станции нанесет огромный ущерб ее инфраструктуре.

Раздел 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Строительство железных дорог, а также их функционирование загрязняют природные комплексы выбросами, отходами и стоками. Данное загрязнение не должно нарушать главным образом равновесие в экологических системах. Из-за уничтожения природных комплексов снижается способность природы самоочищаться. Равновесие экологической системы предполагает сохранение устойчивого состояния в пределах регламентированных изменений. Линии железных дорог, которые прокладываются на путях миграции живых организмов, могут оказать существенное влияние на их развитие или привести даже к гибели целых сообществ и видов [39].

Объекты железнодорожного транспорта могут воздействовать на окружающую среду по-разному. Можно выделить основные виды воздействия:

- механическое воздействие (воздействие на почвы разных типов машин);
- физическое воздействие (шум, инфразвук, ультразвук, вибрация, тепловые излучения, радиация, электрические поля, электромагнитные поля и др.);
- химические вещества и соединения (кислоты, щелочи, соли металлов, краски и растворители и др.):

  - малоопасные химические вещества и соединения;

  - опасные химические вещества и соединения;

  - высокоопасные;

  - чрезвычайно опасные.
- биологическое воздействие (макро- и микроорганизмы).

По форме воздействия на природный комплекс данные виды разделяются на долговременные, сравнительно недолгие, кратковременные и мгновенные.

По масштабам действия вредных факторов на природу выделяют действующие на небольших площадках, действующие на отдельных участках местности и глобальные [39].

При строительстве на вечномерзлых грунтах необходимо соблюдать правила, обеспечивающие предотвращения и ликвидацию опасных экологических и взаимодействующих с ними социальных и других последствий

Требования по экологии, учитываемые при строительстве, возникают на основе результатов инженерно-экологических изысканий, в которых показано состояние окружающей среды в данной местности и какое влияние на неё осуществит строящейся объект.

Прогноз влияния на природные условия должен осуществляться на весь период строительства и эксплуатации сооружений и устанавливает:

- вероятность изменения температурного режима вечномерзлых грунтов в районе строительства и примыкающих к нему территорий вследствие нарушений тепловых характеристик;
- изменение гидрогеологических показателей строительной площадки по причине производства земляных работ.

Существенные изменения окружающей среды при выполнении земляных работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов состоят в нарушении элементов начального рельефа и нарушении мохово-растительного покрова многолетнемерзлых грунтах.

Сохранение естественного основания под насыпью от протаивания на наиболее опасных участках с сильнольдистыми грунтами следует совершать путем теплоизоляции откосов мхом или торфом. Укладка теплоизоляции должна быть закончена до начала оттаивания грунтов.

Для сокращения объемов работ при отсыпке насыпи допускается укладка в ее основании различных теплоизоляционных материалов. Теплоизоляцию следует укладывать на мерзлый грунт. Толщина слоя теплоизоляции определяется в проекте теплотехническими расчетами.

Список использованной литературы

1. Бронин В.Н., Татаринов С.В. Механика грунтов: методические указания. – СПб.: СПГАСУ, 2012 – 64с.
2. Ведомственные строительные нормы ВСН 61-89. Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты/ Минтрансстрой СССР. – М.: ЦНИИС, 1990. - 208 с.
3. Ведомственные строительные нормы ВСН 84-89. Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты. / Минтрансстрой СССР. - М., 1990. – 176 с.
4. Гаврилов И.И. Земляное полотно в сложных природных условиях БАМа. Тр. XI научно-технической международной конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». М., МИИТ, 2014. - с. 112-119.
5. ГОСТ 24847–81 Грунты. Методы определения глубины сезонного промерзания [Текст]. – Введ. 1982–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 9 с.: ил.
6. ГОСТ 25358-2012 Грунты. Метод полевого определения температуры [Текст]. – Введ. 1982–06–30. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 14 с.: ил.
7. Дыдышко П.И. Обеспечение стабильности земляного железнодорожного пути в районах вечной мерзлоты. Тр. XI научно-технической международной конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». - М., МИИТ, 2014. – С. 105-113.
8. Дыдышко П.И. Стабилизация насыпей на вечной мерзлоте. Тр. VII научно – технической конференции с международным участием проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог». – М.: МИИТ,2010. – С. 74-89.

9. Дыдышко П.И., Жданова С.М. Усиление земляного полотна на оттаивающих вечномерзлых грунтах. - Хабаровск: ДВГУПС, 2005. - 137 с.
10. Дыдышко П.И. Проектирование земляного полотна железнодорожного пути: справочное пособие. – М.: Интекст, 2011. – 152 с.
11. Евстифеев Д.В. Анализ экспериментальных данных по исследованию суглинка Текст. / Д.В. Евстифеева, Г.П. Дроздовский // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр.- Брянск: БГИТА, 2004. - Вып. 9. - С. 179-181.
12. Железнодорожный съезд. Развитие 2030. – М.: Изд-во «Гудок», 2007.
13. Индивидуальное проектирование железных и автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах. Земляное полотно для железных дорог. СТО 01386088-19-2013: стандарт организации. - М.: 2013 [Текст]. – Введ. 2013-11-01. – М.: Гипростроймост, 2013, – 51 с.
14. Инструкция по содержанию земляного полотна на вечномерзлых грунтах/ МПС России, Байкало-Амурская ж. д. - Тында, 1993. - 82 с.
15. Киселев М.Ф. Теория сжимаемости оттаивающих грунтов под давлением. - СПб.: Стройиздат, 1978. - 176 с.
16. Лобанова Н.С. Ценообразование и сметное дело: Конспект лекций. – М.: МИИТ. - 2012.- 62 с.
17. Луцкий С.Я. Рекомендации по интенсивной технологии и мониторингу строительства земляных сооружений на слабых основаниях / Под общ. редакцией С.Я. Луцкого – М.: Информационно-издательский центр «Тимр», - 2005. – 96 с.
18. Луцкий С.Я., Хрипков К.Н. Несущая способность вечномерзлых оснований // Строительная техника и технологии, 2014. - № 5 - С. 104–109.
19. Луцкий С.Я., Хрипков К.Н. Упрочнение основания земляного полотна на таликах в криолитозоне // Транспортное дело России. – 2014, № 1. – с. 3-5.

20. Луцкий С.Я., Черкасов А.М., Хрипков К.Н. Технология для криолитозоны. Талики на вечной мерзлоте // Строительная техника и технологии, 2012. - № 7 - С. 58-65.
21. Луцкий С.Я., Черкасов А.М., Хрипков К.Н. Технология строительства в криолитозоне. Ж. «СТТ» №7, 2012. - С. 58-65
22. Луцкий С.Я., Шепитько Т.В. и др. Строительство путей сообщения на Севере. М.: ЛАТМЭС, - 2009. - 286 с.
23. Луцкий С.Я., Шепитько Т.В., Черкасов А.М., Хрипков К.Н. Применение комплексной технологии строительства земляных сооружений многолетнемерзлых «Проектирование и строительство автодорог в криолитозоне» - Салехард., 2013. – С. 31-35.
24. Луцкий С.Я., Шепитько Т.В., Черкасов А.М., Хрипков К.Н. Технология сооружения земляного полотна в таликовых зонах Ямала // Тр. VII науч – технич. конф. с междунар. участием «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог». - М.: МИИТ, 2010. - С. 134–136.
25. Маслов Н. Н. Инженерная геология: учебник / - М. : Стройиздат, 1971. - 344 с.
26. Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.5.003-2010 "Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог" (с изменениями и дополнениями)
27. Полевиченко А.Г. Стабилизация насыпи на оттаявших вечномерзлых грунтах // Путь и путевое хозяйство, 2010. - № 8. - С. 30-33.
28. Порядок определения стоимости строительства объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта и других объектов ОАО «РЖД» с применением отраслевой сметно-нормативной базы ОСНБЖ-2001 (ОПДС-2821.2011) Москва, 2015 – 162 с.
29. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. – М.: Росавтодор, 2004.

30. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) (утв. Приказом Госстроя СССР от 01.10.1984 N 100)
31. Постановление Госстроя России от 17.09.2002 N 123 "О принятии строительных норм и правил Российской Федерации "Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство. СНиП 12-04-2002" (Зарегистрировано в Минюсте России 18.10.2002 N 3880).
32. Правила № 70-П Технической эксплуатации и требования безопасности труда в газовом хозяйстве Российской Федерации (в ред. Изменений N 1, утв. Минтопэнерго РФ 22.03.1994).
33. Проектная документация ООО «ТРАНСПРОЕКТ», Строительство новой железнодорожной линии «Салехард – Надым» км 267 – км 354. – 2010.
34. Прокудин И.В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку: Дисс. д-ра.техн. наук. Л., 1983.- 455с.
35. Расчёты и проектирование железнодорожного пути: Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. трансп./ В.В. Виноградов, А.М. Никонов, Т.Г. Яковлева и др.; Под ред. В.В. Виноградова и А.М. Никонова. – М.: Маршрут, 2003. – 486 с.
36. Рекомендации по учёту и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. - М.: Стройиздат, 1986. – 86 с.
37. Свод правил СП 119.13330.2012 "СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм". Актуализированная редакция СНиП 32-01-95 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. N 276).
38. Свод правил СП 131.13330.2012 "СНиП 23-01-99*. Строительная климатология". Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. N 275) (с изменениями и дополнениями).

39. Свод правил СП 25.13330.2012 "СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах". Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2011 г. N 622).
40. Свод правил СП 32-104-98 "Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм" (одобрен Письмом Минземстроя РФ от 08.09.1998 N 13-498).
41. Свод правил СП 45.13330.2012 "СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты". Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2011 г. N 635/2).
42. Свод правил СП 48.13330.2011 "СНиП 12-01-2004. Организация строительства". Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 27 декабря 2010 г. N 781).
43. СНиП 23-01-99. Строительная климатология (с Изменением N 1). – М., 2000.
44. СНиП 2.05.03–84. Мосты и трубы. – М.: ЦИТП Госстрой СССР, 1984. – 200 с.
45. Создание проектно-изыскательской продукции на строительство и реконструкцию железнодорожной линии Обская – Салехард. – Отчет ООО ИЦ «Ямал» № 200216897. Лабытнанги, 2002 – 2005.
46. Спиридонов Э.С., Шепитько Т.В. Управление железнодорожным строительством: методы, принципы, эффективность. М.: Маршрут, 2008. – 556 с.
47. Способ укрепления основания земляного полотна на вечномерзлых грунтах: патент на изобретение 2074928 РФ: МПК E02D17/20, E02D17/18 // Кондратьев В.Г., Бройд И.И. - № 94022236/03; заявл. 10.06.1994; опубл.: 10.03.1997. - 2 с.

48. СТО 221 НОСТРОЙ 2.25.28-2012 Строительство земляного полотна автомобильных дорог. Часть 6. Возведение земляного полотна в зоне вечной мерзлоты.
49. Строительство новой железнодорожной линии «Обская - Салехард». Проектная документация. Раздел 5 «Проект организации строительства». Книга 1. Общая пояснительная записка. 6550-004-ПОС 1. Том 5.1. «ЛЕНГИПРОТРАНС», 2013.
50. Строительно-технические нормы Министерства путей сообщения Российской Федерации. СТН Ц-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. – М.: МПС, 1975. – 112 с.
51. ТОИ Р-218-07-93. Типовая инструкция по охране труда машиниста катка. Министерство транспорта Российской Федерации Федеральный дорожный департамент. 11 марта 1993 года.
52. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов – М.: Высшая школа, 1973 - 446 с.
53. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. Издание третье переработанное и дополненное. — Учебник для студентов и аспирантов вузов железнодорожного транспорта. — Москва: Транспорт, 1987. — 479 с.
54. Шахунянц Г.М. Земляное полотно железных дорог. - М.: Трансжелдориздат, 1953. – 827 с.
55. Plaxis 2D 2011. Руководство пользователя. СПб.: «НИП-Информатика», 2012. – С. 258–355.