

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

На правах рукописи



**Карелина Елена Леонидовна**

**МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ  
ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

(в двух томах)

Том 1

Специальность 2.1.8 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов,  
аэродромов, мостов и транспортных тоннелей  
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор,  
Воробьев Валерий Степанович

Новосибирск – 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Том 1

ВВЕДЕНИЕ.....	5
<b>ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ.....</b>	<b>12</b>
1.1 Анализ факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб.....	12
1.2 Дорожные районы и состояние объектов исследования.....	17
1.3 Цель и задачи исследования.....	23
Выводы по главе 1.....	26
<b>ГЛАВА 2. НАТУРНЫЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ.....</b>	<b>27</b>
2.1 Методика, способы и приборы, используемые при проведении натуральных и лабораторных исследований.....	27
2.2 Определение транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги в зонах расположения водопропускных труб.....	31
2.3 Определение продольной ровности дорожных покрытий.....	31
2.4. Натурные исследования.....	38
2.4.1 Проходка шурфов, измерение толщин конструктивных слоев дорожных одежд и отбор проб грунтов нарушенной и ненарушенной структуры.....	38
2.4.2 Динамическое зондирование грунтов.....	43
2.4.3 Штамповые испытания грунтов статической нагрузкой.....	52
2.5. Лабораторные исследования.....	55
2.6 Определение характеристик прочности и деформируемости грунтов земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб.....	77

Выводы по главе 2.....	91
ГЛАВА 3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЗОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ.....	93
3.1 Обоснование организации мониторинга параметров автомобильных дорог и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб.....	93
3.2 Исходные данные для корреляционно-регрессионного анализа физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб.....	94
3.3 Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и плотности грунта.....	96
3.4 Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и угла внутреннего трения.....	98
3.5 Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и удельного сцепления.....	100
3.6 Оценка несущей способности земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб.....	117
3.7 Методика мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог.....	127
3.8 Оптимизация инвестиций на содержание автомобильных дорог регионального и межмуниципального значения и искусственных сооружений на них.....	128
Выводы по главе 3.....	132
ГЛАВА 4. МОНИТОРИНГ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ КАК ОСНОВА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УКРЕПЛЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В МЕСТАХ ДЕФОРМАЦИЙ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.....	134

4.1 Обоснование принятия решений об укреплении земляного полотна в местах устройства водопропускных труб.....	134
4.2 Способ укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб.....	137
Выводы по главе 4.....	141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	142
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	144
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Справки о внедрении результатов диссертационного исследования.....	165

## Том 2

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Физико-механические характеристики грунтов по ИГЭ.....	3
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб .....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов.....	114
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации).....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Расчет несущей способности земляного полотна а/д «К-17Р» в зонах расположения водопропускных труб.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Оценка точности моделирования параметров грунтов: плотности, угла внутреннего трения, удельного сцепления.....	161

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в экономике регионов усиливается роль и значение перевозок автомобильным транспортом. Возрастают темпы роста строительства новых и реконструкции действующих автомобильных дорог при одновременном повышении качества их содержания. Национальным проектом «Безопасные и качественные автомобильные дороги» планируется увеличить протяженность отремонтированных дорог, соответствующих международным стандартам качества к 2025 году в 1,85 раза по 37 агломерациям в 34 регионах Российской Федерации. Реализация данного проекта в установленные сроки возможна при наличии научно обоснованных программ мониторинга автомобильных дорог, привлечения инвестиций на основе государственно-частного партнерства и оптимизации бюджетного финансирования.

В новых условиях существенно возрастает актуальность системного подхода к выбору экономически выгодных стратегий содержания автомобильных дорог. Согласно ОДН 218.4.039-2018 рекомендуемая периодичность проведения работ по плановой диагностике автомобильных дорог I, II, III категорий составляет 1 год.

Диагностикой предусматривается определение параметров и характеристик автомобильных дорог при реализации проектов реконструкции и капитального ремонта, возможности движения транспортных средств, осуществляющих перевозки тяжеловесных и (или) крупногабаритных грузов, а также необходимости актуализации информации о транспортно-эксплуатационном состоянии дороги с фиксацией продольной ровности и регистрации дефектов покрытия проезжей части согласно ОДН 218.4.039-2018.

В связи с увеличением скоростей и интенсивности движения транспортных потоков, ростом нагрузок на ось, провозной способности увеличивается износ конструкций автомобильных дорог, что проявляется в процессе их содержания. Мониторинг технического состояния до настоящего времени осуществляется при осенне-летних и зимних осмотрах, что не позволяет получать количественные

характеристики, на значение которых существенное влияние оказывают параметры физико-механических характеристик грунтов земляного полотна.

Получение физико-механических характеристик грунтов позволяет прогнозировать состояние автомобильных дорог, особенно в зонах расположения водопропускных труб, что сократит значительные, материально-технические и экономические ресурсы для проведения натурных и лабораторных исследований. Поэтому актуальным направлением является мониторинг и прогнозирование физико-механических характеристик грунтов земляного полотна, предшествующих диагностике в случае необходимости.

Учитывая назначение водопропускных труб как инженерных сооружений, обеспечивающих пропуск и отвод воды, влияющей на физико-механические характеристики грунтов земляного полотна в зоне расположения водопропускных труб, актуальным является их исследование и разработка методов, моделей и методики, направленных на прогнозирование физико-механических характеристик грунтов по результатам мониторинга, что значительно сократит объем изысканий и стоимость выполнения работ.

Выбранное направление исследования согласуется с приоритетными направлениями развития науки Российской Федерации, в частности с Государственным проектом «Безопасные и качественные автомобильные дороги», предусматривающим применение недорогих технологий мониторинга, прогнозирования и способов укрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб, а также Государственной программой Новосибирской области «Развитие автомобильных дорог регионального, межмуниципального и местного значения в Новосибирской области».

**Степень разработанности темы.** Исследования проблем эксплуатации автомобильных дорог выполнялись учеными СоюздорНИИ (РосдорНИИ), МАДИ, СибАДИ, РУТ (МИИТ), СГУПС, ТГАСУ, ПГУПС и многих других научных организаций, в составе которых решались задачи повышения качества содержания земляного полотна автомобильных дорог.

Исследованию эксплуатации автомобильных дорог посвятили труды В. Ф. Бабков, О. Т. Батраков, А. К. Бируля, А. П. Васильев, Н. Н. Иванов, В. Д. Казарновский, Я. А. Калужский, А. М. Кривисский, З. А. Мевлидинов, В. М. Сиденко, В. Н. Смирнов, А. Я. Тулаев, В. Н. Яромко и др.

Процессы, происходящие в грунте земляного полотна при эксплуатации автомобильных дорог, а также при его укреплении были исследованы такими учеными как И. И. Бройд, Ю. М. Васильев, Э. М. Добров, В. Н. Ефименко, С. В. Ефименко, А. Л. Исаков, С. Я. Луцкий, В. П. Подольский, Н. А. Пузаков, Б. А. Ржаницын, Н. Я. Хархута, Н. А. Цытович и др.

Методы математического моделирования эксплуатации автомобильных дорог разрабатывались В. С. Воробьевым, О. А. Бендер, Д. А. Донгак, А. Ф. Зубковым, А. И. Яролинским.

В данной области исследований известны труды иностранных ученых: P. Diggele, G. Morel, M. Okamura, T. Schanz, H. Seed, F. Tosti и др.

**Актуальность работы** определяется значимостью водопропускных труб для нормальной эксплуатации автомобильных дорог и недостаточной изученностью организации мониторинга в зоне их расположения и прогнозирования параметров физико-механических характеристик грунтов земляного полотна на его основе.

**Целью диссертационного исследования** является совершенствование мониторинга состояния земляного полотна и прогнозирование физико-механических характеристик инженерно-геологических элементов грунтов для сокращения затрат на оценку транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог в зоне расположения водопропускных труб.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи:**

1. Провести оценку транспортно-эксплуатационного состояния участков автомобильной дороги в местах устройства водопропускных труб и выявить исходные показатели физико-механических характеристик грунтов земляного полотна и на удалении от них;

2. На основе натуральных, лабораторных и теоретических исследований разработать комплекс статистических моделей для прогнозирования физико-механических характеристик инженерно-геологических элементов грунтов автомобильных дорог в зоне расположения водопропускных труб;

3. Разработать методику мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог;

4. Разработать эффективный способ упрочнения грунтов земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб по результатам мониторинга физико-механических характеристик грунтов, повышающий транспортно-эксплуатационное состояние автомобильной дороги.

**Объектом исследования** являются участки автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб.

**Предмет исследования** - модели, методы, методики мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог.

**Научная новизна работы** заключается в выявлении новых закономерностей и разработке рекомендаций организации мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог.

1. На основе натуральных, лабораторных и теоретических исследований установлены статистические связи между физико-механическими характеристиками грунтов, представленные комплексом регрессионных моделей.

2. Установлены статистические связи между физико-механическими характеристиками грунтов по типам инженерно-геологических элементов.

3. Обоснован подход к оценке достоверности теоретических значений физико-механических характеристик грунтов относительно полученных в процессе исследований.

4. Разработана методика мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб

автомобильных дорог.

5. Разработан способ упрочнения грунтов земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб по результатам мониторинга физико-механических характеристик грунтов, повышающий транспортно-эксплуатационное состояние автомобильной дороги.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в системном обобщении достоверных знаний о физико-механических характеристиках грунтов земляного полотна в зоне расположения водопропускных труб на автомобильных дорогах регионального значения.

Результаты исследования отражены в методике, позволяющей выполнять мониторинг автомобильных дорог, прогнозирование физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб и использовать при проектировании и усилении грунтов земляного полотна. Разработан способ, позволяющий расширить границы применения метода напорного инъецирования для создания усиленных зон земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб.

**Методология и методы исследования.** Натурные и лабораторные исследования грунтов земляного полотна на участках автомобильных дорог в местах расположения водопропускных труб в сочетании с корреляционно-регрессионным анализом и прогнозированием выявленных физико-механических характеристик грунтов, а также методов инженерных решений при разработке способа усиления земляного полотна.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты исследований транспортно-эксплуатационного состояния участков автомобильных дорог Новосибирской области в местах расположения водопропускных труб и на некотором удалении от них, и физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в структуре инженерно-геологических элементов.

2. Зависимость показателя продольной ровности покрытия автомобильных дорог от физико-механических, прочностных и деформационных характеристик

грунтов земляного полотна автомобильных дорог в местах расположения водопропускных труб.

3. Комплекс статистических моделей физико-механических характеристик грунтов земляного полотна автомобильных дорог в зоне расположения водопропускных труб.

4. Методика мониторинга автомобильных дорог и прогнозирование физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог.

**Степень достоверности** полученных результатов подтверждается применением сертифицированных и поверенных приборов, оборудования и средств измерения; применением детально проработанной методики, основанной на использовании современных средств обработки данных; воспроизводимостью и обработкой результатов с использованием методов математической статистики.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на научных конференциях различного уровня, научных семинарах в СГУПС, ТГАСУ, СибАДИ.

**Личный вклад автора состоит в:**

- разработке и реализации программы исследований;
- оценке влияния физико-механических характеристик грунтов земляного полотна на транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог;
- разработке моделей физико-механических характеристик на основе статистических данных грунтов земляного полотна автомобильных дорог в зоне расположения водопропускных труб;
- разработке методики мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог;
- научном обосновании и разработке изобретения «Способа укрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб», защищенного патентом РФ в соавторстве.

**Публикации и изобретения.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в десяти печатных работах, в том числе пять статей в ведущих научных рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России, одна статья – в издании, входящем в международную базу цитирования Scopus. По результатам исследований получен патент РФ на изобретение «Способ укрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб», а также получены патенты РФ на полезные модели «Свая» и «Составная свая».

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из двух томов. Первый том – основной текст диссертации, включает введение, четыре главы, заключение, список литературы, справки о внедрении результатов диссертационного исследования. Текст первого тома диссертации изложен на 167 страницах и иллюстрирован 26 рисунками и 47 таблицами. Список литературы включает 167 наименований. Второй том включает шесть приложений на 193 страницах.

# ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

## 1.1 Анализ факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб

Автомобильная дорога предназначена для обеспечения круглогодичного, непрерывного, комфортного, удобного и безопасного движения автотранспорта с заданными нагрузками и скоростями. Назначение автомобильной дороги определяет ее потребительские свойства: обеспеченную дорогой скорость, пропускную способность, уровень загрузки, способность пропускать автомобили с заданными осевой нагрузкой и грузоподъемностью, непрерывность, комфортабельность и безопасность движения [121, 135].

Потребительские свойства дороги оказывают непосредственное влияние на эффективность и безопасность работы автомобильного транспорта, отражают интересы пользователей дорог [27, 88].

Важнейшим показателем работоспособности автомобильной дороги является её транспортно-эксплуатационное состояние (ТЭС АД), определяемое по степени соответствия потребительским свойствам дороги [30].

От ТЭС АД непосредственно зависят технико-экономические показатели работы автомобильного транспорта: средняя скорость движения, производительность, себестоимость, расход топлива [7, 8, 12, 13, 48, 50, 64, 141].

На ТЭС АД оказывают влияние такие факторы как ровность, сцепные качества покрытия, прочность дорожных одежд и работоспособность наиболее распространенных искусственных сооружений на автомобильных дорогах - водопропускных труб [13, 14, 29, 45, 47, 54, 55, 56, 57, 59, 62, 63, 98, 104, 106, 110, 111, 113, 122, 124, 132, 146, 154].

Исследованию ТЭС АД и деформаций дорожных одежд посвящены работы Воробьева В. С. [21, 22, 23, 24, 25, 26, 167], Пай В. Э. [115], Бендер О. А. [10, 11],

Карелиной Е. Л. [75, 76, 77, 116, 167], Николенко Д. А. [107], Исакова А. Л. [71], Крицкого М. Я. [82, 83, 84, 85], Ланиса А. Л. [89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 119], Луцкого С. Я. [99, 100, 101], Донгака Д. А. [49] и др.

В местах устройства водопропускных труб наиболее существенным фактором, оказывающим влияние на ТЭС АД является ровность покрытия дорожных одежд в связи с конструктивными особенностями участка.

Ровность покрытия непостоянна в процессе эксплуатации [45, 66, 75, 76, 79, 87, 102, 103, 140, 152, 153], так как под воздействием транспортных нагрузок [96] и погоднo-климатических факторов в рабочем слое грунта земляного полотна [4, 28, 58, 60, 111, 125, 126, 136, 142] возникают неравномерные остаточные деформации [65]. Это обусловлено неоднородностью грунтов земляного полотна [52, 108, 162, 163] и материалов конструктивных слоев дорожных одежд [6, 38, 69, 74, 126], а также условиями эксплуатации и качеством производства работ.

В работах Н. Я. Хархуты, А. М. Кривисского, В. Д. Казарновского, Ю. М. Васильева и др. отмечено, что грунт рабочего слоя земляного полотна играет главную роль в процессе накопления неравномерных остаточных деформаций дорожной одежды [72, 81, 148].

Исследования Ю. М. Васильева и Н. Я. Хархуты [16, 17, 18, 19, 149, 150] показали, что деформация, вызванная действием переменной нагрузки от движения транспорта, развивается в верхнем слое насыпи на глубину до 1,5 м, считая от поверхности дорожной одежды. При каждом повторном воздействии нагрузки в грунтовом массиве возникающие активные касательные напряжения приводят к элементарным пластическим сдвигам, которые постепенно накапливаются и приводят к нарушению ровности покрытий.

А. М. Кривисский [81] отмечает, что одной из причин постепенного накопления остаточных деформаций дорожной одежды под действием повторных нагрузок от движущегося транспорта для конструкций, работающих в упруго-вязкой стадии, является развитие пластических смещений в грунтовом массиве. Деформации развиваются при определенном соотношении между величиной действующих в грунтовом массиве касательных напряжений и сопротивлением

грунта сдвигу [42], обусловленным его составом, степенью влажности и плотности.

В. Д. Казарновский [72, 73] считает, что при соблюдении требований к уплотнению земляного полотна и материалов конструктивных слоев дорожной одежды на стадии строительства, дальнейшее накопление остаточных деформаций в этих конструктивных элементах за счет доуплотнения практически невозможно. Поэтому деформации, возникающие под воздействием транспортных средств, могут носить характер только формоизменения, т.е. деформаций сдвига. Несмотря на то, что сдвигающие напряжения на поверхности дорожной одежды в пять раз больше, чем на поверхности грунта рабочего слоя земляного полотна, грунт из-за низких прочностных свойств является наиболее слабым элементом в дорожной конструкции.

Процесс деформирования грунтов в значительной степени определяется их реологическими свойствами, связанными с изменением напряженно-деформированного состояния во времени. В грунтах различают три фазы: твердую, жидкую и газообразную. Прикладываемая к грунтам нагрузка воспринимается не только скелетом грунта, но и водными пленками, окружающими минеральные частицы. Под нагрузкой свободная вода стремится переместиться из напряженной зоны. Она вынуждена проходить через тонкие капилляры, и испытывает большие сопротивления. Одновременно происходит сближение частиц, что приводит к уменьшению толщины водных пленок на их поверхности, что ведет к увеличению плотности грунта.

При высокой плотности грунта оболочки пленочной воды прорезаются и возникают непосредственные контакты между соседними минеральными зернами. При дальнейшем сближении частиц увеличивается площадь их контактов, что приводит к увеличению сил сцепления между ними.

Таким образом, повышение плотности приводит к улучшению прочностных и деформационных характеристик грунтов, которые оказывают непосредственное влияние на скорость накопления и конечную величину остаточных деформаций [44, 39, 44, 61, 67, 155, 161, 164, 166].

Впервые нормы плотности грунтов земляного полотна были установлены в результате исследовательской работы, проведенной в 1936-1938 г. проф. Ивановым Н. Н. [70] и др. Нормы плотности назначали аналогичным уровням плотности старых насыпей, простоявших более 50 лет.

В 1962 г. требования к плотности были несколько повышены и дифференцированы в зависимости от высоты насыпи, типа покрытия, климатического района строительства и условий увлажнения насыпи [81].

В 1972 г. были предъявлены дополнительные требования к уплотнению насыпей, выемок и земляного полотна в нулевых отметках [9, 16]. Степень уплотнения оценивалась коэффициентом уплотнения ( $k_y$ ), который представляет собой отношение плотности скелета грунта в конструкции к максимальной плотности скелета того же грунта при стандартном уплотнении. При назначении его наименьшей величины учитывалась практическая возможность достижения требуемой плотности имеющимися средствами уплотнения и эффективность норм плотности с точки зрения устойчивости дорожных насыпей в процессе эксплуатации.

При уплотнении грунта земляного полотна до  $k_y = 1,05 - 1,10$  (по отношению к стандартной плотности) его модуль упругости увеличивается в 1,5-2 раза по сравнению с модулем упругости при  $k_y = 1,00$  [9, 16].

В работе Р. Diggele [160] доказывается, что увеличение плотности на 5% приводит к повышению несущей способности грунта на 50%.

В исследовательских работах других авторов [1, 2, 3, 4, 5, 158, 159, 165] отмечено, что увеличение степени уплотнения до  $k_y = 1,05$  вызывает рост прочностных показателей (угла внутреннего трения  $\varphi$ , сцепления  $C$ ) на 20-40% и повышение их однородности в 3-4 раза, морозоустойчивость при этом возрастает в 1,5-2 раза.

Существенное влияние на плотность грунта земляного полотна оказывает влажность [43]. Особенно это характерно для участков в местах устройства

водопроницаемых труб, предназначенных для пропуска небольших постоянных или периодически действующих водотоков.

Экспериментальные исследования Н. А. Пузакова, В. М. Сиденко, А. Я. Тулаева, Н. Я. Хархуты и др. показали, что водно-тепловой режим земляного полотна оказывает существенное влияние на несущую способность грунта [20, 70, 130, 150]. Изменение водно-теплого режима земляного полотна вызывает в грунтах сложные физико-химические процессы. В течение цикла «замораживание-оттаивание» влажность и плотность грунтов земляного полотна претерпевают существенные изменения, которые отражаются на условиях работы дорожных одежд и сокращают срок их службы. Влажность верхней части земляного полотна зависит от типа покрытия и общей толщины дорожной одежды. Земляное полотно промерзает по ширине неравномерно. Влага из нижней его части и с боков перемещается по направлению к дорожной одежде, где температура грунта наиболее низкая.

Весной при оттаивании ледяных линз и прослоек в земляном полотне появляется свободная вода и его прочность снижается. Величина модуля упругости при этом падает иногда на 25-40 %, что сопровождается образованием дефектов на дорожных покрытиях.

В осенне-зимний период влажность верхних слоев земляного полотна увеличивается в результате проникания поверхностных вод через трещины покрытия, обочины и разделительную полосу, а также перемещения влаги из глубинных слоев грунта и боковых канав под дорожную одежду. Прочность грунтов постепенно снижается, соответственно уменьшается и прочность дорожных конструкций.

При капитальном ремонте, реконструкции улучшение водно-теплого режима земляного полотна достигается прежде всего повышением степени уплотнения грунта, устройством морозозащитно-дренирующего слоя; регулированием водно-теплого режима земляного полотна с помощью гидроизолирующих, теплогенерирующих, дренирующих или капиллярно-прерывающих прослоек; укреплением или улучшением грунта рабочего слоя с

помощью вяжущих; использованием армирующих геосинтетических прослоек; понижением уровня подземных вод с устройством дренажа.

Опыт эксплуатации автомобильных дорог показал, что сезонные изменения влажности и плотности грунта земляного полотна носят замкнутый, циклический характер, в результате чего плотность достигает некоторого стабильного значения [68, 123, 129, 144]. Понятие стабильной плотности, т.е. той минимальной плотности, выше которой при эксплуатации дороги отсутствуют деформации, осадки и набухание при действии нагрузок и увлажнении, ввели Ю. М. Васильев и Н. Я. Хархута [16, 150]. Если начальная плотность близка к стабильной, процессы уплотнения-разуплотнения могут взаимно компенсироваться в течение года [160].

По данным Ю. М. Васильева увеличение степени уплотнения приводит к улучшению ровности покрытия и уменьшению осадки земляного полотна, что, в свою очередь улучшает ТЭД АД в местах устройства водопропускных труб [16, 18, 19] и позволяет прийти к эффективному решению данной проблемы.

## **1.2 Дорожные районы и состояние объектов исследования**

Побудительной причиной исследований явилось состояние автомобильных дорог Новосибирской области, особенно автомобильной дороги регионального значения К17-р «Новосибирск – Кочки – Павлодар» (а/д «К-17р»), обеспечивающей межгосударственное транспортное сообщение со странами СНГ, такими как Казахстан, Узбекистан, Киргизия, Таджикистан. Автомобильная дорога имеет II техническую категорию с капитальным типом дорожной одежды (асфальтобетонное покрытие) и двумя полосами движения.

Исследования были проведены на 15 участках, протяженностью 334 км и выполнены на 20, 44, 72, 156, 171, 180, 182, 201, 205, 226, 228, 289, 303, 327, 334 км а/д «К-17р».

Согласно СТП ТУАД 32-03-2000 [139] рассматриваемые участки расположены в трех дорожных районах: III Р.4, III Р.3, III Х.1. Перечень объектов исследования приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Перечень и расположение объектов исследования согласно СТП ТУАД 32-03-2000 [139]

Индекс дорожного района	Адреса объектов исследования
III.Р.4	а/д «К-17р» км 20, км 44, км 171, км 180, км 182, км 201, км 205, км 226, км 228
III.Х.1	а/д «К-17р» км 72, км 156
III.Р.3	а/д «К-17р» км 289, км 303, км 327, км 334

На рисунке 1.1 представлена схема расположения объектов исследования согласно СТП ТУАД 32-03-2000 [139]

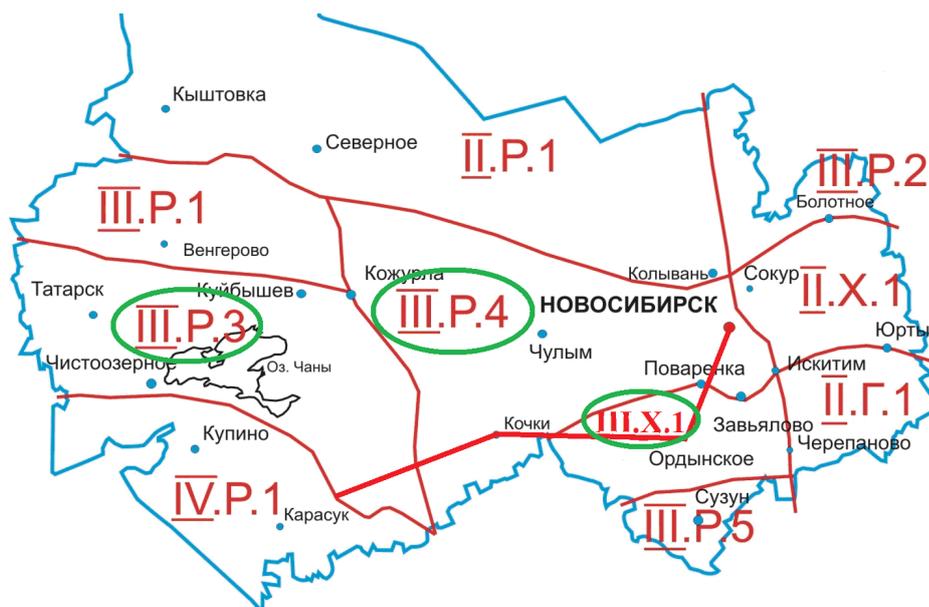


Рисунок 1.1 – Схема расположения объектов исследования

Участки а/д «К-17р» расположены на юго-западе Новосибирской области (НСО) и находятся на:

- 1) 20 км а/д «К-17р» в Новосибирском районе;
- 2) 44 км а/д «К-17р» в Новосибирском районе;
- 3) 72 км а/д «К-17р» в Ордынском районе;
- 4) 156 км а/д «К-17р» в Ордынском районе;
- 5) 171 км а/д «К-17р» в Кочковском районе;

- 6) 180 км а/д «К-17р» в Кочковском районе;
- 7) 182 км а/д «К-17р» в Кочковском районе;
- 8) 201 км а/д «К-17р» в Кочковском районе;
- 9) 205 км а/д «К-17р» в Кочковском районе;
- 10) 226 км а/д «К-17р» в Кочковском районе;
- 11) 228 км а/д «К-17р» в Кочковском районе;
- 12) 289 км а/д «К-17р» в Краснозерском районе;
- 13) 303 км а/д «К-17р» в Краснозерском районе;
- 14) 327 км а/д «К-17р» в Краснозерском районе;
- 15) 334 км а/д «К-17р» в Краснозерском районе.

Общий вид участков а/д К-17р представлен на рисунке 1.2.

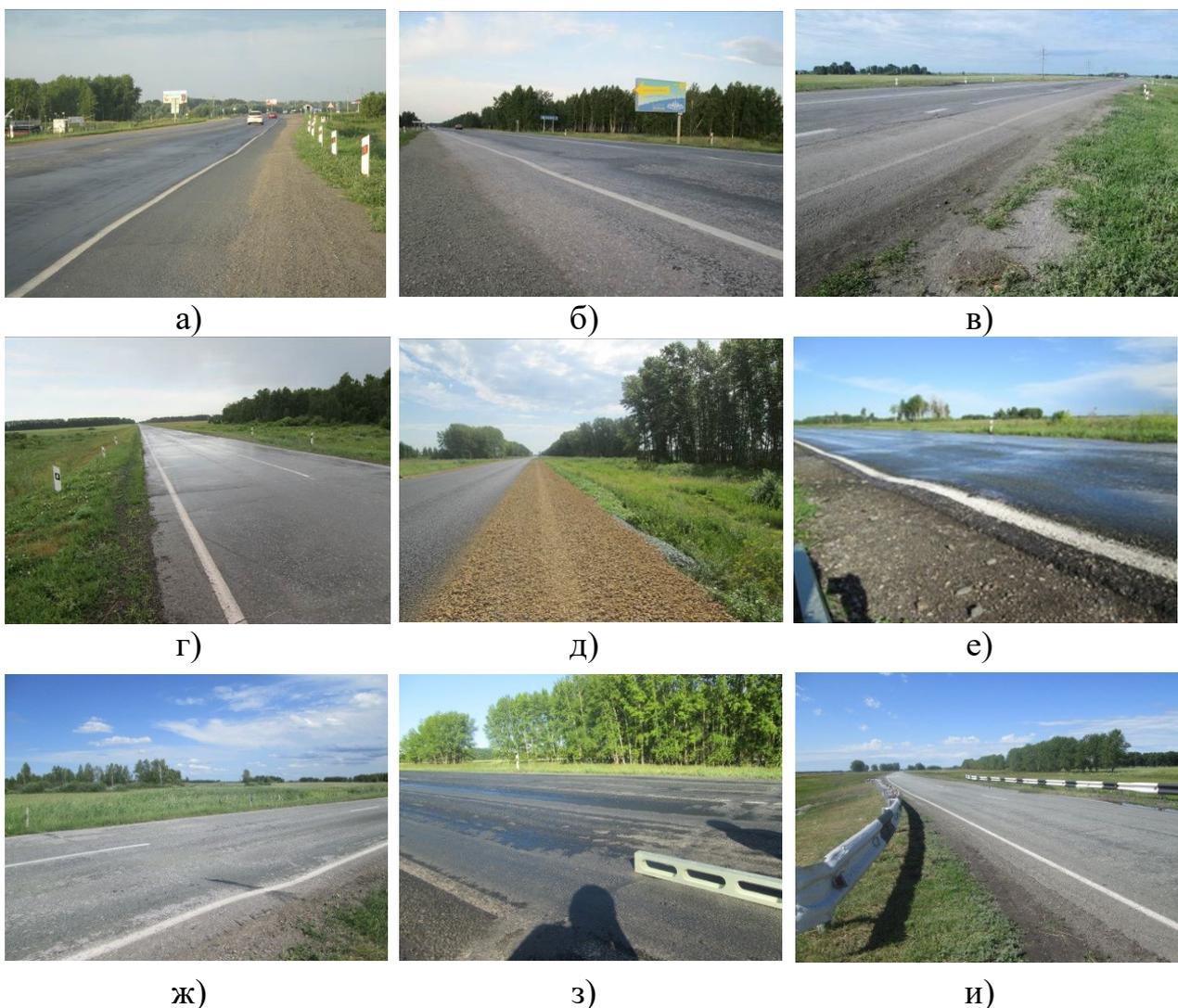


Рисунок 1.2 – Общий вид участков а/д «К-17р»:

- а) 20 км а/д «К-17р»; б) 44 км а/д «К-17р»; в) 72 км а/д «К-17р»;  
 г) 156 км а/д «К-17р»; д) 171 км а/д «К-17р»; е) 180 км а/д «К-17р»;  
 ж) 182 км а/д «К-17р»; з) 201 км а/д «К-17р»; и) 205 км а/д «К-17р»

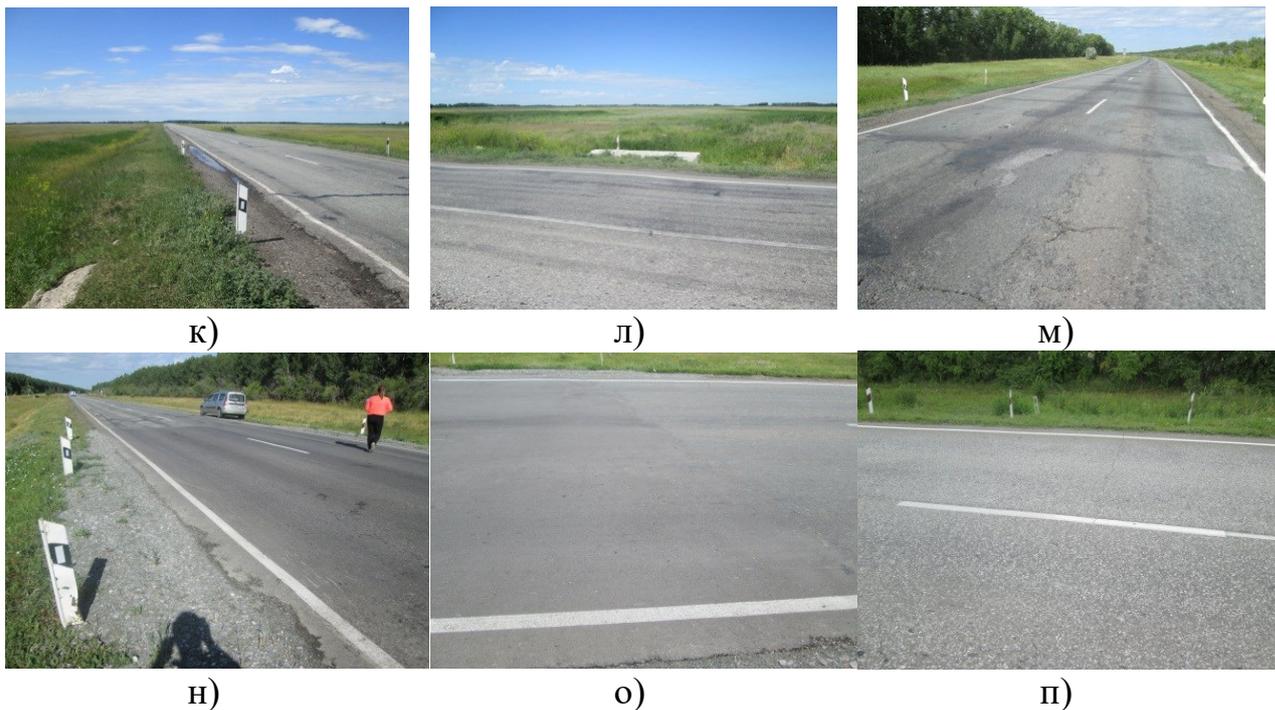


Рисунок 1.2 (продолжение) – Общий вид участков а/д «К-17р»:

к) 226 км а/д «К-17р»; л) 228 км а/д «К-17р»; м) 289 км а/д «К-17р»;  
 н) 303 км а/д «К-17р»; о) 327 км а/д «К-17р»; п) 334 км а/д «К-17р».

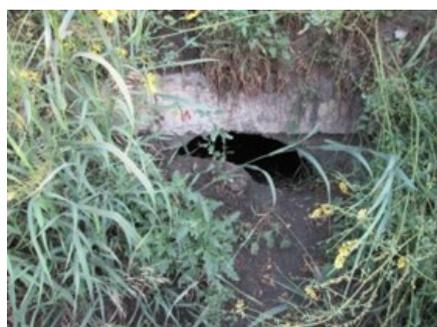
По результатам рекогносцировочного обследования была составлена таблица 1.2, включающая такие показатели как: адрес участка а/д «К-17р», высота насыпи, высота засыпки водопропускной трубы, ширина покрытия, ширина обочин, характеристики водопропускной трубы: вид, длина диаметр отверстия.

Таблица 1.2 – Адреса и характеристики участков а/д «К-17р»

№ п/п	Адрес участка, км	Высота насыпи / засыпки трубы, м	Ширина покрытия, м	Ширина обочины левая/ правая, м.	Тип трубы, м	Длина трубы, м	Форма и диаметр отверстия трубы
1	20	3,1/0,9	12,0	1,6/1,7	ж/б	19,20	круглая Ø 1,0 м
2	44	2,6/1,0	10,9	1,6/1,5	ж/б	20,00	круглая Ø 1,5 м
3	72	3,8/0,9	10,1	0,9/1,5	б	22,58	скотопрогон 4,0*2,5 м
4	156	4,0/2,8	7,0	1,8/2,0	ж/б	22,08	3-х очковая круглая 3* Ø 1,0 м
5	171	2,1/1,0	7,0	1,9/1,8	ж/б	12,00	круглая Ø 1,0 м
6	180	2,2/1,1	7,0	1,8/1,9	ж/б	18,7	круглая Ø 1,0 м
7	182	1,8/0,7	7,0	2,0/2,0	ж/б	19,05	круглая Ø 1,0 м
8	201	1,7/0,7	13,7	2,4/2,1	ж/б	28,85	круглая Ø 1,0 м
9	205	2,5/0,9	7,2	1,4/1,8	ж/б	18,30	2-х очковая круглая 2*Ø 1,5 м
10	226	2,0/0,9	7,0	2,1/2,9	ж/б	18,10	круглая Ø 1,0 м
11	228	2,3/1,0	6,6	2,9/1,9	ж/б	18,10	круглая Ø 1,0 м
12	289	2,7/1,0	7,1	2,1/1,7	ж/б	17,60	2-х очковая круглая 2*Ø 1,5 м
13	303	2,2/0,7	7,6	1,7/2,2	ж/б	18,80	круглая Ø 1,0 м
14	327	2,1/1,1	7,7	2,4/2,1	ж/б	17,46	круглая Ø 0,8 м
15	334	2,2/1,0	7,8	1,6/3,2	ж/б	18,50	круглая Ø 1,0 м

Из таблицы 1.2 видно, что на 14 участках а/д «К-17р» были применены сборные железобетонные трубы одноочковые, двухочковые и трехочковые диаметром от 0,8 до 1,5 м., на 72 км а/д «К-17р» установлен бетонный скотопрогон прямоугольной формы 4,0\*2,5 м. Режим работы сооружений – безнапорный. Тип входного и выходного оголовков – раструбный.

Фотографии водопропускных труб, расположенные на исследуемых участках а/д «К-17р» представлены на рисунке 1.3.



а)



б)



в)



Рисунок 1.3 – Водопрпускные трубы, расположенные на рассматриваемых участках а/д «К-17р»:

а) 20 км а/д «К-17р»; б) 44 км а/д «К-17р»; в) 72 км а/д «К-17р»;  
 г) 156 км а/д «К-17р»; д) 171 км а/д «К-17р»; е) 180 км а/д «К-17р»;  
 ж) 182 км а/д «К-17р»; з) 201 км а/д «К-17р»; и) 205 км а/д «К-17р»;  
 к) 226 км а/д «К-17р»; л) 228 км а/д «К-17р»; м) 289 км а/д «К-17р»;  
 н) 303 км а/д «К-17р»; о) 327 км а/д «К-17р»; п) 334 км а/д «К-17р».

### 1.3 Цель и задачи исследования

В местах устройства водопропускных труб на автомобильных дорогах в процессе эксплуатации возникают дефекты и деформации покрытий дорожных одежд, происходящие под влиянием транспортных нагрузок, погодноклиматических условий, неработоспособного состояния конструктивных частей водопропускных труб и т.д., и приводящие к нарушению их ровности. При этом автомобильная дорога перестает отвечать нормативным требованиям, предъявляемым к ней, нарушается работоспособность и безопасность. Причинами нарушения ровности покрытия дорожных одежд являются как недостаточная степень уплотнения грунта при строительстве, так и образование разуплотненных зон земляного полотна при эксплуатации автомобильной дороги. Особенно это характерно на участках автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб.

Как правило, ТЭС АД в местах устройства водопропускных труб устанавливается по фактическим данным деформаций дорожной одежды. При этом отсутствует информация по состоянию показателей инженерногеологических элементов (ИГЭ) земляного полотна и их соответствия нормативным требованиям. Поэтому принятие решений по текущему содержанию и ремонту осуществляется с запаздыванием и эксплуатируемый участок определенное время находится в частично неработоспособном состоянии. Для исключения подобных ситуаций и своевременного принятия решений о необходимости проведения текущего ремонта необходим мониторинг и прогнозирование физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб.

Следует отметить научные работы, позволяющие обосновать и реализовать наиболее оптимальные решения по содержанию и ремонту автомобильных дорог [15, 51, 64 80, 86, 114, 128, 143, 154].

Известны работы по технологии, методах интеллектуального мониторинга автотранспортных потоков и состояния автомобильных дорог [86],

геотехническому мониторингу согласно ОДМ 218.4.1.002–2020 [109], не отвечающие на проблему прогнозирования состояния параметров грунтов земляного полотна в зоне расположения водопропускных труб. Поэтому в рамках реализации Национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» [105] совершенствование мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик ИГЭ грунтов в зоне расположения водопропускных труб позволяет сократить затраты на оценку ТЭС АД, оптимизировать сроки проведения ремонтных работ и уменьшить их объемы. В настоящее время существует достаточно большое количество технологий производства ремонтных работ. Применительно к упрочнению грунтов известны работы [12, 82, 83, 84, 85, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 119, 127, 131, 133, 138]. Вместе с тем, при несомненных их достоинствах имеются определенные недостатки, позволившие выдвинуть гипотезу о том, что использование метода напорной инъекции создает в теле земляного полотна укрепленный массив грунта, воспринимающий давление от верхнего рабочего слоя земляного полотна и транспортной нагрузки и передающий его на основание [120], также способствующий снижению затрат и сокращению сроков проведения ремонтных работ.

В диссертации автором исследованы участки а/д «К-17р» регионального значения, которая обеспечивает межгосударственное транспортное сообщение со странами СНГ (Казахстан, Узбекистан, Киргизия, Таджикистан), пролегает по нескольким районам НСО (Новосибирскому, Ордынскому, Кочковскому, Краснозёрскому, Карасукскому) и имеет выход на Алтайский край.

Актуальность объектов исследования подтверждена статистическими данными: при общей протяженности автодорог НСО равной 28153,3 км, региональные и муниципальные дороги составляют 12732,9 км, т.е. 45% от общего количества автомобильных дорог.

В целях реализации Национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» представляется целесообразным рассмотреть проблемы, возникающие при эксплуатации а/д «К-17р». Указом Президента РФ от 07.05.2018 г. № 204 к 2024 г. [147] необходимо обеспечить:

- увеличение доли автомобильных дорог регионального и муниципального значения НСО, соответствующих нормативным требованиям, в их общей протяженности не менее чем до 46,0%;
- доведение в Новосибирской агломерации доли автомобильных дорог соответствующих нормативным требованиям в их общей протяженности до 85%;
- доведение в 2024 году доли контрактов на осуществление дорожной деятельности в рамках реализации национального проекта, предусматривающих использование новых технологий и материалов до 80%;
- доведение в 2024 году доли контрактов на осуществление дорожной деятельности, при выполнении работ на принципах контракта жизненного цикла, предусматривающего объединение в один контракт различных видов дорожных работ до 70%.

Автором выполнены исследования, логическая структура которых приведена на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Логическая структура исследования

## Выводы по главе 1

1. Исследованиями ряда ученых в течение исторически продолжительного времени установлена и закреплена нормативными документами зависимость технико-экономических показателей, безопасности работы автомобильного транспорта от транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог, одним из определяющих факторов которого является ровность дорожного покрытия. Немаловажную роль в эксплуатации автомобильных дорог играет работоспособность конструктивных элементов инженерных сооружений, в большинстве случаев, представленных водопропускными трубами.

2. Актуальным направлением повышения эффективности работы автомобильных дорог в зоне расположения водопропускных труб является мониторинг, прогнозирование физико-механических характеристик грунтов земляного полотна и применение инновационных технических решений по его укреплению в определенных случаях.

## ГЛАВА 2. НАТУРНЫЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

### 2.1 Методика, способы и приборы, используемые при проведении натуральных и лабораторных исследований

Состав исследований ТЭС АД и характеристик грунтов земляного полотна в зоне расположения водопропускных труб представлен на рисунке 2.1.

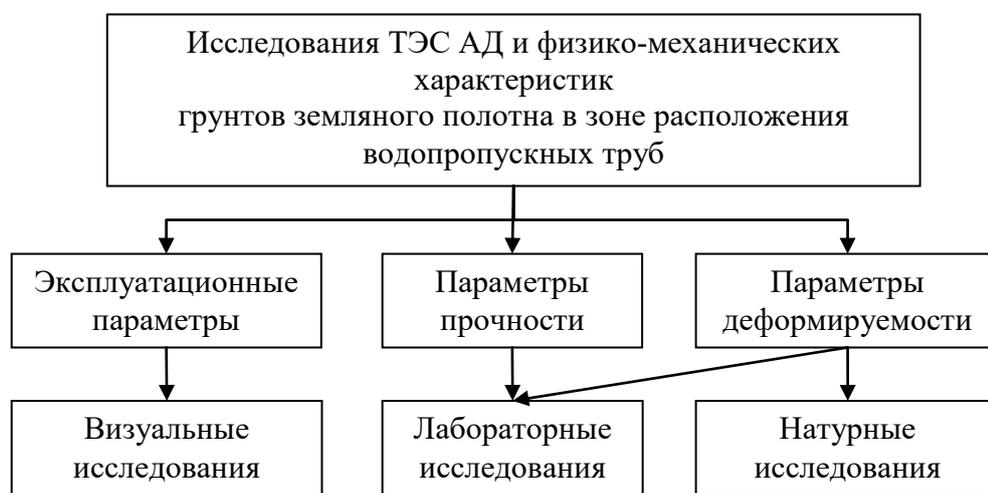


Рисунок 2.1 – Состав исследований ТЭС АД и характеристик грунтов земляного полотна в зоне расположения водопропускных труб

Зона расположения водопропускных труб автором определяется как часть автомобильной дороги, образующая прямоугольный контур и включающая непосредственно водопропускную трубу, земляное полотно и дорожную одежду на расстоянии 30 м в обе стороны от оси водопропускной трубы.

Состав исследований в зонах расположения водопропускных труб а/д «К-17р», определен необходимостью решения следующих задач:

1. Определение зависимости транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги от физико-механических характеристик грунтов, слагающих земляное полотно насыпи автомобильных дорог в зоне расположения водопропускных труб.

2. Сравнение физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в местах устройства водопропускных труб и на некотором удалении от них.

Для решения этих задач были выполнены визуальные и инструментальные, натурные и лабораторные исследования. Алгоритм выполненных работ показан на рисунке 2.2.

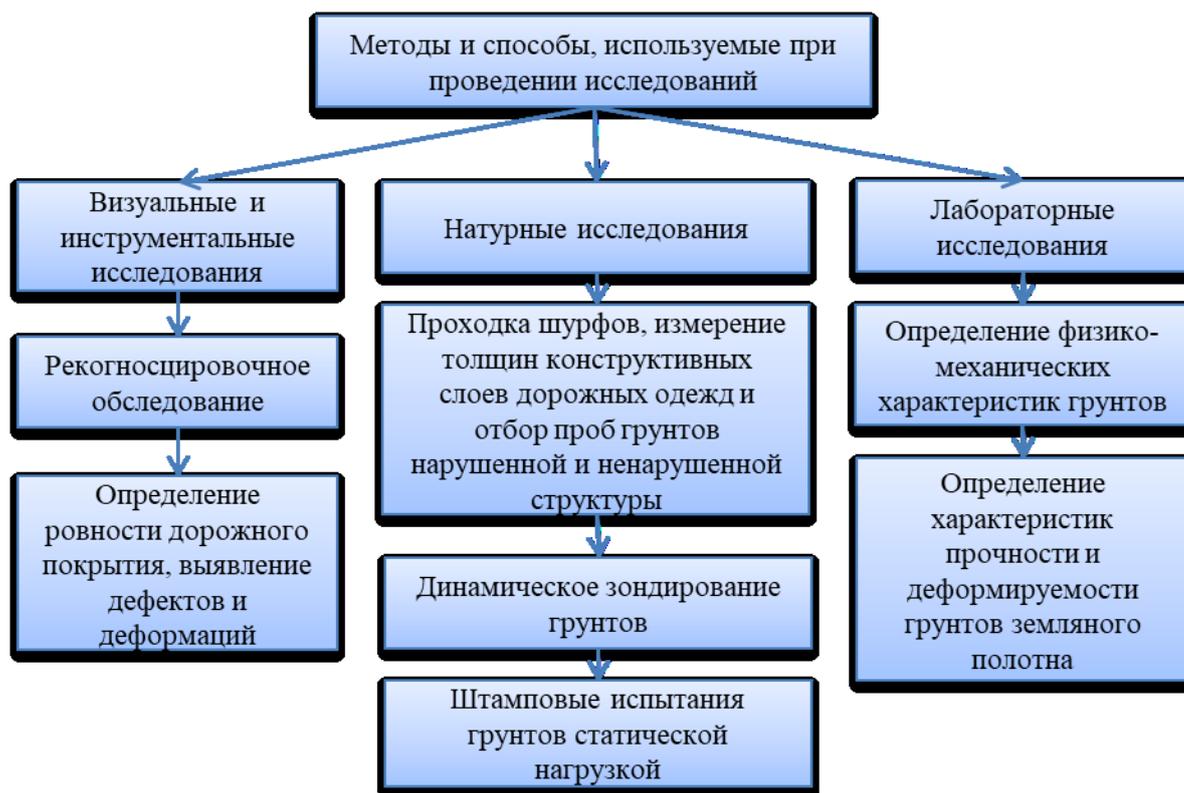


Рисунок 2.2 – Методы и способы, используемые при проведении исследований

В рамках визуальных и инструментальных исследований выполнялось:

- рекогносцировочное обследование;
- определение ровности дорожного покрытия и сравнение его с допустимым значением, характерным соответствующей категории автомобильной дороги, выявление дефектов и деформаций.

Рекогносцировочное обследование проводилось с целью выявления конструктивных, ситуационных и эксплуатационных особенностей участков автомобильной дороги в местах устройства водопропускных труб, методов и способов дальнейшего инструментального исследования (рисунок 2.3).

Рекогносцировочное обследование участков автомобильной дороги в местах устройства водопропускных труб включало измерение ширины проезжей части, обочин, высоты насыпи, характеристик водопропускных труб, ровности покрытия дорожных одежд. По результатам рекогносцировочного обследования составлены полевые журналы, отражающие конструктивные, ситуационные и эксплуатационные особенности участков автомобильной дороги.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Рекогносцировочное обследование участков автомобильной дороги в местах устройства водопропускных труб:

- а) определение продольной ровности покрытия дорожной одежды;
- б) измерение диаметра водопропускной трубы

Измерение ширины проезжей части, обочин, высоты насыпи, характеристик водопропускных труб, ровности покрытия дорожных одежд производились с помощью универсальной дорожной рейки, измерительного «клина» и рулетки согласно методикам и требованиям, приведенным в ГОСТ Р 50597-2017 [41].

Измерения по продольной ровности были выполнены с помощью трехметровой рейки по правой полосе наката каждой полосы движения в соответствии с ГОСТ Р 50597-2017 [41]. Размеры неровностей дорожных покрытий определяли по величине глубины просветов, выявленных под рейкой в соответствии с ГОСТ Р 50597-2017 [41] (рисунок 2.3 а).

Необходимо отметить, что при вводе в эксплуатацию автомобильной дороги после строительства, реконструкции или капитального ремонта производится оценка соответствия фактических значений продольной ровности

дорожных покрытий и определение международного индекса ровности IRI (International Roughness Index) [13, 137] согласно ОДМ 218.4.039-2018 [112].

В рамках наблюдения была составлена дефектная ведомость покрытий с измерением размеров и фотофиксацией дефектов и деформаций (рисунок 2.4).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.4 – Дефекты и деформации дорожного покрытия в местах устройства водопрпускных труб:

а) просадка; б) продольные трещины; в) поперечные трещины; г) выбоины

Состояние дорожного покрытия по продольной ровности оценивалось путем сравнения фактического показателя ровности с предельным, равным 10 мм, согласно ГОСТ Р 50597-2017 [41] для II категории автомобильной дороги с капитальным типом дорожной одежды.

## **2.2 Определение транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги в зонах расположения водопропускных труб**

Сбор и обработка полученной информации о техническом состоянии эксплуатируемых водопропускных труб позволили сделать следующие выводы: в аварийном состоянии находятся водопропускные трубы на участках 20 км а/д «К-17р», 201 км а/д «К-17р», характеризующиеся повреждениями и деформациями, ведущими к разрушению сооружения; в работоспособном техническом состоянии находятся водопропускные трубы, расположенные на участках 72 км а/д «К-17р», 171 км а/д «К-17р», 201 км а/д «К-17р», 205 км а/д «К-17р», 228 км а/д «К-17р», 303 км а/д «К-17р», 334 км а/д «К-17р».

Дефекты и деформации водопропускных труб выявлены в 53% случаев (на 8 исследуемых участках), приводящие к снижению надежности автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб. В целях предотвращения ухудшения ситуации на автомобильных дорогах в местах устройства водопропускных труб необходимо периодически проводить мониторинг технического состояния рассматриваемых участков, а также мероприятия по восстановлению конструкций водопропускных труб и укреплению грунтов земляного полотна.

## **2.3 Определение продольной ровности дорожных покрытий**

Продольная ровность дорожного покрытия является одной из наиболее значимых характеристик ТЭС АД, нарушения которой приводят к снижению скорости движения транспорта, в отдельных случаях к необходимости резкого торможения, что, в свою очередь повышает эксплуатационные расходы и снижает транспортную безопасность. Нарушения ровности дорожного покрытия особенно часто встречаются в местах устройства водопропускных труб, и в большинстве случаев представлены просадками дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы на расстоянии от 0,5 до 2,0 м от оси водопропускной

трубы по обеим сторонам. При движении на автомобиле описываемый дефект ощущается человеком физически и усиливается при повышении скорости автомобиля.

По результатам исследований продольной ровности дорожных покрытий была составлена ведомость фактических и предельно допустимого значения просвета под трехметровой рейкой для а/д «К-17р», т.е. II категории а/д с капитальным типом дорожной одежды (таблица 2.1). При этом максимальный просвет под трехметровой рейкой принят 10 мм. согласно ГОСТ Р 50597-2017 [41].

Таблица 2.1 – Ведомость фактических и предельно допустимого значения просвета под трехметровой рейкой

№ п/п	Адрес участка, км	Адрес микроучастка, +...м	Глубина просвета фактическая, мм	Максимальный просвет под трехметровой рейкой, мм	Разница между фактическим и допустимым значениями, мм	Результат (удовлетворяет (+) / не удовлетворяет (-))
1	20	225,0	14	10	4	-
		225,5	15	10	5	-
		<b>226,0</b>	10	10		+
		226,5	25	10	15	-
		227,0	20	10	10	-
2	44	193,0	10	10		+
		193,5	15	10	5	-
		<b>194,0</b>	6	10		+
		194,5	20	10	10	-
		195,0	15	10	5	-
3	72	364,0	20	10	10	-
		364,5	28	10	18	-
		<b>365,0</b>	15	10	5	-
		365,5	25	10	15	-
		366,0	14	10	4	-
4	156	757,0	3	10		+
		757,5	4	10		+
		<b>758,0</b>	2	10		+
		758,5	5	10		+
		759,0	4	10		+
5	171	607,0	1	10		+
		607,5	2	10		+
		<b>608,0</b>	2	10		+
		608,5	1	10		+
		609,0	4	10		+

Продолжение таблицы 2.1

№ п/п	Адрес участка, км	Адрес микроучастка, +...м	Глубина просвета фактическая, мм	Максимальный просвет под трехметровой рейкой, мм	Разница между фактическим и допустимым значениями, мм	Результат (удовлетворяет (+) / не удовлетворяет (-))
6	180	741,0	15	10	5	-
		741,5	10	10		+
		<b>742,0</b>	6	10		+
		742,5	28	10	18	-
		743,0	25	10	15	-
7	182	399,0	10	10		+
		399,5	25	10	15	-
		<b>400,0</b>	7	10		+
		400,5	15	10	5	-
		401,0	10	10		+
8	201	82,0	10	10		+
		82,5	12	10	2	-
		<b>83,0</b>	7	10		+
		83,5	14	10	4	-
		84,0	8	10		+
9	205	499,0	21	10	11	-
		499,5	30	10	20	-
		<b>500,0</b>	10	10		+
		500,5	22	10	12	-
		501,0	15	10	5	-
10	226	799,0	9	10		+
		799,5	10	10		+
		<b>800,0</b>	7	10		+
		800,5	12	10	2	-
		801,0	11	10	1	-
11	228	499,0	17	10	7	-
		499,5	24	10	14	-
		<b>500,0</b>	10	10		+
		500,5	15	10	5	-
		501,0	12	10	2	-
12	289	499,0	14	10	4	-
		499,5	20	10	10	-
		<b>500,0</b>	7	10		+
		500,5	18	10	8	-
		501,0	12	10	2	-
13	303	674,0	2	10		+
		674,5	5	10		+
		<b>675,0</b>	3	10		+
		675,5	4	10		+
		680,0	3	10		+

Продолжение таблицы 2.1

№ п/п	Адрес участка, км	Адрес микроучастка, +...м	Глубина просвета фактическая, мм	Максимальный просвет под трехметровой рейкой, мм	Разница между фактическим и допустимым значениями, мм	Результат (удовлетворяет (+) / не удовлетворяет (-))
14	327	703,0	3	10		+
		703,5	4	10		+
		<b>704,0</b>	3	10		+
		704,5	4	10		+
		705,0	2	10		+
15	334	811,0	6	10		-
		811,5	8	10		-
		<b>812,0</b>	6	10		-
		812,5	10	10		-
		813,0	7	10		-

Из анализа таблицы 2.1 следует, что на участках км 20+226 а/д «К-17р»; км 44+194 а/д «К-17р»; км 72+365 а/д «К-17р»; км 180+742 а/д «К-17р»; км 182+400 а/д «К-17р»; км 201+083 а/д «К-17р»; км 205+500 а/д «К-17р»; км 226+800 а/д «К-17р»; км 228+500 а/д «К-17р»; км 289+200 а/д «К-17р»; км 334+812 а/д «К-17р» продольная ровность дорожного покрытия не обеспечивается в соответствии с ГОСТ Р 50597-2017 [41].

Дорожное покрытие на участках км 156+758 а/д «К-17р»; км 171+608 а/д «К-17р»; км 303+675 а/д «К-17р»; км 327+704 а/д «К-17р» восстановлено и удовлетворяет нормам по продольной ровности в соответствии ГОСТ Р 50597-2017 [41] (рисунок 2.5).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.5 – Восстановленное асфальтобетонное покрытие:

а) 156 км а/д «К-17р»; б) 303 км а/д «К-17р»;

в) 327 км а/д «К-17р»; г) 171 км а/д «К-17р»

По результатам исследований составлена дефектная ведомость нарушений продольной ровности дорожного покрытия с указанием дефекта, местоположения и протяженности дефектного участка. Нарушения продольной ровности дорожных покрытий сосредоточены в барьерных местах водопропускных труб и представлены в виде просадок, трещин, выбоин (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Дефектная ведомость нарушений продольной ровности дорожного покрытия

№ п/п	Адрес участка, км	Наличие трещин	Места обнаружения	Ширина раскрытия, мм	Примечания
1	20	+	барьерные места	до 20	
2	44	+	барьерные места	от 20 до 50	присутствуют отверстия в виде дырок диаметром до 40 мм
3	72	+	по контуру пазух и трубы	до 20	
4	156	+	не обнаружено	не обнаружено	трещина ликвидирована путем укладки нового слоя асфальтобетонного покрытия
5	171	-	не обнаружено	не обнаружено	произведён ремонт и нанесена поверхностная обработка дорожного покрытия
6	180	-	не обнаружено	не обнаружено	
7	182	-	не обнаружено	не обнаружено	
8	201	+	над водопропускной трубой	до 50	поперечная трещина пересекает проезжую часть, произведена заделка трещины
9	205	-	не обнаружено	не обнаружено	
10	226		не обнаружено	не обнаружено	присутствуют заплатки, расположенные в барьерных местах водопропускных труб
11	228	-	не обнаружено	не обнаружено	
12	289	+	над водопропускной трубой	от 20 до 70	
13	303	-	не обнаружено	не обнаружено	над водопропускной трубой и по 5 м. в каждую сторону был произведён ремонт дорожного покрытия
14	327	-	не обнаружено	не обнаружено	над водопропускной трубой и по 5 м. в каждую сторону был произведён ремонт дорожного покрытия
15	334	+	над водопропускной трубой	от 20 до 40	

Из таблицы 2.2 видно, что на дорожном покрытии на участках км 44 а/д «К-17р»; км 201 а/д «К-17р»; км 289 а/д «К-17р»; км 334 а/д «К-17р» присутствуют трещины, величина раскрытия которых варьируется в пределах от 20 до 70 мм, что недопустимо согласно ГОСТ Р 50597-2017 [41].

На участках а/д «К-17р» на 44 км а/д «К-17р»; 201 км а/д «К-17р»; 226 км а/д «К-17р»; 289 км а/д «К-17р» трещины в асфальтобетонном покрытии заделаны (рисунок 2.6).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.6 – Заделанные трещины в асфальтобетонном покрытии:

- а) 44 км а/д «К-17р»; б) 201 км а/д «К-17р»;  
в) 226 км а/д «К-17р»; г) 289 км а/д «К-17р»

Проанализировав таблицы 2.1 и 2.2 можно отметить, что на участках а/д «К-17р» в местах устройства водопропускных труб в процессе эксплуатации возникают дефекты и деформации, идентичные друг другу.

Следует отметить, что к нарушениям эксплуатационных показателей автомобильной дороги, дефектам и деформациям покрытия приводят процессы, в том числе, возникающие в нижележащих слоях дорожной конструкции, т.е. в земляном полотне.

## **2.4. Натурные исследования**

Натурные исследования проведены на участках а/д К-17р в зонах расположения водопропускных труб.

В рамках натурных исследований выполнены:

I этап – проходка шурфов, измерение толщин конструктивных слоев дорожных одежд и отбор проб грунта нарушенной и ненарушенной структуры;

II этап – динамическое зондирование грунтов;

III этап – штамповые испытания грунтов статической нагрузкой.

### **2.4.1 Проходка шурфов, измерение толщин конструктивных слоев дорожных одежд и отбор проб грунтов нарушенной и ненарушенной структуры**

На I этапе натурных исследований осуществлялись: проходка шурфов, измерение толщин конструктивных слоев дорожных одежд и отбор проб грунтов нарушенной и ненарушенной структуры, слагающих земляное полотно.

Для сбора данных на каждом рассматриваемом участке было назначено по четыре шурфа (Шурф № 1, Шурф № 2, Шурф № 3, Шурф № 4). Шурфы № 1, № 2 были назначены на обочинах в барьерных местах водопропускных труб по обеим сторонам проезжей части. Шурфы № 3, № 4 были вскрыты на обочинах на расстоянии 30 м от оси водопропускной трубы в обоих направлениях автомобильной дороги. Места расположения шурфов показаны на схеме расположения выработок (рисунок 2.7).

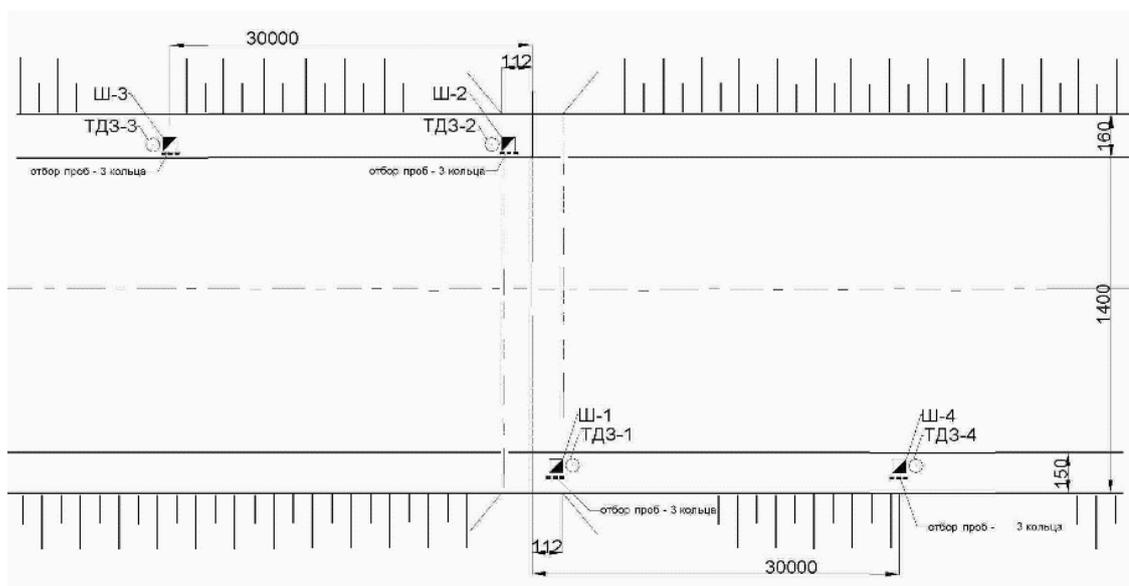


Рисунок 2.7 – Схема расположения выработок

Проходка шурфов осуществлялась до глубины 3,2 м в зависимости от высоты насыпи участков а/д «К-17р». При вскрытии шурфа производился замер толщины конструктивных слоев дорожных одежд. Результаты замеров были сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Толщины конструктивных слоев дорожных одежд в местах устройства водопропускных труб от км 20 а/д «К-17р» до км 334 а/д «К-17р»

№ п/п	Материал слоя	h слоя, см
<b>км 20 а/д «К-17р»</b>		
1	Бетонная крошка фракцией от 6 до 8 см	8
2	ЩПС фракцией от 40 до 70 мм	10
3	Насыпной грунт с включениями мелкого щебня	25
<b>км 44 а/д «К-17р»</b>		
1	Мелкий щебень фракцией от 1 до 3 см	1
2	Насыпной грунт с включениями мелкого щебня	10
3	Щебень фракцией от 5 до 7 см	15
4	Супесь с включениями мелкого щебня	20
<b>км 72 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень фракцией от 3 до 7 см с включениями насыпного грунта	30
2	Щебень фракцией от 5 до 7 см	40

Продолжение таблицы 2.3

№ п/п	Материал слоя	h слоя, см
<b>км 156 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень фракцией от 5 до 7 см с включениями органики, насыпного грунта	18
2	Насыпной грунт с включениями мелкого щебня и органики	13
3	Щебень фракцией до 5 см	10
4	Супесь с включениями мелкого щебня	19
<b>км 171 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень насыпной фракцией до 5 см	5
2	Щебень с включениями мелкого щебня и органики	7
3	Насыпной грунт с включениями дресвы	12
4	Насыпной грунт	20
5	Щебень фракцией от 5 до 7 см	23
<b>км 180 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень фракцией от 5 до 7 см	12
2	Насыпной грунт с включениями мелкого щебня	24
<b>км 182 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень насыпной фракцией до 4 см	6
2	Щебень с включениями мелкого щебня и органики	5
3	Насыпной грунт с включениями дресвы	18
<b>км 201 а/д «К-17р»</b>		
1	Мелкий щебень, пыль	2
2	Щебень фракцией от 5 до 7 см	12
3	Суглинок с включениями мелкого щебня	12
4	Суглинок черно-коричневого цвета	12
5	Суглинок светло-коричневого цвета	12
6	Песок с каменистыми включениями	2
<b>км 205 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень фракцией от 5 до 7 см	10
2	Насыпной грунт с включениями дресвы	12
3	Щебень фракцией от 5 до 7 см	17
<b>км 226 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень фракцией от 5 до 7 см	14
2	Насыпной грунт с включениями мелкого щебня	12
3	Песок с каменистыми включениями	7
<b>км 228 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень фракцией от 5 до 7 см	12
2	Щебень с включениями мелкого щебня и органики	7
3	Насыпной грунт с включениями дресвы	12

Продолжение таблицы 2.3

№ п/п	Материал слоя	h слоя, см
<b>км 289 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень фракцией от 5 до 7 см	11
2	Насыпной грунт с включениями мелкого щебня	18
3	Щебень насыпной фракцией до 5 см	10
<b>км 303 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень фракцией от 5 до 7 см	14
2	Насыпной грунт с включениями мелкого щебня	25
<b>км 327 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень фракцией от 5 до 7 см	15
2	Щебень с включениями мелкого щебня и органики	7
3	Песок с каменистыми включениями	5
<b>км 334 а/д «К-17р»</b>		
1	Щебень фракцией от 5 до 7 см	12
2	Щебень насыпной фракцией до 5 см	11
3	Насыпной грунт с включениями дресвы	14

После вскрытия шурфов осуществлялся отбор проб грунтов земляного полотна нарушенной и ненарушенной (монолиты) структуры. Исследования проводились в соответствии с ГОСТ 12071-2014 [31]. Монолиты, у которых сохранялась форма без жесткой тары отбирались с помощью ножа и лопаты в виде параллелепипеда грунта. Сразу после отбора монолиты изолировались парафинированием (смесью парафина с гудроном). Монолиты из менее связных грунтов отбирались в кольца уплотнительных и компрессионных приборов. На глубинах 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м верхнюю плоскость грунта зачищали, выравнивали, срезая излишки грунта ножом, устанавливали на ней режущий край кольца и вручную через насадку слегка вдавливали кольца в грунт, фиксируя границу образца для испытаний (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Процесс отбора проб грунта методом режущего кольца

Отбор проб грунта методом режущего кольца осуществлялся на участках:

- км 20 а/д «К-17р» с глубины 0,2; 0,7; 1,2; 1,9 м;
- км 44, 201 а/д «К-17р» с глубины 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 м;
- км 72 а/д «К-17р» с глубины 0,1; 0,7; 1,2; 1,7; 2,2; 2,7; 3,2 м;
- км 156 а/д «К-17р» с глубины 0,1; 0,7; 1,2; 1,7; 2,2; 2,7 м;
- км 171 а/д «К-17р» с глубины 0,2; 0,8; 1,2; 1,7 м;
- км 180 а/д «К-17р» с глубины 0,1; 0,4; 0,9; 1,4; 1,9 м;
- км 182, 205, 226, 289, 303, 327, 334 а/д «К-17р» с глубины 0,1; 0,5; 1,0; 1,5 м.

Всего было отобрано 280 проб грунта.

## 2.4.2 Динамическое зондирование грунтов

На II этапе натурных исследований осуществлялось динамическое зондирование грунтов в соответствии ГОСТ 19912-2012 [33].

На каждом участке автомобильной дороги было назначено четыре точки динамического зондирования (ТДЗ № 1, ТДЗ № 2, ТДЗ № 3, ТДЗ № 4). Как видно на схеме (рисунок 2.9), ТДЗ № 1, ТДЗ № 2 расположены в барьерных местах водопропускной трубы; ТДЗ № 3, ТДЗ № 4 на расстоянии 30 м от оси водопропускной трубы в разных направлениях по обеим сторонам автомобильной дороги. Такое расположение и количество точек динамического зондирования позволяет сравнить характеристики уплотненности грунта земляного полотна в местах расположения водопропускных труб и на некотором удалении от них. Общее количество пройденных точек динамического зондирования – 60. Глубина зондирования для каждой точки составила от 2,5 до 3,5 м в зависимости от высоты насыпи.

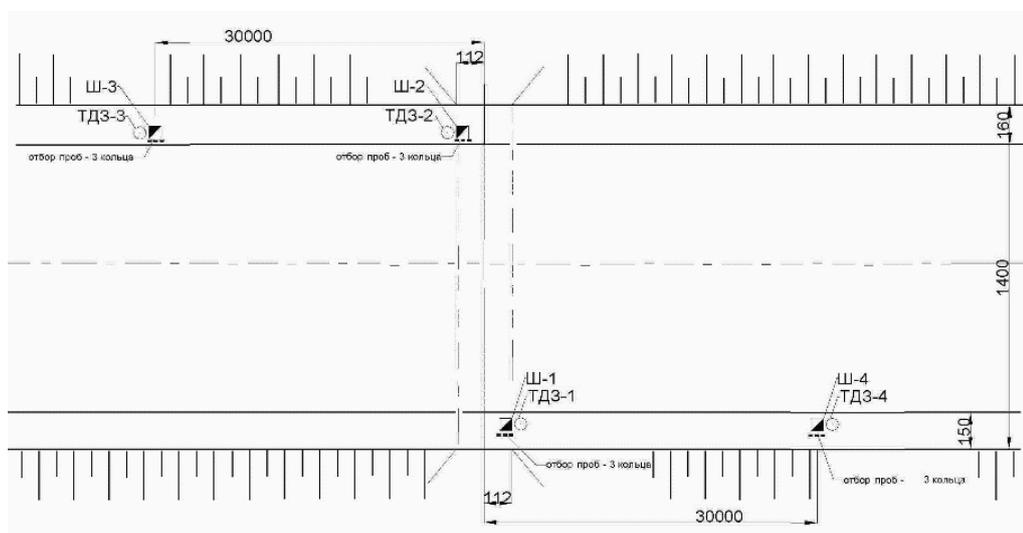


Рисунок 2.9 – Схема расположения выработок и точек динамического зондирования

Для испытания грунтов динамическим зондированием применялась установка (рисунок 2.10 а), состоящая из следующих основных узлов:

- зонда (разъемной трубы – штанги с коническим наконечником);
- ударного устройства (молота);

- опорной рамы с направляющими стойками;
- измерительного устройства.



а)



б)

Рисунок 2.10 – Динамическое зондирование грунтов:

- а) установка для динамического зондирования;
- б) процесс динамического зондирования

Динамическое зондирование грунтов выполнялось последовательным погружением зонда в грунт свободно падающим с высоты 0,75 м молотом массой 16 кг. При зондировании производилось определенное количество ударов молота и фиксировалась глубина погружения зонда. Динамическое зондирование выполнялось непрерывно для достижения заданной глубины или до отказа согласно ГОСТ 19912-2012 [33].

После проведения динамического зондирования были выполнена камеральная обработка полученных результатов, определено условное динамическое сопротивление  $P_d$  в каждой точке динамического зондирования и выведено среднее значение  $R_{d,cp}$  (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Анализ условно динамического сопротивления в зонах расположения водопропускных труб на участках а/д «К-17р»

Адрес участка, км	$R_{d_{cp}}$ ТДЗ № 1, МПа	$R_{d_{cp}}$ ТДЗ № 2, МПа	$R_{d_{cp}}$ ТДЗ № 3, МПа	$R_{d_{cp}}$ ТДЗ № 4, МПа	$R_{d_{cp}}$ ТДЗ № 1-2, МПа	$R_{d_{cp}}$ ТДЗ № 3-4, МПа
20	1,58	3,27	4,45	2,91	2,43	3,68
44	2,44	3,11	5,09	5,15	2,77	5,12
72	1,73	1,69	3,12	3,45	1,71	3,28
156	1,21	1,41	1,72	2,05	1,31	1,89
171	2,86	1,46	4,36	5,20	2,16	4,78
180	2,59	3,17	4,24	4,41	2,88	4,32
182	4,89	4,84	7,42	7,54	4,87	7,48
201	3,13	2,35	4,97	5,60	2,74	5,28
205	2,57	3,20	4,20	3,78	2,88	3,99
226	2,86	2,27	5,32	5,20	2,56	5,26
228	2,55	1,77	3,71	4,38	2,16	4,05
289	1,68	2,13	4,11	4,21	1,90	4,16
303	2,98	2,13	3,96	4,62	2,55	4,29
327	3,64	1,97	4,19	4,76	2,81	4,48
334	2,01	2,67	5,01	3,58	2,34	4,29

В интервалах глубин от 0,7 до 3,5 м в ТДЗ № 1 и ТДЗ № 2, расположенных в пазухах водопропускных труб условное динамическое сопротивление грунтов в среднем составляет 2,5 МПа. В ТДЗ № 3 и ТДЗ № 4 на этих же глубинах динамическое сопротивление грунтов в среднем составляет 4,4 МПа, что на 57% выше, чем непосредственно в барьерных местах водопропускных труб. Для наглядности результаты динамического сопротивления по километражу исследуемых участков а/д «К-17р» отражены на графике (рисунок 2.11).

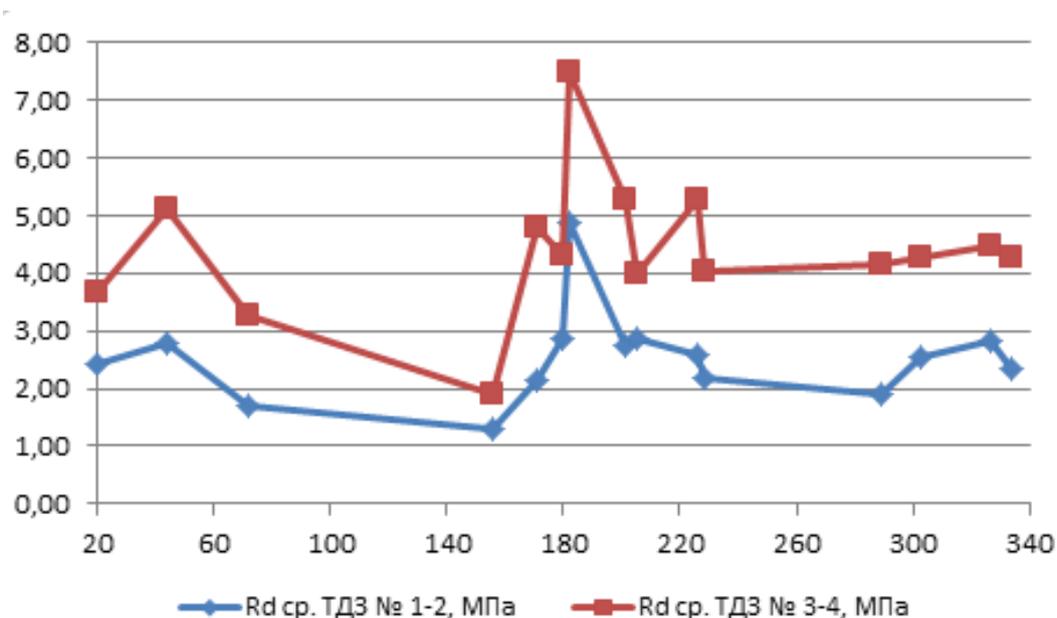


Рисунок 2.11 – График средних значений условно динамического сопротивления по километражу исследуемых участков а/д «К-17р»

Проанализировав полученные в ходе динамического зондирования и обработки данные, были составлены графики изменения условно динамического сопротивления  $R_d$  по глубине зондирования  $h$ , см в зонах расположения водопропускных труб по ходу и против хода километража (рисунок 2.12).

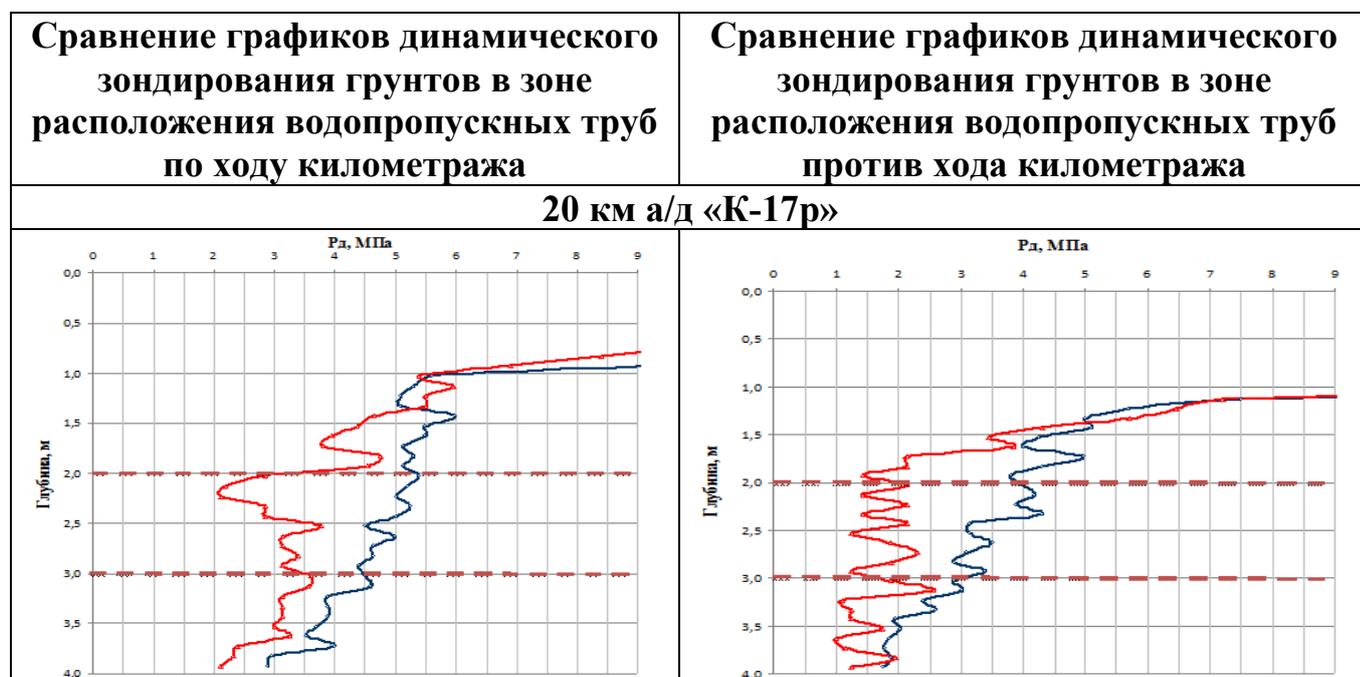


Рисунок 2.12 – Результаты динамического зондирования на участках а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб

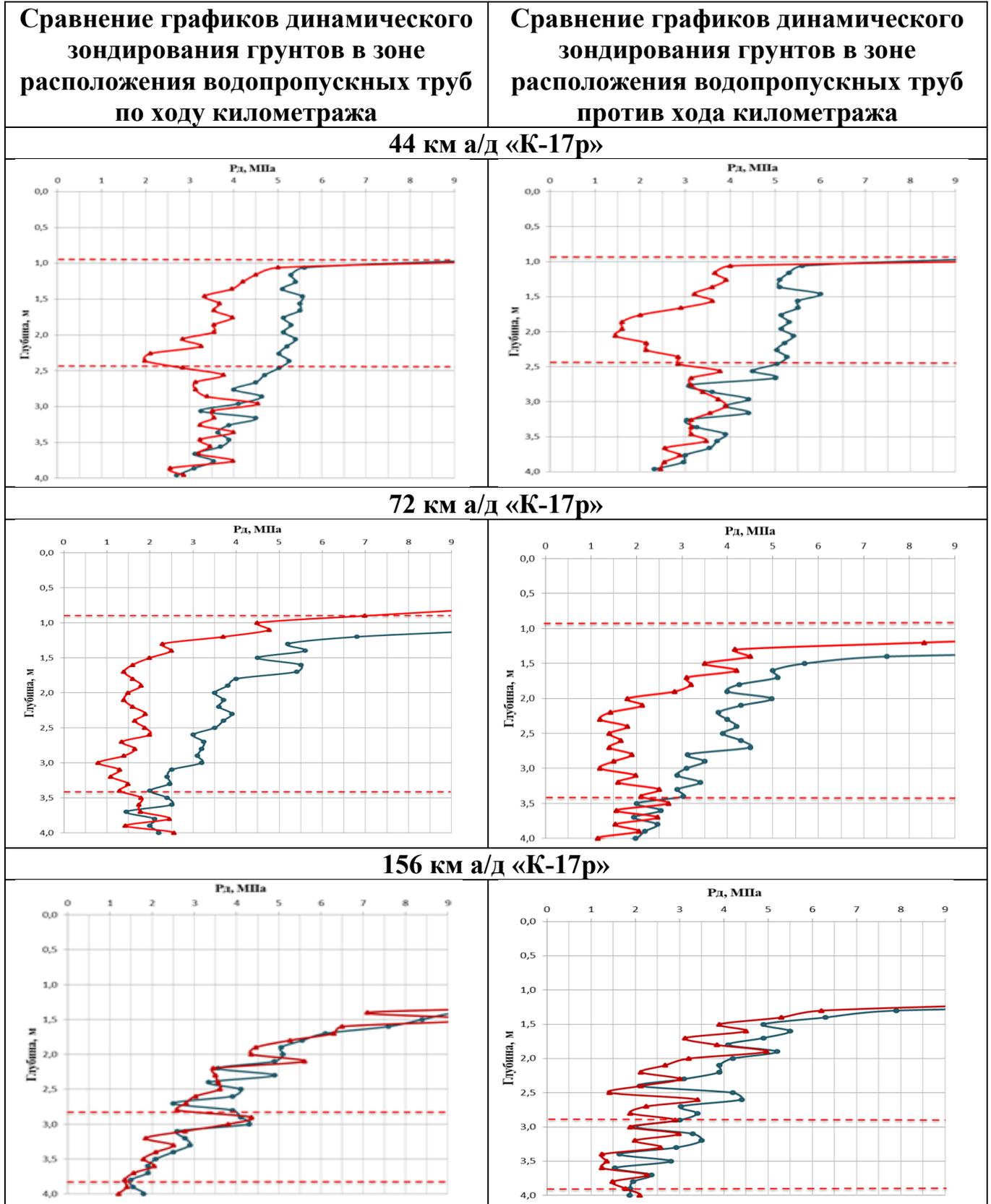


Рисунок 2.12 (продолжение) – Результаты динамического зондирования на участках а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб

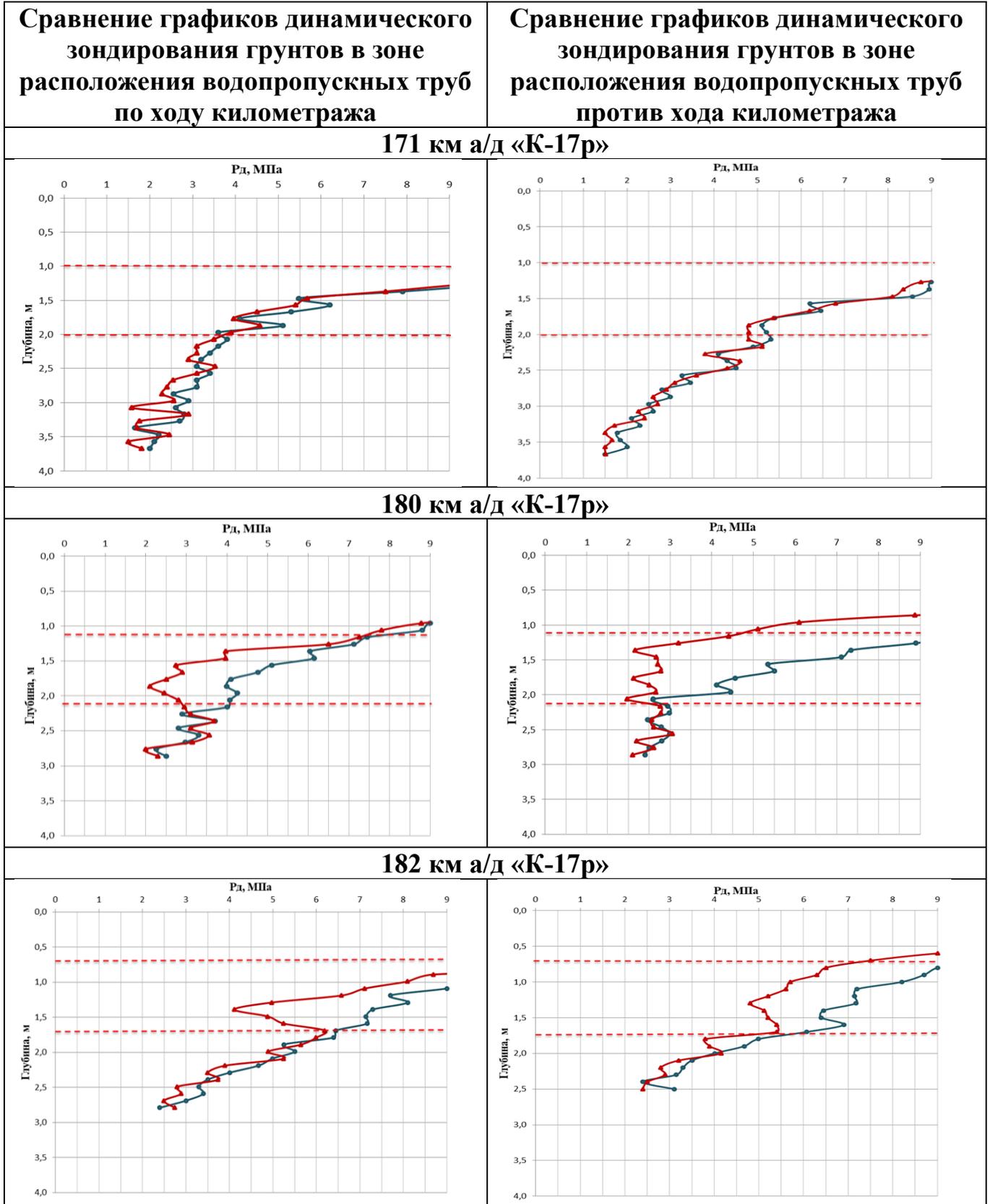


Рисунок 2.12 (продолжение) – Результаты динамического зондирования на участках а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб

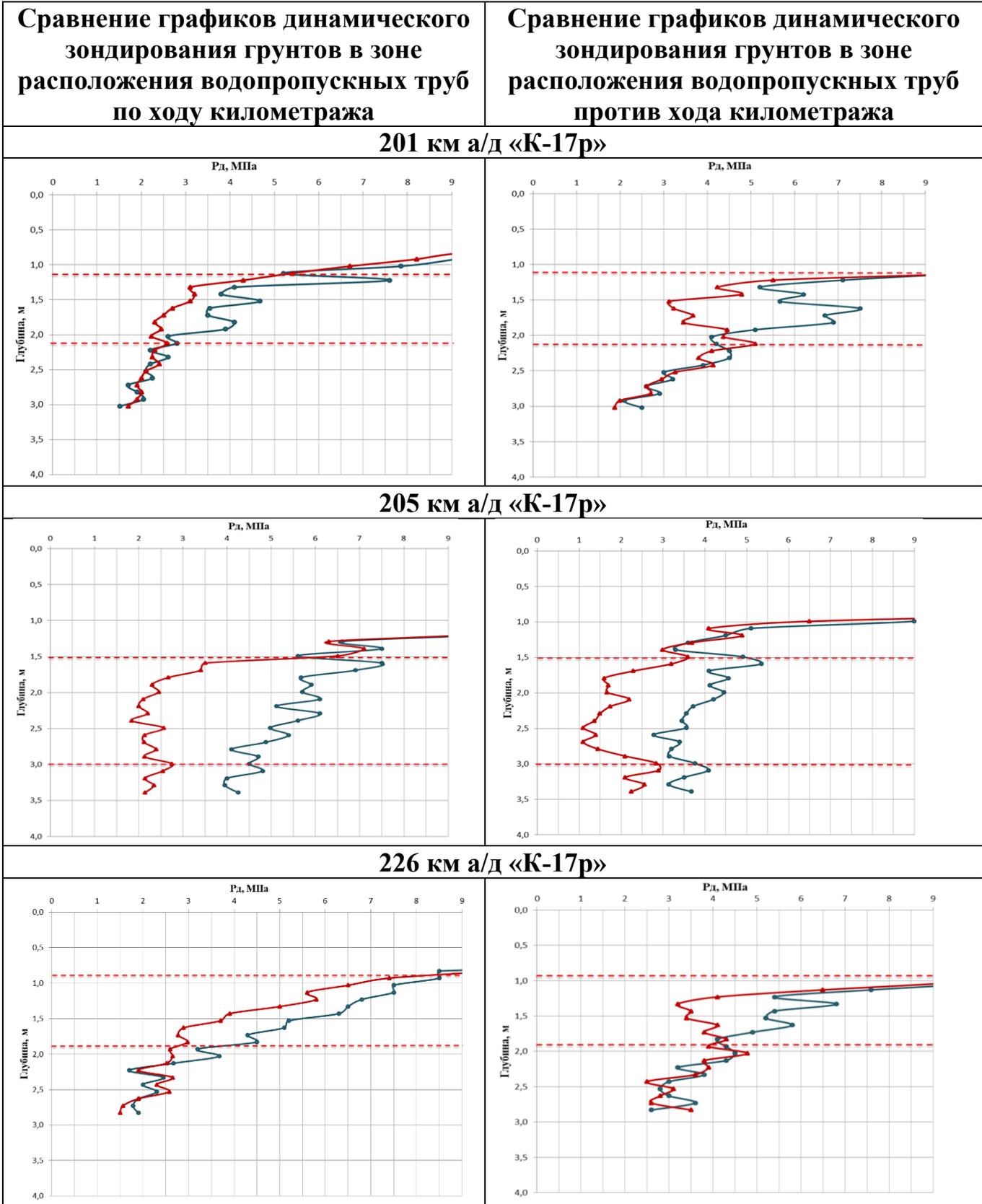


Рисунок 2.12 (продолжение) – Результаты динамического зондирования на участках а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб

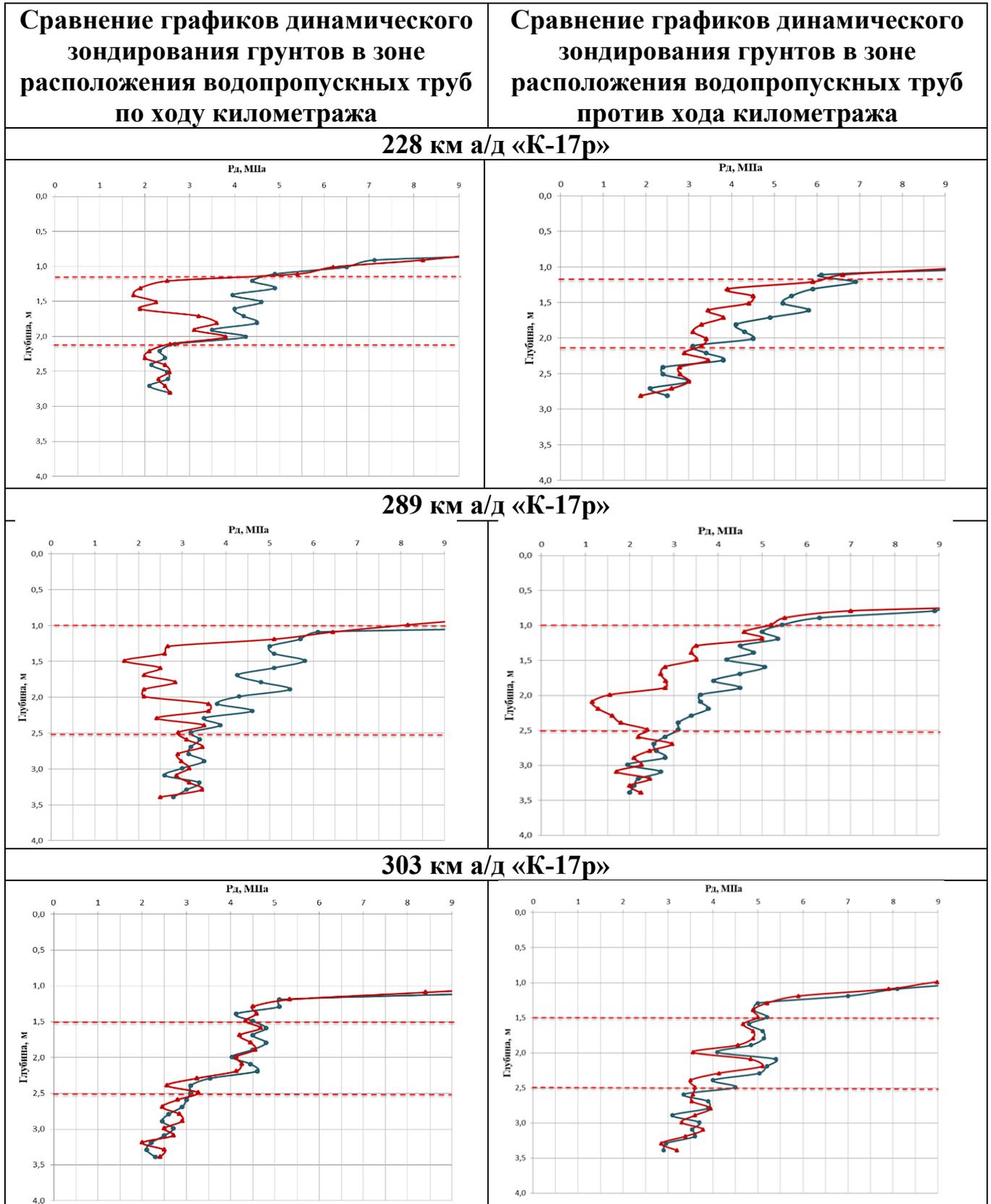


Рисунок 2.12 (продолжение) – Результаты динамического зондирования на участках а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб

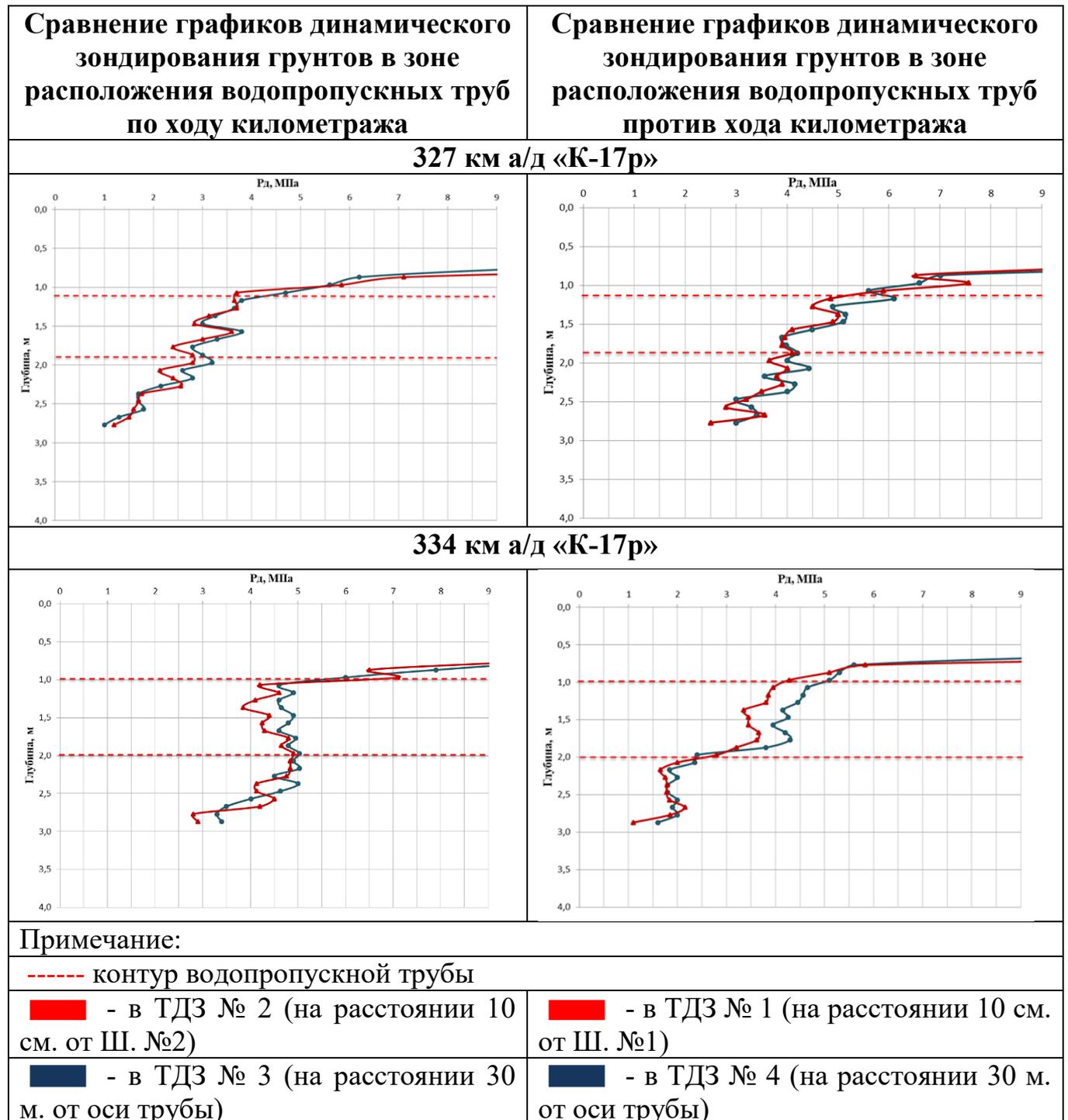


Рисунок 2.12 (продолжение) – Результаты динамического зондирования на участках а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб

Проанализировав результаты динамического зондирования можно заметить резкие скачки и пики условного динамического сопротивления  $P_d$  и отличия значений  $P_d$ , полученных при исследованиях непосредственно в местах расположения водопропускных труб и на некотором удалении от них, что

подтверждает вывод о наличии разуплотненных зон в затрубном пространстве водопропускных труб.

### 2.4.3 Штамповые испытания грунтов статической нагрузкой

На III этапе натурных исследований проводились штамповые испытания в соответствии с ГОСТ 20276.1-2020 [34].

Для проведения штамповых испытаний были выбраны участки км 72 а/д «К-17р» (Шурф № 1, Шурф № 2, Шурф № 3); км 156 а/д «К-17р» (Шурф № 1); км 180 а/д «К-17р» (Шурф № 1); км 201 а/д «К-17р» (Шурф № 1) (рисунок 2.13).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.13 – Участки автомобильной дороги в местах устройства водопропускных труб для проведения штамповые исследования:

- а) 72 км а/д «К-17р»; б) 156 км а/д «К-17р»;  
в) 180 км а/д «К-17р»; г) 201 км а/д «К-17р»

По результатам штамповых испытаний определялись характеристики сжимаемости (модуль деформации  $E$  и модуль упругости  $E_{уп}$ ) грунтов земляного полотна в местах расположения водопропускных труб. Для сравнения характеристик грунтов земляного полотна испытания проводились на участках, расположенных на расстояниях 30 м от оси водопропускных труб, т.е. в зонах расположения водопропускных труб.

В состав установки для испытания грунтов земляного полотна штампом вошли:

- круглый штамп площадью  $600 \text{ см}^2$ ;
- домкрат и маслостанция с манометром для создания, поддержания и измерения нагрузки на штамп;
- прогибомеры для измерения осадок штампа;
- неподвижная рама для крепления прогибомеров;
- грузовая платформа в качестве упорной балки домкрата.

Манометр домкрата перед испытанием был предварительно оттарирован, насосная станция со шлангами – проверены на герметичность. Для обеспечения ровности поверхности грунта под штампом устраивалась подушка из маловлажного мелкого песка толщиной 1 см для достижения плотного контакта подошвы штампа с песчаной подушкой производилось не менее двух поворотов штампа вокруг его вертикальной оси со сменой направления поворота («притирка»). После установки штампа проверялась горизонтальность его положения.

Прогибомеры системы Аистова для измерения осадки штампа закреплялись на неподвижной жесткой раме (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Проведение штамповых испытаний

Отсчеты по прогибомерам на каждой ступени нагружения производились через каждые 15 мин в течение первого часа, 30 мин в течение второго часа и далее через 1 час до условной стабилизации деформации грунта. Штмп соединялся с прогибомером нитью из стальной проволоки диаметром 0,3 мм. Измерительная система обеспечивала измерение осадок с погрешностью не более 0,01 мм. Нагрузка на штмп подавалась домкратом, который в свою очередь упирался в условно неподвижную балку. В качестве упора использовалась балка прицепного трала массой 22,5 т. Для испытания назначалось максимальное осевое усилие в 10 тс. Данное усилие достигалось без дополнительного пригруза трала. Нагрузка согласно таблице 5.2 ГОСТ 20276.1-2020 составляет 0,6 МПа подавалась ступенями давлений  $p=0,1$  МПа до расчетной нагрузки со временем условной стабилизации 1 ч и параметром условной стабилизации 0,1 мм [34].

Для определения модуля упругости испытание проводилось в несколько циклов нагрузки-разгрузки до выработки петли гистерезиса и линейности графика в интервале нагрузок от 0 до 0,6 МПа. Для определения границы линейной зависимости между нагрузкой на грунты рабочего слоя земляного полотна и их деформацией последняя ветвь нагрузки доводилась до 1,0 МПа. По данным испытаний строился график зависимости осадки штампа от давления  $S = f(P)$ .

На рисунке 2.15 приведен бланк штамповых испытаний на 72 км а/д «К-17р».

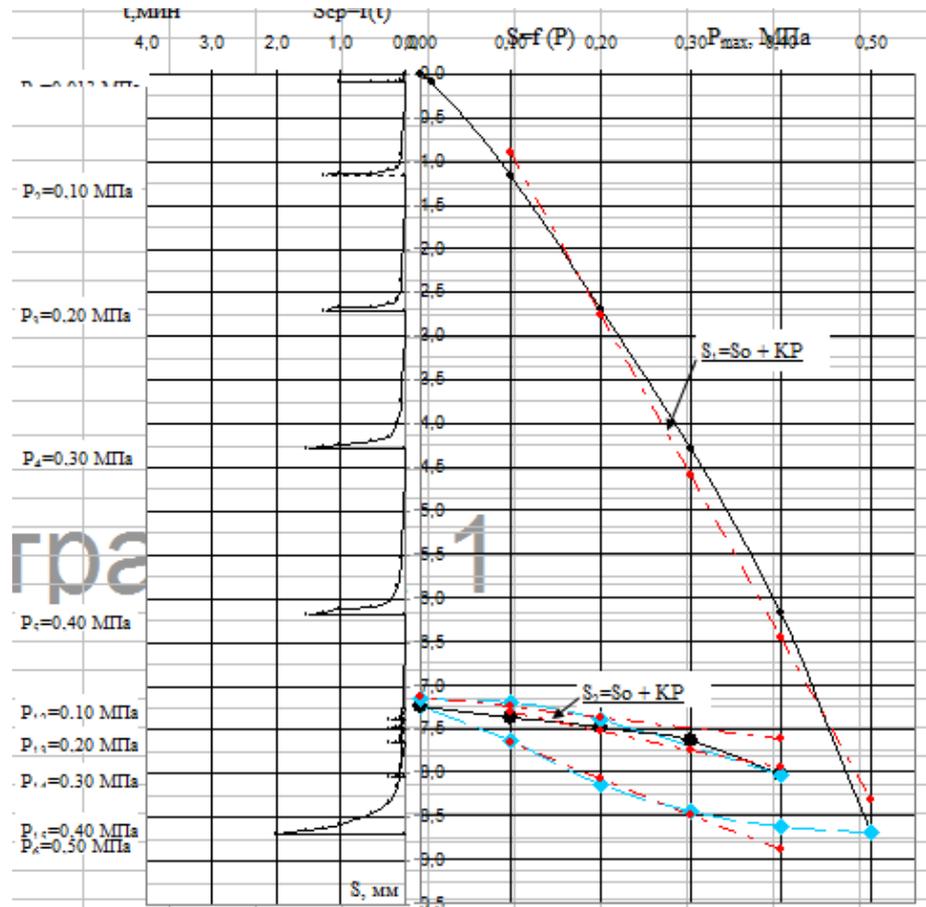


Рисунок 2.15 – Ветвь разгрузки-загрузки на 72 км а/д «К-17р»

## 2.5. Лабораторные исследования

В геотехнической лаборатории были проведены исследования грунтов земляного полотна, включающие в себя:

- определение характеристик грунтов земляного полотна в соответствии с ГОСТ 5180-2015 [40] таких как, плотности грунта методом режущего кольца; плотности частиц грунта; влажности грунта  $W$ ; консистенции грунта; числа пластичности  $I_p$ ; показателя текучести  $I_L$ ;
- определение производных физических характеристик грунтов, в частности: плотности сухого грунта; пористости грунта; коэффициента пористости грунта;
- определение прочностных характеристик грунтов земляного полотна: сопротивление срезу  $\tau$ , кПа, угол внутреннего трения  $\varphi$ , град и удельное

сцепление  $C$ , кПа в соответствии с ГОСТ 12248.1-2020 методом одноплоскостного среза по схеме консолидированно-дренированного испытания [32].

Все перечисленные лабораторные испытания выполнялись в местах устройства водопропускных труб (непосредственно из массива грунта затрубного пространства) и на расстоянии 30 м слева и справа от водопропускных труб по ходу километража в соответствии со схемой расположения выработок (рисунок 2.9).

В зонах расположения водопропускных труб отмечены грунты дисперсного класса, группы связные, подгруппа осадочные, тип минеральные и др., вид глинистые грунты. При сопоставлении характеристик земляного полотна и физико-механических характеристик грунтов были выделены инженерно-геологические элементы (ИГЭ-1п, ИГЭ-1с, ИГЭ-1р, ИГЭ-2п, ИГЭ-2с, ИГЭ-2р, представленные ниже:

**ИГЭ-1п** – Супесь твердая, плотная;  $e < 0,7$ ;

**ИГЭ-1с** – Супесь твердая, средней плотности;  $e = 0,7-0,8$ ;

**ИГЭ-1р** – Супесь твердая, рыхлая;  $e > 0,8$ ;

**ИГЭ-2п** – Суглинок легкий, плотный;  $e < 0,7$ ;

**ИГЭ-2с** – Суглинок легкий, средней плотности;  $e = 0,7-0,8$ ;

**ИГЭ-2р** – Суглинок легкий, рыхлый;  $e > 0,8$ .

Земляное полотно отсыпано суглинком легким твердым с прослоями полутвердого и супесью твердой с примесью органических веществ 5-6%. Влажность грунтов в барьерных местах водопропускных труб колеблется в интервале от 0,04 до 0,32; на некотором удалении от водопропускных труб в интервале от 0,05 до 0,26. Коэффициент пористости в барьерных местах водопропускных труб в пределах от 0,585 до 0,938; на некотором удалении от водопропускных труб колеблется в интервале от 0,582 до 0,788. Плотность грунтов земляного полотна в барьерных местах водопропускных труб составляет от 1,70 до 1,97 г/см<sup>3</sup> на участках удаленных от водопропускной трубы и от 1,72 до 1,99 г/см<sup>3</sup> на участках вблизи водопропускной трубы. В целом исследуемые

грунты неоднородные с переслоением супесей и суглинков твердых, пластичных и тугопластичных консистенций.

Грунты земляного полотна в барьерных местах водопропускных труб преимущественно слабоуплотненные и среднеуплотненные, а на некотором удалении от водопропускных труб сильноуплотненные и среднеуплотненные.

В лабораторных условиях в приборе стандартного уплотнения была определена максимальная плотность грунта  $\rho_{max}$ , г/см<sup>3</sup> в соответствие с ГОСТ 22733-2016 [36], посчитаны коэффициенты уплотнения по формуле

$$K_y = \frac{\rho_{факт}}{\rho_{max}},$$

и построены графики зависимости коэффициента уплотнения грунта от глубины проходки шурфа на каждом исследуемом участке а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб с указанием высоты насыпи, глубины засыпки и диаметра соответствующей водопропускной трубы, глубины просвета под трехметровой рейкой. Для наглядности и сравнения полученных результатов исследований составлены информационные карточки для каждого участка а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб и приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Информационные карточки участков а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб

<b>20 км а/д «К-17р»</b>		
<b>Высота насыпи, м.</b>	<b>Толщина засыпки в/п трубы, м.</b>	<b>Диаметр в/п трубы, м.</b>
3,0	2,0	1,0
<b>Конструктивные слои земляного полотна:</b>		
<b>Материал</b>	<b>Толщина, м</b>	
Бетонная крошка фракцией от 60 до 80 мм.	0,08	
ЩПС фракцией от 40 до 70 мм.	0,10	
Насыпной грунт с включениями мелкого щебня	0,25	
<b>Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.</b>		
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>	<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>	
25,0-20,0	14,0-15,0	
<b>Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: присутствуют трещины, шириной раскрытия до 20 мм.</b>		

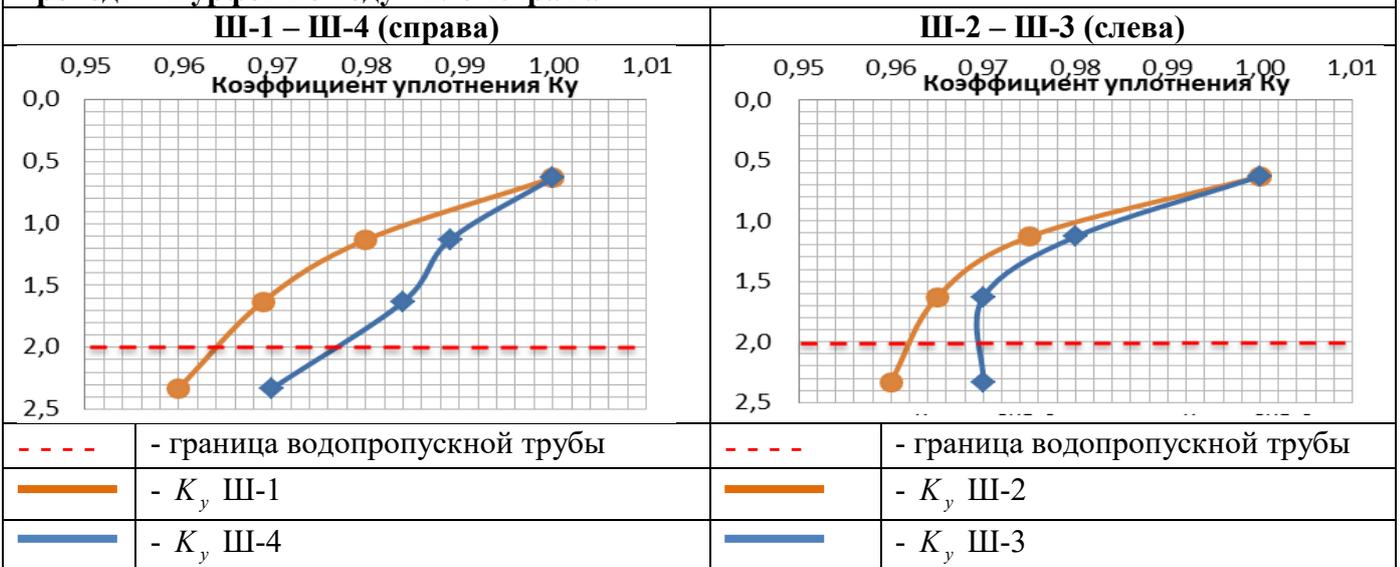
Продолжение таблицы 2.5



Максимальная плотность грунта  $\rho_{\max}$ , определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup>

Глубина отбора $h$ , м	Ш-1	Ш-2	Ш-3	Ш-4
0,6	1,86	1,89	1,86	1,89
1,1	1,74	1,79	1,81	1,82
1,6	1,78	1,86	1,77	1,81
2,3	1,77	1,83	1,80	1,79

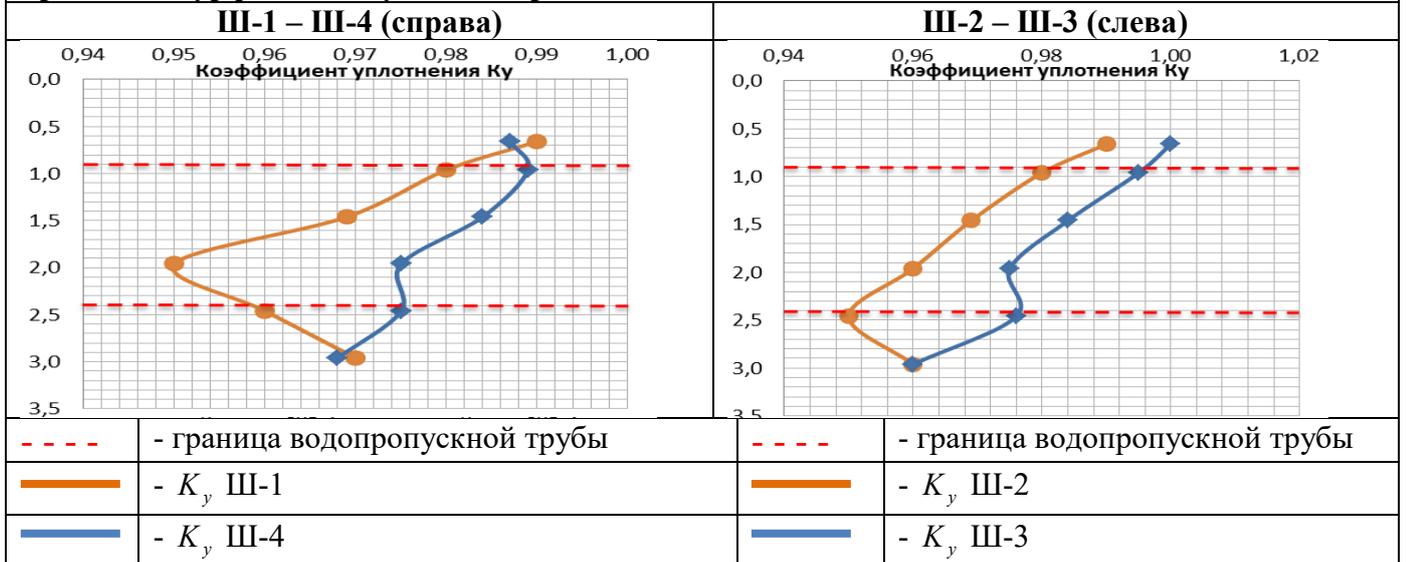
Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна  $K_y$  от глубины проходки шурфов по ходу километража



Продолжение таблицы 2.5

<b>44 км а/д «К-17р»</b>				
Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.		Диаметр в/п трубы, м.	
2,5	0,9		1,5	
<b>Конструктивные слои земляного полотна:</b>				
<b>Материал</b>			<b>Толщина, м</b>	
Мелкий щебень фракцией от 10 до 30 мм.			0,01	
Насыпной грунт с включениями мелкого щебня			0,10	
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.			0,15	
Супесь с включениями мелкого щебня			0,20	
<b>Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.</b>				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>			<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>	
20,0-15,0			10,0-15,0	
<b>Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: присутствуют трещины, шириной раскрытия от 20 до 50 мм. и отверстия в виде дырок диаметром до 40 мм.</b>				
				
				
<b>Максимальная плотность грунта <math>\rho_{\max}</math>, определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup></b>				
Глубина отбора $h$ , м	<b>Ш-1</b>	<b>Ш-2</b>	<b>Ш-3</b>	<b>Ш-4</b>
0,7	1,97	1,95	1,90	1,92
1,0	1,99	1,93	1,91	1,88
1,5	1,92	1,88	1,84	1,90
2,0	2,01	1,91	1,89	1,92
2,5	1,89	1,94	1,93	1,90
3,0	1,91	1,88	1,81	1,86

## Продолжение таблицы 2.5

Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна  $K_y$  от глубины проходки шурфов по ходу километража

## 72 км а/д «К-17р»

Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.	Высота в/п трубы, м.
3,8	0,9	2,5

## Конструктивные слои земляного полотна:

Материал	Толщина, м
Щебень фракцией от 30 до 70 мм. с включениями насыпного грунта	0,30
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.	0,40

## Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.

Ш-1 – Ш-4 (справа)	Ш-2 – Ш-3 (слева)
25,0-14,0	20,0-28,0

Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: присутствуют трещины, шириной раскрытия до 20 мм.



## Продолжение таблицы 2.5

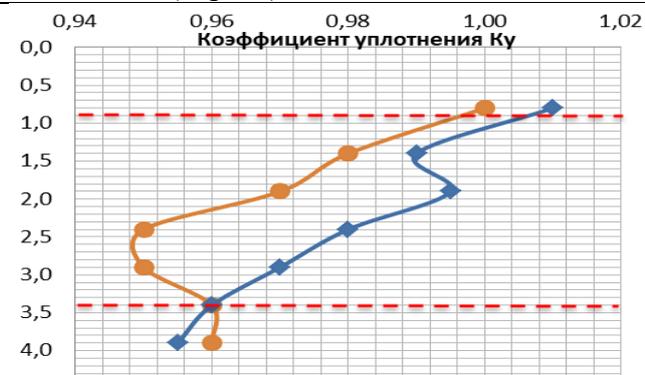


Максимальная плотность грунта  $\rho_{\max}$ , определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup>

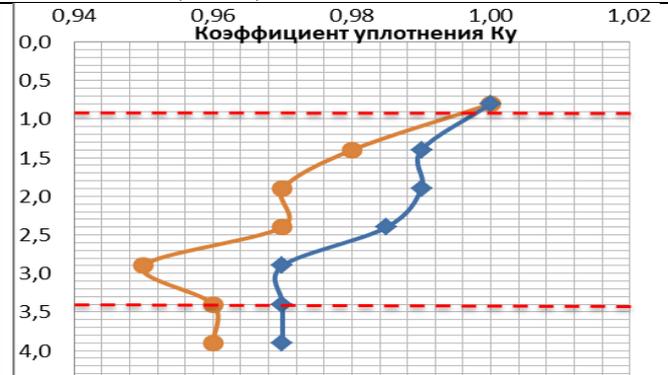
Глубина отбора $h$ , м	Ш-1	Ш-2	Ш-3	Ш-4
0,8	1,94	1,92	1,90	1,89
1,4	1,98	1,93	1,91	1,88
1,9	1,87	1,83	1,87	1,86
2,4	1,96	1,81	1,89	1,87
2,9	1,92	1,95	1,91	1,85
3,4	1,89	1,89	1,92	1,88
3,9	1,93	1,91	1,93	1,87

Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна  $K_y$  от глубины проходки шурфов по ходу километража

Ш-1 – Ш-4 (справа)



Ш-2 – Ш-3 (слева)



--- - граница водопропускной трубы

— -  $K_y$  Ш-1

— -  $K_y$  Ш-4

--- - граница водопропускной трубы

— -  $K_y$  Ш-2

— -  $K_y$  Ш-3

## Продолжение таблицы 2.5

<b>156 км а/д «К-17р»</b>				
Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.		Диаметр в/п трубы, м.	
4,0	2,8		3*1,0	
<b>Конструктивные слои земляного полотна:</b>				
<b>Материал</b>		<b>Толщина, м</b>		
Щебень фракцией от 50 до 70 мм. с включениями органики, насыпного грунта		0,18		
Насыпной грунт с включениями мелкого щебня и органики		0,13		
Щебень фракцией до 50 мм.		0,10		
Супесь с включениями мелкого щебня		0,19		
<b>Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.</b>				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>		<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>		
5,0-4,0		3,0-4,0		
<b>Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: дефектов не обнаружено, трещины ликвидированы путем укладки нового слоя асфальтобетонного покрытия.</b>				
				
				
<b>Максимальная плотность грунта <math>\rho_{\max}</math>, определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup></b>				
Глубина отбора $h$ , м	<b>Ш-1</b>	<b>Ш-2</b>	<b>Ш-3</b>	<b>Ш-4</b>
0,7	1,88	1,89	1,89	1,89
1,3	1,90	1,92	1,90	1,89
1,8	1,90	1,82	1,93	1,88
2,3	1,83	1,88	1,93	1,87
2,8	1,96	1,92	1,93	1,88
3,3	1,90	1,89	1,87	1,81

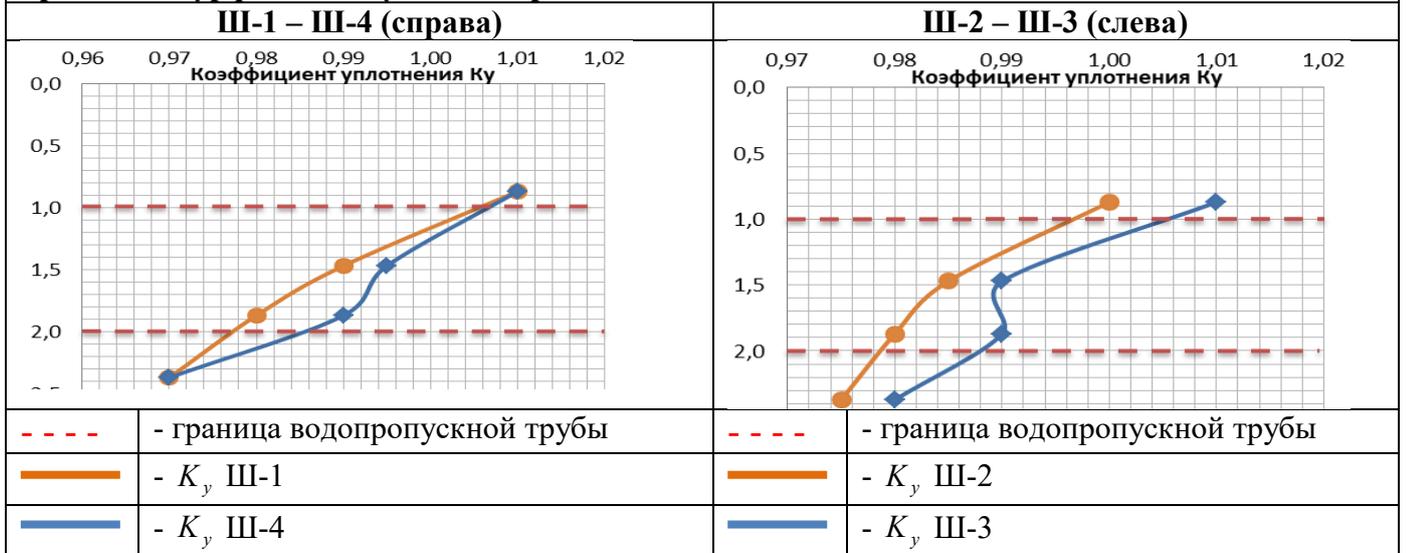
## Продолжение таблицы 2.5

Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна $K_y$ от глубины проходки шурфов по ходу километража		
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>		<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>
- - - -	- граница водопропускной трубы	- - - -
— (оранж.)	- $K_y$ Ш-1	— (оранж.)
— (син.)	- $K_y$ Ш-4	— (син.)
<b>171 км а/д «К-17р»</b>		
<b>Высота насыпи, м.</b>	<b>Толщина засыпки в/п трубы, м.</b>	<b>Диаметр в/п трубы, м.</b>
2,1	1,0	1,0
<b>Конструктивные слои земляного полотна:</b>		
<b>Материал</b>	<b>Толщина, м</b>	
Щебень насыпной фракцией до 50 мм.	0,05	
Щебень с включениями мелкого щебня и органики	0,07	
Насыпной грунт с включениями дресвы	0,12	
Насыпной грунт	0,20	
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.	0,23	
<b>Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.</b>		
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>		<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>
1,0-4,0		1,0-2,0
<b>Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: дефектов не обнаружено, произведен ремонт и нанесена поверхностная обработка дорожного покрытия.</b>		

## Продолжение таблицы 2.5

Максимальная плотность грунта $\rho_{\text{max}}$ , определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см <sup>3</sup>				
Глубина отбора $h$ , м	Ш-1	Ш-2	Ш-3	Ш-4
0,9	1,92	1,90	1,87	1,86
1,5	1,85	1,80	1,93	1,90
1,9	1,82	1,85	1,92	1,91
2,4	1,91	1,91	1,91	1,84

Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна  $K_y$  от глубины проходки шурфов по ходу километража



## 180 км а/д «К-17р»

Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.	Диаметр в/п трубы, м.
2,2	1,1	1,0

Конструктивные слои земляного полотна:

Материал	Толщина, м
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.	0,12
Насыпной грунт с включениями мелкого щебня	0,24

Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.

Ш-1 – Ш-4 (справа)	Ш-2 – Ш-3 (слева)
28,0-25,0	15,0-10,0

Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: трещин не обнаружено, показатель ровности в пределах допустимого в одном направлении автомобильной дороги.



## Продолжение таблицы 2.5

Максимальная плотность грунта $\rho_{\max}$ , определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см <sup>3</sup>				
Глубина отбора $h$ , м	Ш-1	Ш-2	Ш-3	Ш-4
0,5	1,91	1,91	1,92	1,85
0,8	1,73	1,84	1,93	1,79
1,3	1,98	1,82	1,91	1,83
1,8	2,02	1,90	1,96	1,84
2,3	1,96	1,94	1,92	1,90
Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна $K_y$ от глубины проходки шурфов по ходу километража				
Ш-1 – Ш-4 (справа)			Ш-2 – Ш-3 (слева)	
- - - - -			- - - - -	
- граница водопропускной трубы			- граница водопропускной трубы	
—			—	
- $K_y$ Ш-1			- $K_y$ Ш-2	
—			—	
- $K_y$ Ш-4			- $K_y$ Ш-3	
182 км а/д «К-17р»				
Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.	Диаметр в/п трубы, м.		
1,7	0,7	1,0		
Конструктивные слои земляного полотна:				
Материал	Толщина, м			
Щебень насыпной фракцией до 40 мм.	0,06			
Щебень с включениями мелкого щебня и органики	0,05			
Насыпной грунт с включениями дресвы	0,18			
Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.				
Ш-1 – Ш-4 (справа)			Ш-2 – Ш-3 (слева)	
15,0-10,0			10,0-25,0	
Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: трещин не обнаружено, показатель ровности в пределах допустимого.				

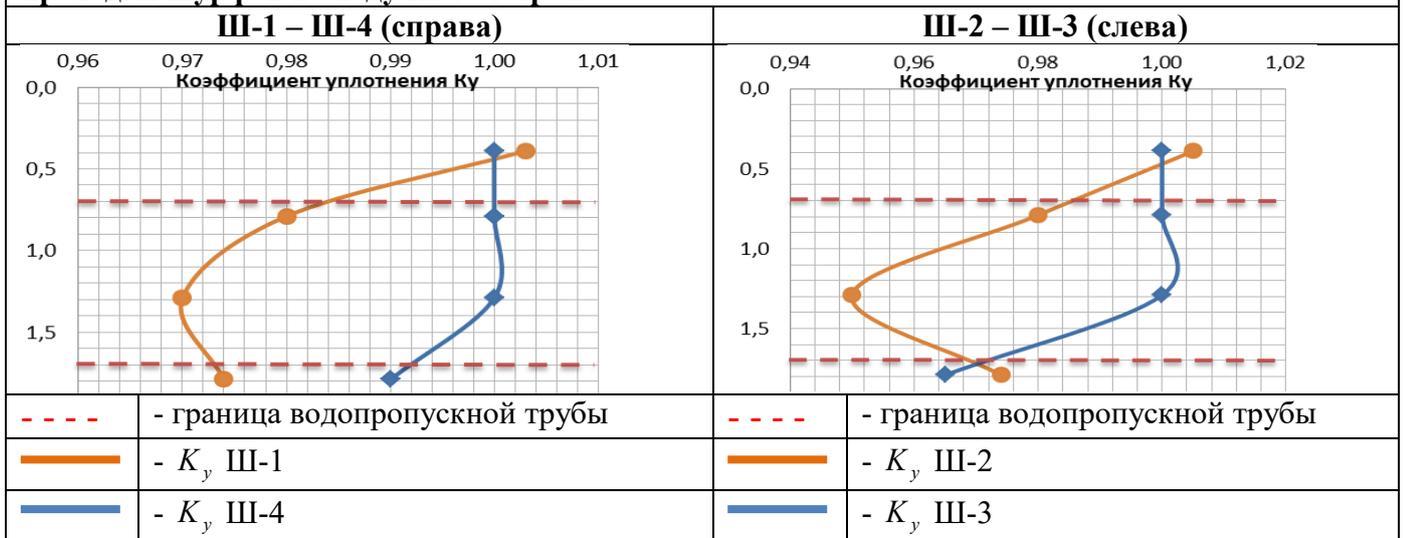
## Продолжение таблицы 2.5



Максимальная плотность грунта  $\rho_{\max}$ , определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup>

Глубина отбора $h$ , м	Ш-1	Ш-2	Ш-3	Ш-4
0,4	1,93	1,92	1,99	1,89
0,8	1,86	1,90	1,98	1,91
1,3	2,01	2,02	1,99	1,81
1,8	1,95	2,01	2,05	1,87

Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна  $K_y$  от глубины проходки шурфов по ходу километража



## 201 км а/д «К-17р»

Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.	Диаметр в/п трубы, м.
2,2	1,1	1,0

Конструктивные слои земляного полотна:

Материал	Толщина, м
Мелкий щебень, пыль	0,02
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.	0,12
Суглинок с включениями мелкого щебня	0,12
Суглинок черно-коричневого цвета	0,12
Суглинок светло-коричневого цвета	0,12
Песок с каменистыми включениями	0,02

Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.

Ш-1 – Ш-4 (справа)	Ш-2 – Ш-3 (слева)
14,0-8,0	10,0-12,0

## Продолжение таблицы 2.5

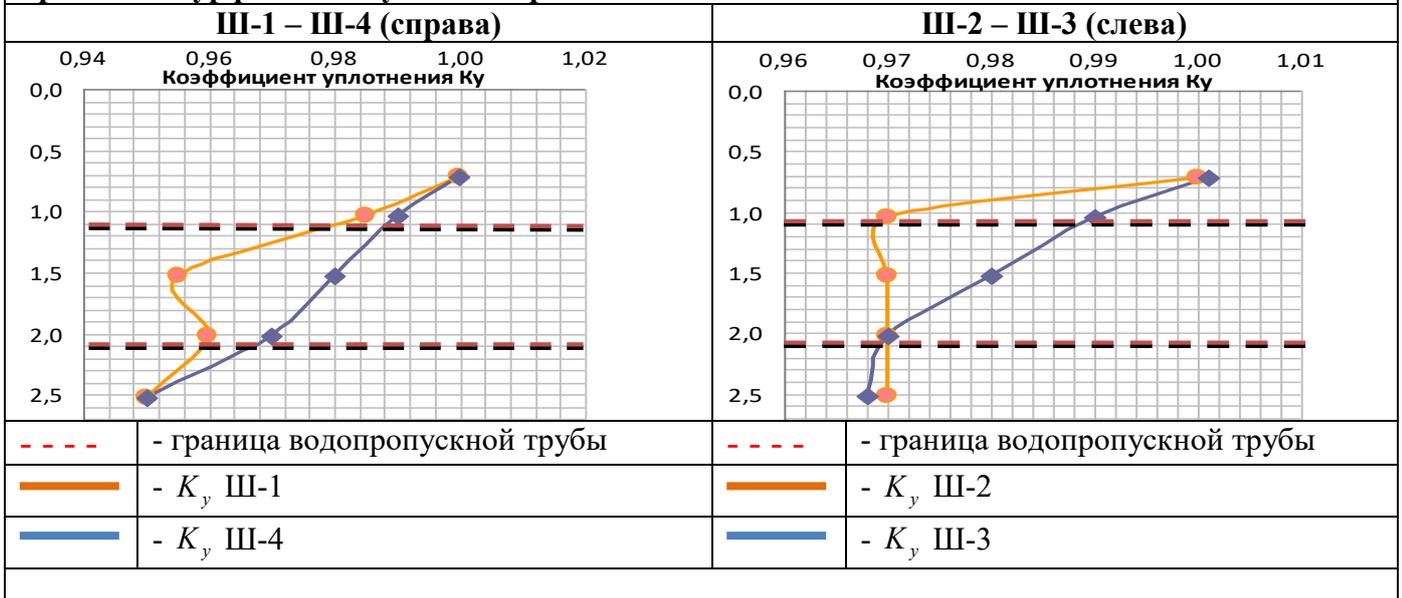
Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: присутствуют трещины, шириной раскрытия до 50 мм, поперечная трещина пересекает проезжую часть, недавно производилась заделка трещины



Максимальная плотность грунта  $\rho_{\max}$ , определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup>

Глубина отбора $h$ , м	Ш-1	Ш-2	Ш-3	Ш-4
0,7	1,92	1,92	1,93	1,93
1,0	1,92	1,87	1,99	2,01
1,5	1,94	1,96	2,02	2,02
2,0	1,86	2,00	2,05	2,02
2,5	1,95	1,96	1,97	2,01

Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна  $K_y$  от глубины проходки шурфов по ходу километража



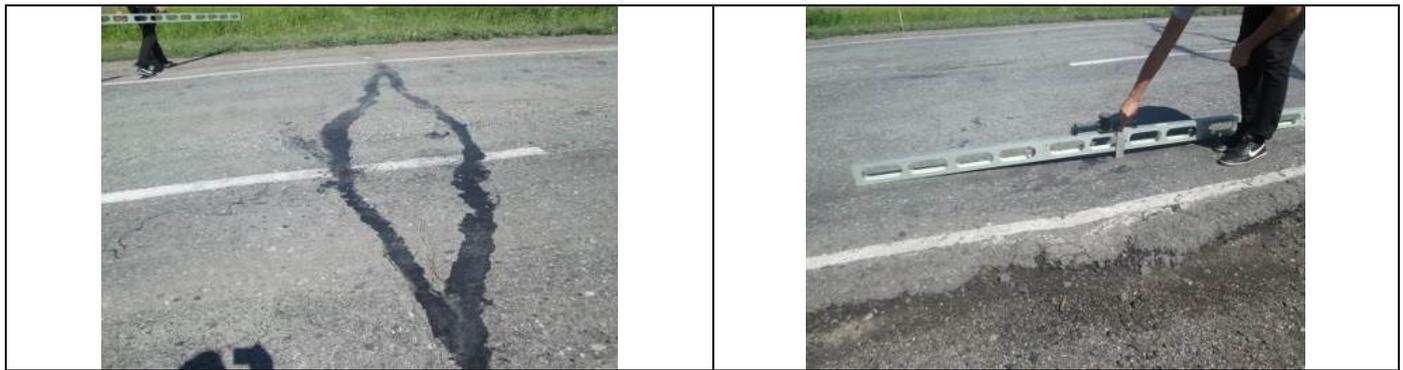
## Продолжение таблицы 2.5

<b>205 км а/д «К-17р»</b>		
Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.	Диаметр в/п трубы, м.
3,1	1,5	2*1,5
<b>Конструктивные слои земляного полотна:</b>		
<b>Материал</b>	<b>Толщина, м</b>	
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.	0,10	
Насыпной грунт с включениями дресвы	0,12	
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.	0,17	
<b>Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.</b>		
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>	<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>	
22,0-15,0	30,0-21,0	
<b>Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: трещин не обнаружено, показатель ровности не допустимый</b>		
		
		
		

## Продолжение таблицы 2.5

Максимальная плотность грунта $\rho_{\max}$ , определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см <sup>3</sup>				
Глубина отбора h, м	Ш-1	Ш-2	Ш-3	Ш-4
0,5	1,93	1,99	2,00	1,94
0,9	1,85	1,97	2,00	1,95
1,4	1,93	1,90	2,00	1,96
1,9	1,99	2,04	1,93	1,92
Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна $K_y$ от глубины проходки шурфов по ходу километража				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>		<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>		
---	- граница водопропускной трубы	---	- граница водопропускной трубы	
—	- $K_y$ Ш-1	—	- $K_y$ Ш-2	
—	- $K_y$ Ш-4	—	- $K_y$ Ш-3	
<b>226 км а/д «К-17р»</b>				
<b>Высота насыпи, м.</b>	<b>Толщина засыпки в/п трубы, м.</b>		<b>Диаметр в/п трубы, м.</b>	
2,0	0,9		1,0	
<b>Конструктивные слои земляного полотна:</b>				
<b>Материал</b>			<b>Толщина, м</b>	
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.			0,14	
Насыпной грунт с включениями мелкого щебня			0,12	
Песок с каменистыми включениями			0,07	
<b>Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.</b>				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>		<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>		
12,0-11,0		9,0-10,0		
<b>Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: дефекты присутствуют, трещин не обнаружено, показатель ровности в пределах допустимого в одном направлении автомобильной дороги.</b>				

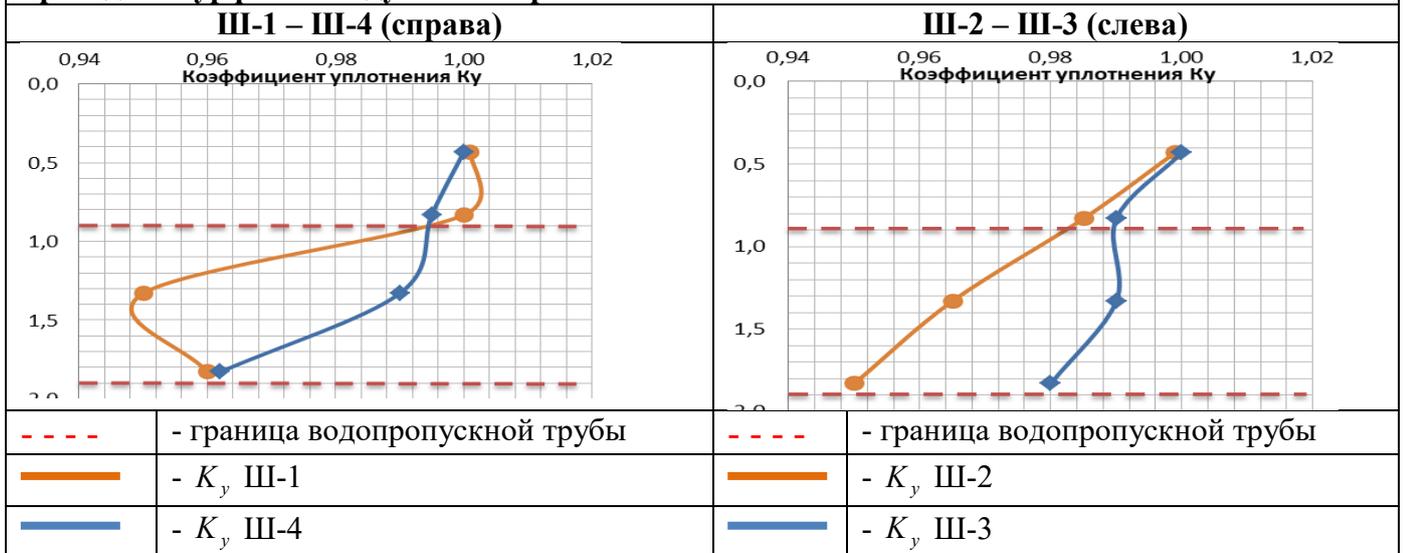
## Продолжение таблицы 2.5



Максимальная плотность грунта  $\rho_{\max}$ , определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup>

Глубина отбора $h$ , м	Ш-1	Ш-2	Ш-3	Ш-4
0,4	1,92	1,88	1,90	1,88
0,8	1,84	1,82	1,87	1,90
1,3	1,88	1,95	1,87	1,94
1,8	1,98	1,96	1,91	2,00

Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна  $K_y$  от глубины проходки шурфов по ходу километража



## 228 км а/д «К-17р»

Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.	Диаметр в/п трубы, м.
2,3	1,2	2*1,0

Конструктивные слои земляного полотна:

Материал	Толщина, м
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.	0,12
Щебень с включениями мелкого щебня и органики	0,07
Насыпной грунт с включениями дресвы	0,12

Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.

Ш-1 – Ш-4 (справа)	Ш-2 – Ш-3 (слева)
15,0-12,0	17,0-24,0

Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопрпускной трубы: трещин не обнаружено, показатель ровности не допустимый

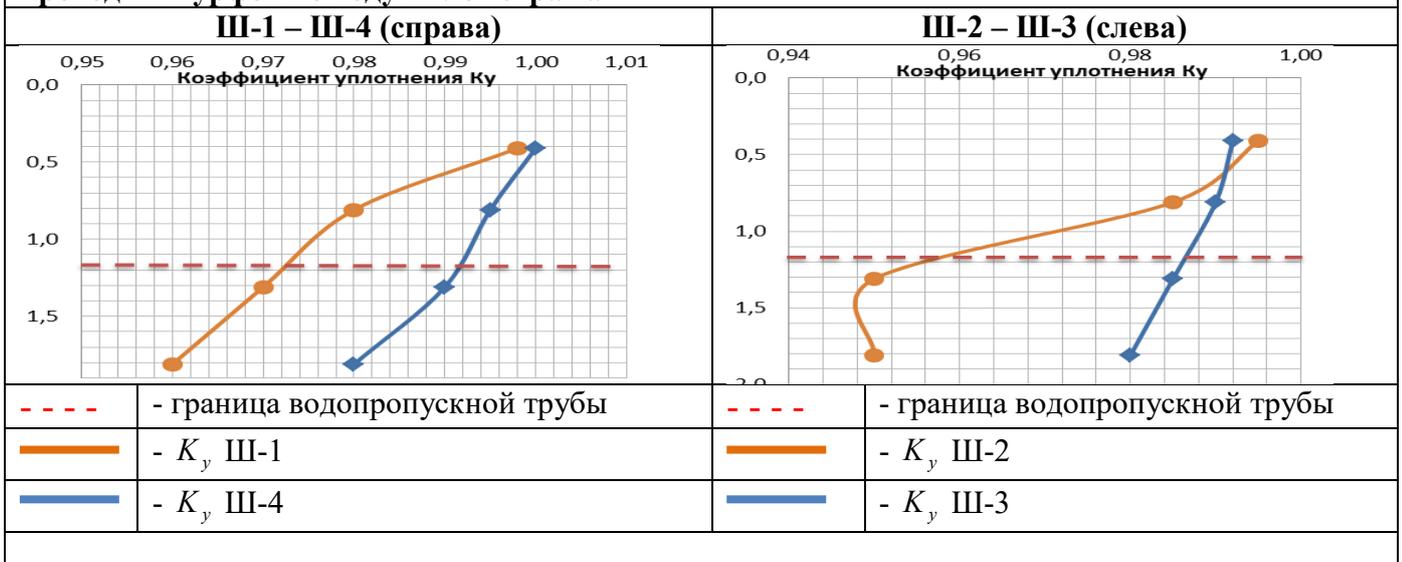
Продолжение таблицы 2.5



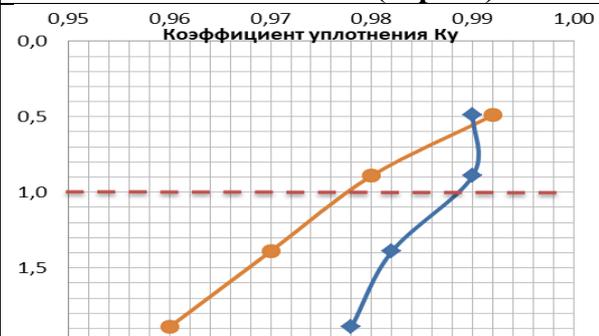
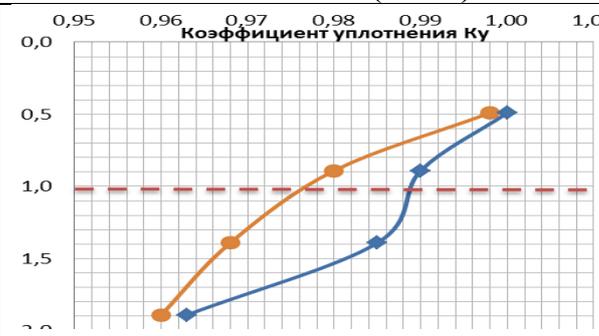
Максимальная плотность грунта  $\rho_{\max}$ , определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup>

Глубина отбора $h$ , м	Ш-1	Ш-2	Ш-3	Ш-4
0,4	1,87	1,89	1,92	1,89
0,8	1,78	1,75	1,87	1,85
1,3	1,92	1,99	1,92	1,83
1,8	1,88	1,91	1,83	1,83

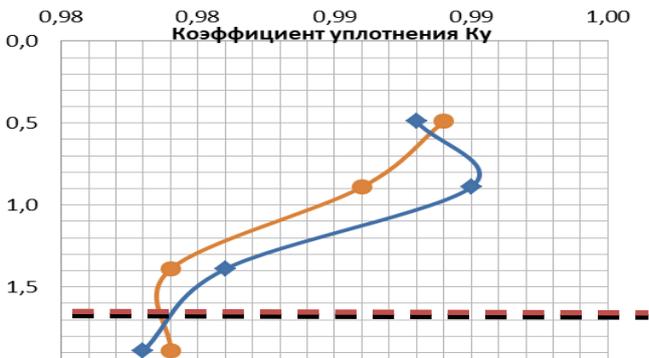
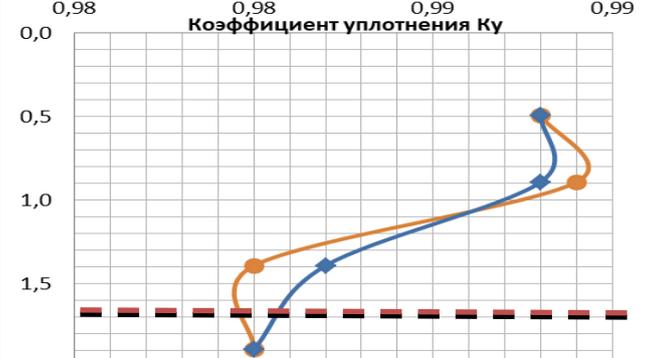
Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна  $K_y$  от глубины проходки шурфов по ходу километража



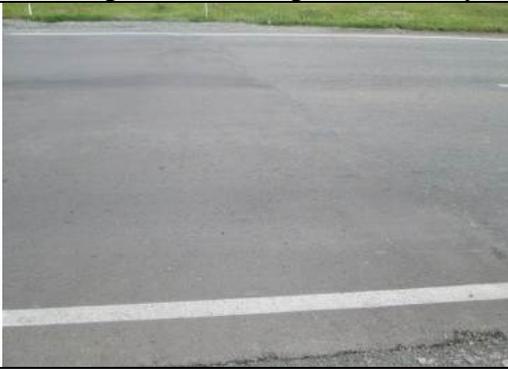
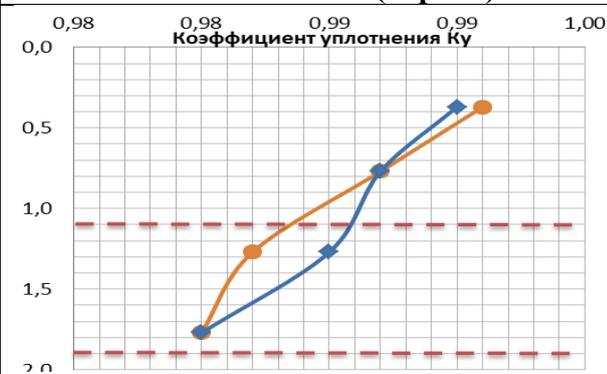
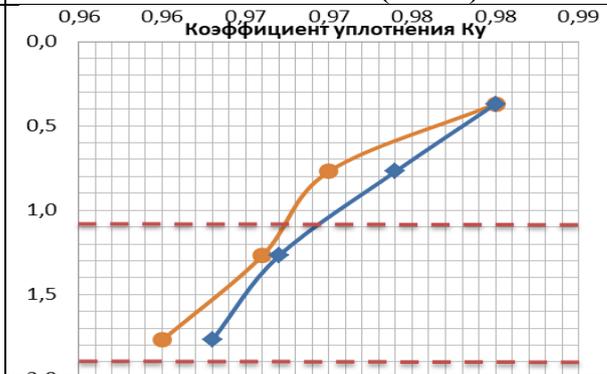
## Продолжение таблицы 2.5

289 км а/д «К-17р»				
Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.	Диаметр в/п трубы, м.		
2,7	1,0	2*1,5		
<b>Конструктивные слои земляного полотна:</b>				
<b>Материал</b>	<b>Толщина, м</b>			
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.	0,11			
Насыпной грунт с включениями мелкого щебня	0,18			
Щебень насыпной фракцией до 50 мм.	0,10			
<b>Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.</b>				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>		<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>		
18,0-12,0		14,0-20,0		
<b>Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: присутствуют трещины, шириной раскрытия до 20 до 70 мм над водопропускной трубой.</b>				
				
<b>Максимальная плотность грунта <math>\rho_{\max}</math>, определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup></b>				
Глубина отбора $h$ , м	<b>Ш-1</b>	<b>Ш-2</b>	<b>Ш-3</b>	<b>Ш-4</b>
0,5	1,87	1,87	1,89	1,92
0,9	1,81	1,82	1,89	1,89
1,4	1,89	1,92	1,92	1,90
1,9	1,94	1,94	1,87	1,90
<b>Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна <math>K_y</math> от глубины проходки шурфов по ходу километража</b>				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>			<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>	
				
- - - - -			- - - - -	
- граница водопропускной трубы			- граница водопропускной трубы	
—			—	
- $K_y$ Ш-1			- $K_y$ Ш-2	
—			—	
- $K_y$ Ш-4			- $K_y$ Ш-3	

Продолжение таблицы 2.5

303 км а/д «К-17р»				
Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.		Диаметр в/п трубы, м.	
2,6	1,5		1,0	
<b>Конструктивные слои земляного полотна:</b>				
<b>Материал</b>			<b>Толщина, м</b>	
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.			0,14	
Насыпной грунт с включениями мелкого щебня			0,25	
<b>Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.</b>				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>			<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>	
4,0-3,0			2,0-5,0	
<b>Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: трещин не обнаружено, над водопропускной трубой и по 5 м. в каждую сторону был произведен ремонт, показатель ровности в пределах допустимого.</b>				
				
<b>Максимальная плотность грунта <math>\rho_{\max}</math>, определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup></b>				
Глубина отбора h, м	<b>Ш-1</b>	<b>Ш-2</b>	<b>Ш-3</b>	<b>Ш-4</b>
0,5	1,91	1,90	1,88	1,92
0,9	1,83	1,80	1,85	1,89
1,4	1,80	1,73	1,92	1,92
1,9	1,95	1,88	1,90	1,94
<b>Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна <math>K_y</math> от глубины проходки шурфов по ходу километража</b>				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>			<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>	
				
- - - - -			- - - - -	
- граница водопропускной трубы			- граница водопропускной трубы	
— — — — —			— — — — —	
- $K_y$ Ш-1			- $K_y$ Ш-2	
— — — — —			— — — — —	
- $K_y$ Ш-4			- $K_y$ Ш-3	

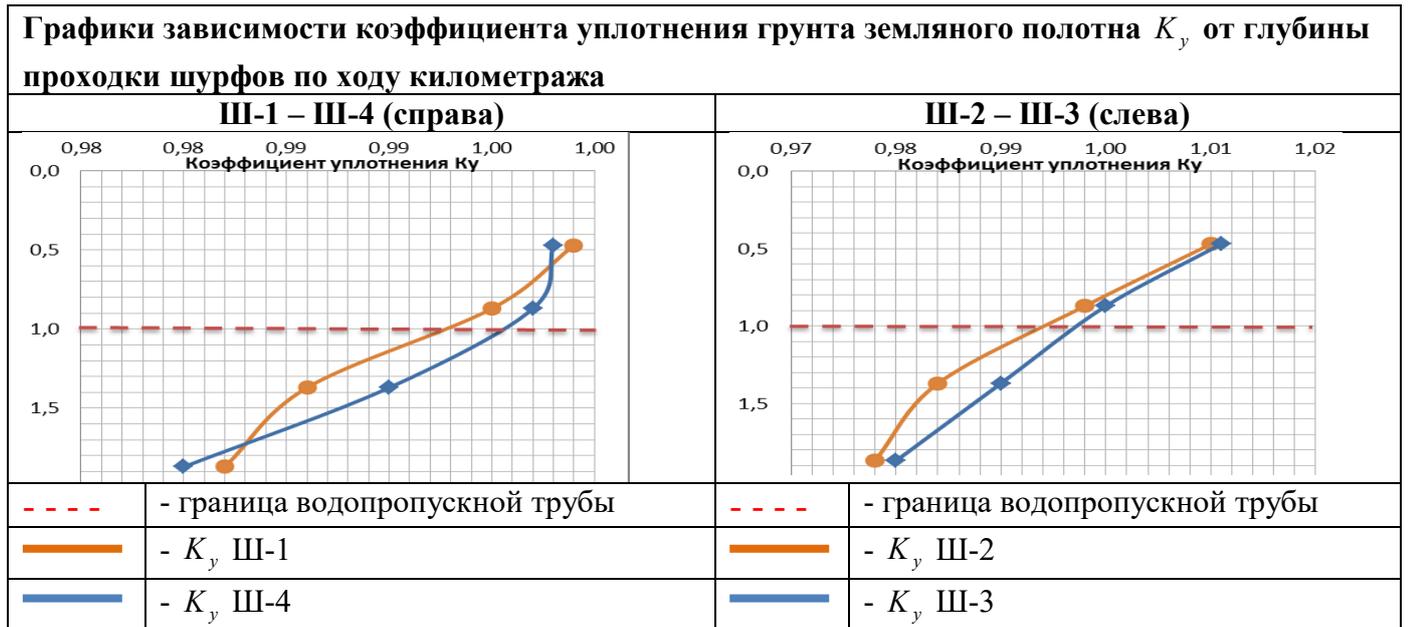
## Продолжение таблицы 2.5

<b>327 км а/д «К-17р»</b>				
Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.	Диаметр в/п трубы, м.		
2,1	1,1	0,8		
<b>Конструктивные слои земляного полотна:</b>				
<b>Материал</b>		<b>Толщина, м</b>		
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.		0,15		
Щебень с включениями мелкого щебня и органики		0,07		
Песок с каменистыми включениями		0,05		
<b>Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.</b>				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>		<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>		
3,0-4,0		4,0-2,0		
<b>Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: трещин не обнаружено, над водопропускной трубой и по 5 м. в каждую сторону был произведен ремонт, показатель ровности в пределах допустимого.</b>				
				
<b>Максимальная плотность грунта <math>\rho_{\max}</math>, определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup></b>				
Глубина отбора $h$ , м	<b>Ш-1</b>	<b>Ш-2</b>	<b>Ш-3</b>	<b>Ш-4</b>
0,4	1,90	1,93	1,93	1,88
0,8	1,81	1,80	1,91	1,88
1,3	1,75	1,81	1,98	1,88
1,8	1,80	1,87	1,90	1,85
<b>Графики зависимости коэффициента уплотнения грунта земляного полотна <math>K_y</math> от глубины проходки шурфов по ходу километража</b>				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>		<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>		
				
- - - - -	- граница водопропускной трубы	- - - - -	- граница водопропускной трубы	
— (orange)	- $K_y$ Ш-1	— (orange)	- $K_y$ Ш-2	
— (blue)	- $K_y$ Ш-4	— (blue)	- $K_y$ Ш-3	

Продолжение таблицы 2.5

334 км а/д «К-17р»				
Высота насыпи, м.	Толщина засыпки в/п трубы, м.	Диаметр в/п трубы, м.		
2,1	1,0	1,0		
<b>Конструктивные слои земляного полотна:</b>				
<b>Материал</b>	<b>Толщина, м</b>			
Щебень фракцией от 50 до 70 мм.	0,12			
Щебень насыпной фракцией до 50 мм.	0,11			
Насыпной грунт с включениями дресвы	0,14			
<b>Глубина просвета под трехметровой рейкой по ходу километража, мм.</b>				
<b>Ш-1 – Ш-4 (справа)</b>	<b>Ш-2 – Ш-3 (слева)</b>			
10,0-7,0	6,0-8,0			
<b>Состояние дорожного покрытия в барьерных местах водопропускной трубы: присутствуют трещины, шириной раскрытия до 20 до 40 мм над водопропускной трубой.</b>				
				
				
<b>Максимальная плотность грунта <math>\rho_{\max}</math>, определенная по методу стандартного уплотнения в лаборатории, г/см<sup>3</sup></b>				
Глубина отбора $h$ , м	<b>Ш-1</b>	<b>Ш-2</b>	<b>Ш-3</b>	<b>Ш-4</b>
0,5	1,88	1,85	1,85	1,88
0,9	1,82	1,71	1,84	1,86
1,4	1,75	1,77	1,82	1,84
1,9	1,83	1,77	1,77	1,86

## Продолжение таблицы 2.5



Сравнив данные о состоянии дорожной одежды, полученные при натуральных и теоретических исследованиях на участках а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб, можно сделать вывод о наличии разуплотненных зон в земляном полотне, в большинстве случаев, расположенных в местах устройства водопропускных труб.

Одним из факторов, влияющих на разуплотнение грунтов земляного полотна является влажность. В ходе исследований автором была установлена оптимальная влажность и максимальная плотность по каждому выделенному ИГЭ. Для наглядности, все данные проанализированы, обобщены и приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Средние значения плотности, влажности и коэффициентов уплотнения грунтов земляного полотна

ИГЭ	Плотность сухого грунта, максимальное значение	Плотность сухого грунта, среднее значение	Коэффициент уплотнения	Влажность оптимальная, среднее значение	Влажность оптимальная, среднее значение
	$\rho_{dmax}$ , Г/см <sup>3</sup>	$\rho_{dфак\ сред.}$ , Г/см <sup>3</sup>		$K_{упл}$	$W_{опт\ сред.}$
1п	1,96	1,66	0,84	0,21	0,13
1с	1,96	1,55	0,79	0,21	0,14
1р	1,96	1,46	0,74	0,21	0,14
2п	1,98	1,64	0,83	0,25	0,16
2с	1,98	1,55	0,78	0,25	0,19
2р	1,98	1,48	0,71	0,25	0,19

Проанализировав полученные значения, можно сделать вывод, что в пределах выделенных ИГЭ грунты земляного полотна недостаточно увлажнены.

## **2.6 Определение характеристик прочности и деформируемости грунтов земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб**

Согласно ГОСТ 12248.1-2020 [32] одним из методов определения характеристик прочности грунтов земляного полотна является метод одноплоскостного среза, при котором испытания проводят в одноплоскостных срезных приборах с фиксированной плоскостью среза путем сдвига одной части образца, сформированного из грунта относительно другой его части горизонтальной нагрузкой при предварительном нагружении нагрузкой, нормальной к плоскости среза. По результатам испытаний определяют прочностные характеристики: угол внутреннего трения  $\varphi$ , град, удельное сцепление  $C$ , МПа и деформационные характеристики: модуль деформации  $E$ .

В таблице 2.7 приведены обобщенные характеристики прочности грунтов земляного полотна на участках а/д «К-17р» в местах расположения водопропускных труб.

Таблица 2.7 – Обобщенные характеристики прочности грунтов земляного полотна земляного полотна на участках а/д «К-17р» в местах расположения водопропускных труб

Дорожный район	Адреса участков а/д «К-17р», км	Тип и диаметр в/п труб	$C$ , МПа	$\varphi$ , град
Ш.Р.4	20	круглая ж/б $\varnothing$ 1,0 м	0,012	26,6
	44	круглая ж/б $\varnothing$ 1,5 м	0,020	22,8
	171	круглая ж/б $\varnothing$ 1,0 м	0,027	23,8
	180	круглая ж/б $\varnothing$ 1,0 м	0,021	23,3
	182	круглая ж/б $\varnothing$ 1,0 м	0,020	22,7
	201	круглая ж/б $\varnothing$ 1,0 м	0,021	23,0
	205	2-х круглая ж/б 2* $\varnothing$ 1,5 м	0,020	22,7
	226	круглая ж/б $\varnothing$ 1,0 м	0,022	23,7
	228	круглая ж/б $\varnothing$ 1,0 м	0,020	22,7

Продолжение таблицы 2.7

Дорожный район	Адреса участков а/д «К-17р», км	Тип и диаметр в/п труб	С, МПа	φ, град
Ш.Х.1	72	скотопрогон 4,0*2,5 м	0,021	23,5
	156	3-х круглая ж/б 3* Ø 1,0 м	0,026	22,6
Ш.Р.3	289	2-х круглая ж/б 2* Ø 1,5 м	0,021	23,5
	303	круглая ж/б Ø 1,0 м	0,022	23,9
	327	круглая ж/б Ø 0,8 м	0,022	24,2
	334	круглая ж/б Ø 1,0 м	0,022	26,2

Проанализировав и классифицировав полученные характеристики прочности грунтов земляного полотна, расположенного в зонах расположения водопропускных труб, были выделены участки а/д «К-17р» для определения характеристик грунтов по всем типам ИГЭ, такие как км 72 а/д «К-17р» (Шурф № 1, Шурф № 2, Шурф № 3); км 156 а/д «К-17р» (Шурф № 1); км 180 а/д «К-17р» (Шурф № 1); км 201 а/д «К-17р» (Шурф № 1). Штамповые испытания были проведены в соответствии с ГОСТ 20276.1-2020 [34].

Сопоставив результаты проведенных штамповых исследований с лабораторными были получены коэффициенты перехода от модуля деформации к модулю упругости грунтов земляного полотна для участков, на которых не проводились штамповые испытания в связи с их высокой стоимостью проведения.

В таблице 2.8 приведены коэффициенты перехода от модуля деформации к модулю упругости грунтов земляного полотна для выделенных ИГЭ.

Таблица 2.8 – Коэффициенты перехода от модуля деформации к модулю упругости грунтов земляного полотна для выделенных ИГЭ

№ ИГЭ	Модуль деформации. Компрессионные испытания $E_{\kappa}$ средний, МПа	Модуль упр. $E_{\kappa y}$ , МПа	$K_y = \frac{E_{\kappa y}}{E_{\kappa}}$	Индекс дорожного района согласно СТП ТУАД 32-03-2000	Модуль деформации. Штамповые испытания $E_{um}$ , МПа	Коэффициент перехода $K_y$	Коэффициент перехода $m_{\kappa}^{\phi}$
1п	10,5	43	4,09	Ш.Р.3.; Ш.Р.4.; Ш.Х.1.	31	3,87	2,2
2п	10,0	40	4,00	Ш.Р.3.; Ш.Р.4.; Ш.Х.1.	29	3,80	2,5
1с	9,0	37	4,10	Ш.Р.3.; Ш.Р.4.; Ш.Х.1.	26	3,70	2,5

## Продолжение таблицы 2.8

№ ИГЭ	Модуль деформации. Компрессионные испытания $E_k$ средний, МПа	Модуль упр. $E_{ky}$ , МПа	$K_y = \frac{E_{ky}}{E_k}$	Индекс дорожного района согласно СТП ТУАД 32-03-2000	Модуль деформации. Штамповые испытания $E_{шт}$ , МПа	Коэффициент перехода $K_y$	Коэффициент перехода $m_k^{\phi}$
2с	8,4	33	3,90	Ш.Р.3.; Ш.Р.4.; Ш.Х.1.	24	3,60	2,4
1р	3,8	15	3,90	Ш.Р.3.; Ш.Р.4.; Ш.Х.1.	8,7	4,10	2,3
2р	6,0	24	4,00	Ш.Р.3.; Ш.Р.4.; Ш.Х.1.	14	3,90	2,4

Здесь:  $m_k^{\phi}$  – коэффициент перехода от компрессионных модулей деформации  $E_k$  к штамповым  $E_{шт}$ , МПа;  $K_y$  – коэффициент перехода от модулей общей деформации  $E$  к модулю упругости по второй ветви загрузки  $E_y$ , МПа.

В таблице 2.9 размещены средние значения прочностных и деформационных характеристик грунтов земляного полотна для выделенных ИГЭ.

Таблица 2.9 – Средние значения прочностных и деформационных характеристик грунтов земляного полотна для выделенных ИГЭ

№ ИГЭ	$W_{отн}$	$K_y = \frac{E_{упр}}{E_{деф}}$	$e_{cp}$	$\varphi_{cp}$ , град.	$C_{cp}$ , МПа	$E_{к.деф.ср}$ , МПа	$E_{к.упр.ср}$ , МПа
1п	0,50	4,10	0,612	31,0	0,019	7,5	30,0
1с	0,50	4,00	0,704	28,5	0,015	6,3	25,3
1р	0,70	4,00	0,844	25,9	0,011	4,3	17,0
2п	0,47	4,10	0,617	26,1	0,027	7,2	29,0
2с	0,56	4,00	0,721	24,5	0,023	5,8	23,0
2р	0,78	4,00	0,826	22,6	0,019	3,6	14,5

В таблице 2.10 приведены характеристики прочности и деформируемости грунтов земляного полотна а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб.

Таблица 2.10 – Характеристики прочности и деформируемости грунтов земляного полотна а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб

№ п/п	Шурф №	Глубина отбора проб $H$ , м	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа
<b>км 20 а/д «К-17р»</b>							
20	Ш-1	0,2	1,86	30,8	0,019	9,4	38,5
20	Ш-1	0,7	1,71	28,8	0,016	7,7	31,6
20	Ш-1	1,2	1,72	26,6	0,012	4,8	19,2
20	Ш-1	1,9	1,70	28,2	0,015	7,9	30,8
20	Ш-2	0,2	1,89	31,0	0,019	10,5	42,0
20	Ш-2	0,7	1,74	28,9	0,016	8,6	35,3
20	Ш-2	1,2	1,79	27,2	0,013	4,9	19,1
20	Ш-2	1,9	1,76	29,2	0,016	9,6	39,4
20	Ш-3	0,2	1,86	30,6	0,018	13,8	56,6
20	Ш-3	0,7	1,77	30,3	0,017	9,2	37,7
20	Ш-3	1,2	1,72	29,0	0,016	8,7	35,7
20	Ш-3	1,9	1,75	30,1	0,017	9,9	40,6
20	Ш-4	0,2	1,89	29,9	0,015	10,8	44,3
20	Ш-4	0,7	1,80	30,5	0,018	9,9	40,6
20	Ш-4	1,2	1,78	24,2	0,027	11,2	43,7
20	Ш-4	1,9	1,74	23,5	0,026	8,5	34,0
<b>км 44 а/д «К-17р»</b>							
44	Ш-1	0,2	1,96	26,2	0,024	10,9	44,7
44	Ш-1	0,5	1,95	26,0	0,024	9,5	38,0
44	Ш-1	1,0	1,86	24,9	0,025	8,2	32,8
44	Ш-1	1,5	1,91	22,8	0,020	5,9	23,0
44	Ш-1	2,0	1,81	23,7	0,022	7,3	29,9
44	Ш-1	2,5	1,86	24,9	0,023	7,8	31,2
44	Ш-2	0,2	1,93	26,3	0,027	10,0	40,0
44	Ш-2	0,5	1,89	26,1	0,027	9,5	38,0
44	Ш-2	1,0	1,83	24,8	0,024	8,7	34,8
44	Ш-2	1,5	1,83	22,8	0,020	6,5	25,4
44	Ш-2	2,0	1,84	23,6	0,022	6,4	25,0
44	Ш-2	2,5	1,82	24,1	0,022	7,0	28,7
44	Ш-3	0,2	1,90	26,5	0,028	9,6	39,4
44	Ш-3	0,5	1,90	26,4	0,028	10,6	43,5
44	Ш-3	1,0	1,81	25,6	0,025	9,5	37,1
44	Ш-3	1,5	1,84	25,3	0,025	9,1	35,5
44	Ш-3	2,0	1,89	25,1	0,024	9,3	36,3
44	Ш-3	2,5	1,76	24,6	0,023	7,2	29,5
44	Ш-4	0,2	1,90	26,4	0,028	10,8	44,3
44	Ш-4	0,5	1,86	26,1	0,027	10,2	41,8
44	Ш-4	1,0	1,87	25,8	0,026	9,6	37,4
44	Ш-4	1,5	1,87	25,3	0,025	9,1	35,5

Продолжение таблицы 2.10

№ п/п	Шурф №	Глубина отбора проб $H$ , м	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа
44	Ш-4	2,0	1,86	25,2	0,024	10,6	41,3
44	Ш-4	2,5	1,80	24,7	0,025	7,8	31,2
<b>км 72 а/д «К-17р»</b>							
72	Ш-1	0,1	1,94	29,5	0,020	11,1	44,3
72	Ш-1	0,7	1,94	29,3	0,019	10,4	42,6
72	Ш-1	1,2	1,81	27,6	0,021	8,7	35,7
72	Ш-1	1,7	1,86	23,5	0,021	6,5	25,4
72	Ш-1	2,2	1,82	23,6	0,025	6,0	23,4
72	Ш-1	2,7	1,80	24,7	0,016	8,3	34,0
72	Ш-1	3,2	1,83	25,2	0,018	8,6	35,3
72	Ш-2	0,1	1,92	28,4	0,018	10,4	42,6
72	Ш-2	0,7	1,89	28,0	0,018	10,7	43,9
72	Ш-2	1,2	1,77	26,6	0,015	8,1	33,2
72	Ш-2	1,7	1,76	22,6	0,019	4,8	19,2
72	Ш-2	2,2	1,85	23,2	0,021	5,2	20,3
72	Ш-2	2,7	1,81	24,7	0,023	7,8	31,2
72	Ш-2	3,2	1,83	24,6	0,024	8,3	33,2
72	Ш-3	0,1	1,90	29,4	0,019	10,6	43,5
72	Ш-3	0,7	1,89	29,1	0,019	9,8	40,2
72	Ш-3	1,2	1,85	29,0	0,018	9,4	38,5
72	Ш-3	1,7	1,86	25,1	0,024	7,6	30,4
72	Ш-3	2,2	1,85	25,2	0,023	7,2	28,8
72	Ш-3	2,7	1,86	24,6	0,023	8,3	32,4
72	Ш-3	3,2	1,87	24,7	0,024	8,7	34,8
72	Ш-4	0,1	1,90	30,5	0,019	11,4	45,6
72	Ш-4	0,7	1,86	30,1	0,018	9,6	39,4
72	Ш-4	1,2	1,85	29,9	0,017	9,3	38,1
72	Ш-4	1,7	1,84	28,8	0,024	9,5	39,0
72	Ш-4	2,2	1,80	24,8	0,023	7,2	28,8
72	Ш-4	2,7	1,80	24,7	0,023	7,8	32,0
72	Ш-4	3,2	1,79	24,6	0,024	7,4	30,3
<b>км 156 а/д «К-17р»</b>							
156	Ш-1	0,1	1,86	25,0	0,031	9,9	39,6
156	Ш-1	0,7	1,86	24,8	0,030	9,6	38,4
156	Ш-1	1,2	1,86	22,6	0,026	7,5	30,0
156	Ш-1	1,7	1,76	22,1	0,024	4,8	19,2
156	Ш-1	2,2	1,86	22,5	0,023	5,2	20,3
156	Ш-1	2,7	1,81	23,3	0,025	7,9	32,4
156	Ш-2	0,1	1,87	31,2	0,019	9,2	37,7
156	Ш-2	0,7	1,88	30,8	0,018	9,7	39,8
156	Ш-2	1,2	1,77	24,6	0,022	9,5	37,1
156	Ш-2	1,7	1,80	22,7	0,020	5,6	22,4

Продолжение таблицы 2.10

№ п/п	Шурф №	Глубина отбора проб $H$ , м	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа
156	Ш-2	2,2	1,82	23,5	0,022	4,8	18,7
156	Ш-2	2,7	1,79	24,0	0,022	7,6	31,2
156	Ш-3	0,1	1,88	29,4	0,019	11,1	44,4
156	Ш-3	0,7	1,88	28,4	0,019	9,8	40,2
156	Ш-3	1,2	1,89	28,0	0,019	10,1	41,4
156	Ш-3	1,7	1,87	24,8	0,026	9,6	38,4
156	Ш-3	2,2	1,87	24,7	0,026	9,1	35,5
156	Ш-3	2,7	1,79	24,2	0,022	7,4	30,3
156	Ш-4	0,1	1,88	25,4	0,019	11,2	44,8
156	Ш-4	0,7	1,87	25,2	0,019	10,4	42,6
156	Ш-4	1,2	1,85	24,8	0,018	10,3	42,2
156	Ш-4	1,7	1,81	25,2	0,024	9,6	37,4
156	Ш-4	2,2	1,81	25,3	0,024	10,7	41,7
156	Ш-4	2,7	1,74	24,6	0,022	7,8	31,2
<b>км 171 а/д «К-17р»</b>							
171	Ш-1	0,2	1,94	25,2	0,032	10,9	44,7
171	Ш-1	0,8	1,83	23,8	0,027	9,3	37,2
171	Ш-1	1,2	1,78	22,7	0,020	5,6	22,4
171	Ш-1	1,7	1,85	24,4	0,022	7,8	32,0
171	Ш-2	0,2	1,90	25,1	0,032	10,9	44,7
171	Ш-2	0,8	1,77	23,4	0,026	7,4	30,3
171	Ш-2	1,2	1,80	23,7	0,022	7,5	30,8
171	Ш-2	1,7	1,86	25,1	0,024	8,3	33,2
171	Ш-3	0,2	1,89	26,5	0,028	9,2	37,7
171	Ш-3	0,8	1,91	25,7	0,026	10,0	39,0
171	Ш-3	1,2	1,90	25,2	0,024	9,7	37,8
171	Ш-3	1,7	1,88	25,1	0,024	9,1	35,5
171	Ш-4	0,2	1,88	26,4	0,028	10,9	44,7
171	Ш-4	0,8	1,89	26,0	0,027	10,0	40,0
171	Ш-4	1,2	1,89	25,8	0,026	9,6	37,4
171	Ш-4	1,7	1,78	24,7	0,022	7,8	31,2
<b>км 180 а/д «К-17р»</b>							
180	Ш-1	0,1	1,92	28,3	0,018	10,8	44,3
180	Ш-1	0,4	1,75	27,7	0,013	8,4	34,4
180	Ш-1	0,9	1,90	23,3	0,021	6,5	25,4
180	Ш-1	1,4	1,92	23,2	0,021	6,1	23,8
180	Ш-1	1,9	1,88	23,2	0,025	7,9	32,4
180	Ш-2	0,1	1,90	30,9	0,020	11,5	46,0
180	Ш-2	0,4	1,81	30,0	0,017	9,2	37,7
180	Ш-2	0,9	1,79	24,1	0,022	7,9	32,4
180	Ш-2	1,4	1,80	24,5	0,022	7,4	30,3
180	Ш-2	1,9	1,84	23,7	0,027	7,8	31,2

Продолжение таблицы 2.10

№ п/п	Шурф №	Глубина отбора проб $H$ , м	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа
180	Ш-3	0,1	1,92	29,8	0,020	11,2	44,8
180	Ш-3	0,4	1,92	29,4	0,019	10,4	42,6
180	Ш-3	0,9	1,89	25,9	0,023	10,1	41,4
180	Ш-3	1,4	1,92	24,8	0,026	9,6	38,4
180	Ш-3	1,9	1,88	25,0	0,023	7,8	31,2
180	Ш-4	0,1	1,87	29,2	0,019	10,6	43,5
180	Ш-4	0,4	1,74	29,3	0,018	9,8	40,2
180	Ш-4	0,9	1,81	27,8	0,017	9,4	38,5
180	Ш-4	1,4	1,81	25,0	0,023	8,3	33,2
180	Ш-4	1,9	1,85	24,6	0,022	7,4	30,3
<b>км 182 а/д «К-17р</b>							
182	Ш-1	0,1	1,93	26,3	0,028	9,6	38,4
182	Ш-1	0,5	1,82	24,6	0,022	7,4	28,9
182	Ш-1	1,0	1,95	23,2	0,021	6,5	25,4
182	Ш-1	1,5	1,90	24,2	0,022	7,6	31,2
182	Ш-2	0,1	1,93	26,3	0,028	10,0	40,0
182	Ш-2	0,5	1,86	25,0	0,023	7,9	31,6
182	Ш-2	1,0	1,92	22,8	0,028	5,2	20,3
182	Ш-2	1,5	1,96	25,0	0,024	8,3	33,2
182	Ш-3	0,1	1,99	26,3	0,028	9,6	37,4
182	Ш-3	0,5	1,98	25,9	0,026	9,6	39,4
182	Ш-3	1,0	1,99	25,6	0,025	9,8	39,2
182	Ш-3	1,5	1,98	25,2	0,024	9,2	36,8
182	Ш-4	0,1	1,89	29,6	0,019	11,1	44,4
182	Ш-4	0,5	1,91	28,0	0,019	10,4	42,6
182	Ш-4	1,0	1,81	25,3	0,025	9,6	39,4
182	Ш-4	1,5	1,85	24,4	0,022	7,4	30,3
201	Ш-1	0,2	1,92	26,2	0,019	9,6	38,4
<b>км 201 а/д «К-17р</b>							
201	Ш-1	0,5	1,89	24,7	0,023	7,8	31,2
201	Ш-1	1,0	1,85	23,0	0,021	6,5	25,4
201	Ш-1	1,5	1,79	22,8	0,025	6,9	26,9
201	Ш-1	2,0	1,85	23,9	0,022	7,4	30,3
201	Ш-1	2,5	1,89	24,2	0,022	7,4	30,3
201	Ш-2	0,2	1,92	26,3	0,028	10,8	43,2
201	Ш-2	0,5	1,81	23,5	0,026	7,4	30,3
201	Ш-2	1,0	1,90	22,0	0,024	5,6	22,4
201	Ш-2	1,5	1,94	22,5	0,025	6,1	23,8
201	Ш-2	2,0	1,90	23,2	0,026	7,5	30,8
201	Ш-2	2,5	1,86	23,5	0,026	7,0	28,7
201	Ш-3	0,2	1,93	29,9	0,019	11,2	44,8
201	Ш-3	0,5	1,97	29,4	0,019	10,8	44,3

Продолжение таблицы 2.10

№ п/п	Шурф №	Глубина отбора проб $H$ , м	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа
201	Ш-3	1,0	1,98	26,0	0,027	10,2	40,8
201	Ш-3	1,5	1,98	25,8	0,026	10,0	40,0
201	Ш-3	2,0	1,91	24,8	0,024	9,7	37,8
201	Ш-3	2,5	1,88	23,7	0,023	7,4	29,6
201	Ш-4	0,2	1,93	26,4	0,028	10,6	43,5
201	Ш-4	0,5	1,99	25,8	0,026	9,6	38,4
201	Ш-4	1,0	1,98	25,4	0,025	10,0	39,0
201	Ш-4	1,5	1,96	25,5	0,025	9,9	38,6
201	Ш-4	2,0	1,91	24,7	0,022	7,8	31,2
201	Ш-4	2,5	1,92	24,6	0,022	7,4	29,6
<b>км 205 а/д «К-17р</b>							
205	Ш-1	0,1	1,93	26,3	0,028	10,7	43,9
205	Ш-1	0,5	1,84	24,7	0,022	8,1	33,2
205	Ш-1	1,0	1,90	22,7	0,020	6,5	26,0
205	Ш-1	1,5	1,90	24,1	0,022	7,9	32,4
205	Ш-2	0,1	1,97	26,5	0,028	10,1	41,4
205	Ш-2	0,5	1,93	24,8	0,023	8,3	33,2
205	Ш-2	1,0	1,84	23,0	0,025	7,0	28,7
205	Ш-2	1,5	1,94	24,7	0,023	7,8	31,2
205	Ш-3	0,1	1,97	26,8	0,029	10,9	43,6
205	Ш-3	0,5	1,98	26,4	0,028	10,5	43,1
205	Ш-3	1,0	1,96	25,3	0,024	8,7	34,8
205	Ш-3	1,5	1,89	24,8	0,023	8,3	33,2
205	Ш-4	0,1	1,94	30,6	0,019	11,6	46,4
205	Ш-4	0,5	1,94	30,0	0,019	10,4	42,6
205	Ш-4	1,0	1,94	25,4	0,025	9,3	38,1
205	Ш-4	1,5	1,88	24,2	0,023	7,6	31,2
<b>км 226 а/д «К-17р</b>							
226	Ш-1	0,1	1,92	30,6	0,019	10,9	43,6
226	Ш-1	0,5	1,84	25,3	0,025	9,2	37,7
226	Ш-1	1,0	1,78	23,7	0,022	7,0	28,7
226	Ш-1	1,5	1,90	25,3	0,024	9,4	36,7
226	Ш-2	0,1	1,88	26,4	0,028	10,8	43,2
226	Ш-2	0,5	1,80	25,2	0,024	9,2	35,9
226	Ш-2	1,0	1,88	23,7	0,022	5,6	21,8
226	Ш-2	1,5	1,86	25,2	0,024	11,0	42,9
226	Ш-3	0,1	1,90	28,6	0,022	10,4	41,6
226	Ш-3	0,5	1,85	27,9	0,019	9,7	39,8
226	Ш-3	1,0	1,85	25,4	0,025	9,4	36,7
226	Ш-3	1,5	1,87	25,3	0,024	9,1	35,5
226	Ш-4	0,1	1,88	29,6	0,019	11,0	44,0
226	Ш-4	0,5	1,89	29,0	0,019	10,4	42,6

Продолжение таблицы 2.10

№ п/п	Шурф №	Глубина отбора проб $H$ , м	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа
226	Ш-4	1,0	1,92	25,8	0,026	9,6	38,4
226	Ш-4	1,5	1,92	25,3	0,025	9,7	37,8
<b>км 228 а/д «К-17р»</b>							
228	Ш-1	0,1	1,86	29,4	0,019	10,8	44,3
228	Ш-1	0,5	1,75	28,2	0,016	7,8	32,0
228	Ш-1	1,0	1,86	23,2	0,021	6,5	25,4
228	Ш-1	1,5	1,84	24,7	0,023	7,8	31,2
228	Ш-2	0,1	1,88	26,4	0,028	10,6	43,5
228	Ш-2	0,5	1,72	24,7	0,023	8,4	34,4
228	Ш-2	1,0	1,89	22,7	0,020	5,6	22,4
228	Ш-2	1,5	1,81	23,7	0,022	6,9	26,9
228	Ш-3	0,1	1,90	26,2	0,020	9,8	40,2
228	Ш-3	0,5	1,85	25,8	0,020	9,6	39,4
228	Ш-3	1,0	1,89	25,3	0,024	9,2	35,9
228	Ш-3	1,5	1,80	25,9	0,022	7,9	32,4
228	Ш-4	0,1	1,89	29,4	0,019	10,2	40,8
228	Ш-4	0,5	1,84	28,5	0,018	9,8	40,2
228	Ш-4	1,0	1,81	25,6	0,025	9,2	35,9
228	Ш-4	1,5	1,79	24,8	0,023	8,3	33,2
<b>км 289 а/д «К-17р»</b>							
289	Ш-1	0,1	1,85	26,2	0,027	10,6	42,4
289	Ш-1	0,5	1,77	25,0	0,023	8,1	33,2
289	Ш-1	1,0	1,83	23,5	0,021	6,5	25,4
289	Ш-1	1,5	1,86	24,7	0,023	7,8	31,2
289	Ш-2	0,1	1,86	29,4	0,019	10,8	44,3
289	Ш-2	0,5	1,78	28,8	0,016	9,6	39,4
289	Ш-2	1,0	1,86	23,7	0,022	6,4	25,0
289	Ш-2	1,5	1,86	23,9	0,020	6,0	23,4
289	Ш-3	0,1	1,89	29,6	0,019	11,1	44,4
289	Ш-3	0,5	1,87	28,7	0,018	10,3	42,2
289	Ш-3	1,0	1,89	25,3	0,025	8,7	33,9
289	Ш-3	1,5	1,80	23,9	0,022	7,4	30,3
289	Ш-4	0,1	1,90	29,4	0,019	9,8	40,2
289	Ш-4	0,5	1,87	28,5	0,018	10,7	43,9
289	Ш-4	1,0	1,87	25,4	0,025	9,6	39,4
289	Ш-4	1,5	1,86	24,7	0,023	8,2	32,8
<b>км 303 а/д «К-17р»</b>							
303	Ш-1	0,1	1,89	31,6	0,019	11,2	44,8
303	Ш-1	0,5	1,81	25,3	0,024	9,4	38,5
303	Ш-1	1,0	1,77	23,9	0,022	7,9	32,4
303	Ш-1	1,5	1,91	25,1	0,024	8,3	33,2
303	Ш-2	0,1	1,88	31,4	0,019	10,7	43,9

Продолжение таблицы 2.10

№ п/п	Шурф №	Глубина отбора проб $H$ , м	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа
303	Ш-2	0,5	1,78	29,2	0,016	8,7	35,7
303	Ш-2	1,0	1,70	22,5	0,019	3,3	13,2
303	Ш-2	1,5	1,84	24,7	0,023	7,2	28,8
303	Ш-3	0,1	1,85	31,2	0,019	10,1	41,4
303	Ш-3	0,5	1,83	30,3	0,018	9,6	39,4
303	Ш-3	1,0	1,89	25,3	0,025	9,2	35,9
303	Ш-3	1,5	1,86	24,7	0,023	7,2	28,8
303	Ш-4	0,1	1,90	31,4	0,019	10,9	44,7
303	Ш-4	0,5	1,87	30,5	0,018	9,4	38,5
303	Ш-4	1,0	1,88	25,4	0,025	9,4	36,7
303	Ш-4	1,5	1,90	25,1	0,023	8,3	33,2
<b>км 327 а/д «К-17р</b>							
327	Ш-1	0,1	1,88	27,4	0,022	11,1	45,5
327	Ш-1	0,5	1,79	27,4	0,017	7,9	32,4
327	Ш-1	1,0	1,71	26,6	0,019	3,0	12,0
327	Ш-1	1,5	1,76	24,2	0,022	7,0	28,7
327	Ш-2	0,1	1,89	30,8	0,019	10,8	43,2
327	Ш-2	0,5	1,75	27,2	0,016	8,8	36,1
327	Ш-2	1,0	1,75	27,0	0,012	3,3	12,9
327	Ш-2	1,5	1,80	24,7	0,023	7,6	30,4
327	Ш-3	0,1	1,89	29,5	0,025	10,4	41,6
327	Ш-3	0,5	1,86	25,9	0,027	9,4	37,6
327	Ш-3	1,0	1,92	25,4	0,025	9,2	35,9
327	Ш-3	1,5	1,83	24,7	0,023	7,2	28,8
327	Ш-4	0,1	1,86	29,4	0,019	10,8	44,3
327	Ш-4	0,5	1,85	28,7	0,018	9,9	40,6
327	Ш-4	1,0	1,85	25,1	0,024	8,0	32,0
327	Ш-4	1,5	1,82	24,6	0,022	7,4	30,3
<b>км 334 а/д «К-17р</b>							
334	Ш-1	0,1	1,88	30,6	0,020	10,6	42,4
334	Ш-1	0,5	1,81	29,8	0,017	10,8	44,3
334	Ш-1	1,0	1,73	27,6	0,013	7,3	28,5
334	Ш-1	1,5	1,80	25,1	0,023	8,8	36,1
334	Ш-2	0,1	1,85	30,2	0,019	9,8	40,2
334	Ш-2	0,5	1,71	28,6	0,015	8,1	33,2
334	Ш-2	1,0	1,77	24,2	0,011	3,2	12,8
334	Ш-2	1,5	1,77	26,2	0,022	7,5	30,8
334	Ш-3	0,1	1,85	30,2	0,019	10,4	42,6
334	Ш-3	0,5	1,84	29,7	0,018	10,2	41,8
334	Ш-3	1,0	1,82	29,0	0,017	11,2	45,9
334	Ш-3	1,5	1,77	24,6	0,022	8,8	36,1
334	Ш-4	0,1	1,88	29,4	0,019	10,7	43,9

Продолжение таблицы 2.10

№ п/п	Шурф №	Глубина отбора проб $H$ , м	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа
334	Ш-4	0,5	1,86	28,5	0,018	10,3	42,2
334	Ш-4	1,0	1,84	28,0	0,017	9,8	40,2
334	Ш-4	1,5	1,86	25,2	0,024	10,3	40,2

В процессе диссертационного исследования для обозначения месторасположения грунтов земляного полотна в местах расположения водопропускных труб были введены такие понятия как контурная зона (КЗ) водопропускной трубы и законтурная зона (ЗКЗ).

Результаты полученных характеристик прочности: угла внутреннего трения  $\varphi$ , град, удельного сцепления  $C$ , МПа, и деформируемости: модуля деформации  $E$ , МПа и модуля упругости  $E_{упр}$ , МПа грунтов земляного полотна для каждого исследуемого участка а/д «К-17р», полученных как в КЗ так и ЗКЗ водопропускной трубы приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 –Характеристики прочности и деформируемости грунтов земляного полотна в КЗ и ЗКЗ водопропускных труб

Тип грунта по ГОСТ 25100-2020	КЗ/ ЗКЗ	Индекс дорожного района по СТП ТУАД 32-03-2000	e = 0,55-0,65			e = 0,65-0,75			e = 0,75-0,85		
			Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $C$ , МПа	Модуль упругости $E_{упр}$ , МПа
Супесь	КЗ	Ш.Р.4	29,7	0,020	43,0	27,3	0,018	34,1	26,9	0,013	19,2
	ЗКЗ	Ш.Р.4	28,3	0,021	43,3	28,2	0,020	38,9	-	-	-
	КЗ	Ш.Х.1.	29,7	0,019	41,5	27,1	0,018	37,7	-	-	-
	ЗКЗ	Ш.Х.1.	28,4	0,019	42,4	28,1	0,019	39,5	-	-	-
	КЗ	Ш.Р.3	30,2	0,020	43,5	27,4	0,018	35,7	25,1	0,015	12,7
	ЗКЗ	Ш.Р.3	29,6	0,019	43,7	28,2	0,019	41,2	-	-	-
Суглино к легких	КЗ	Ш.Р.4	26,3	0,026	40,6	24,6	0,023	32,4	23,1	0,021	23,4
	ЗКЗ	Ш.Р.4	26,0	0,027	40,8	25,1	0,024	35,1	-	-	-
	КЗ	Ш.Х.1.	-	-	-	24,4	0,023	31,9	23,1	0,022	21,4
	ЗКЗ	Ш.Х.1.	24,8	0,026	38,4	24,8	0,024	32,8	-	-	-
	КЗ	Ш.Р.3	26,5	0,028	39,4	24,8	0,023	30,8	23,7	0,021	24,6
	ЗКЗ	Ш.Р.3	26,5	0,028	41,4	24,9	0,024	33,5	-	-	-

В полевых и лабораторных условиях были определены физико-механические характеристики грунтов земляного полотна, статистически обработаны в соответствии с ГОСТ 20522-2012 [35] и выделены в ИГЭ: ИГЭ-1п,

ИГЭ-1с, ИГЭ-1р, ИГЭ-2п, ИГЭ-2с, ИГЭ-2р (Приложение Б к диссертации). Для наглядности физико-механические характеристики грунтов для ИГЭ-1п приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Физико-механические характеристики грунтов для ИГЭ-1п

Адрес участка, км.	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Влажность на границе текучести	Влажность на границе раскатывания	Число пластичности	Показатель текучести	Угол внутреннего трения, гр.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Ш	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_p$	$I_p$	$I_L$	$\varphi$	C	E	$E_{упр}$
20	Ш-1	0,2	2,69	1,86	1,63	39	0,649	0,14	0,67	0,21	0,18	3	< 0	30,8	0,019	9,4	38,5
20	Ш-2	0,2	2,69	1,89	1,63	39	0,651	0,16	0,84	0,19	0,18	1	< 0	31,0	0,019	10,5	42,0
20	Ш-2	1,9	2,69	1,76	1,61	40	0,666	0,09	0,41	0,22	0,18	4	< 0	29,2	0,016	9,6	39,4
20	Ш-3	0,2	2,69	1,86	1,62	40	0,663	0,15	0,68	0,22	0,17	5	< 0	30,6	0,018	13,8	56,6
20	Ш-4	0,2	2,69	1,89	1,63	40	0,654	0,16	0,76	0,21	0,18	3	< 0	29,9	0,015	10,8	44,3
44	Ш-3	0,5	2,69	1,90	1,62	40	0,658	0,17	0,61	0,28	0,21	7	< 0	26,4	0,028	10,6	43,5
44	Ш-4	0,2	2,69	1,90	1,62	40	0,658	0,17	0,63	0,27	0,20	7	< 0	26,4	0,028	10,8	44,3
44	Ш-4	0,5	2,69	1,86	1,63	39	0,649	0,14	0,52	0,27	0,20	7	< 0	26,1	0,027	10,2	41,8
72	Ш-1	0,1	2,69	1,94	1,63	39	0,647	0,19	0,76	0,25	0,19	6	0	29,5	0,020	11,1	44,3
72	Ш-1	0,7	2,69	1,94	1,63	39	0,652	0,19	0,76	0,25	0,20	5	< 0	29,3	0,019	10,4	42,6
72	Ш-2	0,1	2,69	1,92	1,62	40	0,657	0,18	0,82	0,22	0,18	4	0	28,4	0,018	10,4	42,6
72	Ш-2	0,7	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,70	0,23	0,18	5	< 0	28,0	0,018	10,7	43,9
72	Ш-3	0,1	2,69	1,90	1,62	40	0,658	0,17	0,81	0,21	0,18	3	< 0	29,4	0,019	10,6	43,5
72	Ш-3	0,7	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,76	0,21	0,18	3	< 0	29,1	0,019	9,8	40,2
72	Ш-4	0,1	2,69	1,90	1,63	40	0,653	0,17	0,81	0,21	0,18	3	< 0	30,5	0,019	11,4	45,6
72	Ш-4	0,7	2,69	1,86	1,62	40	0,659	0,15	0,71	0,21	0,18	3	< 0	30,1	0,018	9,6	39,4
156	Ш-2	0,1	2,69	1,87	1,63	40	0,654	0,15	0,71	0,21	0,18	3	< 0	31,2	0,019	9,2	37,7
156	Ш-2	0,7	2,69	1,88	1,62	40	0,659	0,16	0,76	0,21	0,18	3	< 0	30,8	0,018	9,7	39,8
156	Ш-3	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,649	0,15	0,68	0,22	0,18	4	< 0	29,4	0,019	11,1	44,4
156	Ш-3	0,7	2,69	1,88	1,62	40	0,658	0,16	0,73	0,22	0,18	4	< 0	28,4	0,019	9,8	40,2
156	Ш-3	1,2	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,67	0,24	0,19	5	< 0	28,0	0,019	10,1	41,4
156	Ш-4	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,649	0,15	0,58	0,26	0,20	6	< 0	25,4	0,019	11,2	44,8
156	Ш-4	0,7	2,69	1,87	1,63	40	0,654	0,15	0,60	0,25	0,20	5	< 0	25,2	0,019	10,4	42,6
180	Ш-1	0,1	2,70	1,92	1,64	39	0,649	0,17	0,40	0,43	0,36	7	< 0	28,3	0,018	10,8	44,3
180	Ш-2	0,1	2,69	1,90	1,62	40	0,658	0,17	0,65	0,26	0,20	6	< 0	30,9	0,020	11,5	46,0
180	Ш-3	0,1	2,69	1,92	1,62	40	0,657	0,18	0,78	0,23	0,18	5	0	29,8	0,020	11,2	44,8
180	Ш-3	0,4	2,69	1,92	1,62	40	0,657	0,18	0,78	0,23	0,18	5	0	29,4	0,019	10,4	42,6
180	Ш-3	0,9	2,69	1,89	1,61	40	0,669	0,17	0,65	0,26	0,19	7	< 0	25,9	0,023	10,1	41,4
180	Ш-4	0,1	2,69	1,87	1,63	40	0,654	0,15	0,68	0,22	0,18	4	< 0	29,2	0,019	10,6	43,5
182	Ш-4	0,1	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,42	0,38	0,32	6	< 0	29,6	0,019	11,1	44,4
182	Ш-4	0,5	2,69	1,91	1,63	39	0,649	0,17	0,46	0,37	0,32	5	< 0	28,0	0,019	10,4	42,6
201	Ш-3	0,2	2,69	1,93	1,62	40	0,657	0,19	0,76	0,25	0,20	5	< 0	29,9	0,019	11,2	44,8
201	Ш-3	0,5	2,69	1,97	1,62	40	0,656	0,21	0,84	0,25	0,19	6	0,33	29,4	0,019	10,8	44,3
201	Ш-4	0,2	2,69	1,93	1,62	40	0,659	0,19	0,68	0,28	0,21	7	< 0	26,4	0,028	10,6	43,5
205	Ш-1	0,1	2,70	1,93	1,64	39	0,649	0,18	0,42	0,43	0,36	7	< 0	26,3	0,028	10,7	43,9
205	Ш-3	0,1	2,69	1,97	1,61	40	0,666	0,22	0,52	0,42	0,35	7	< 0	26,8	0,029	10,9	43,6
205	Ш-3	0,5	2,69	1,98	1,62	40	0,657	0,22	0,52	0,42	0,35	7	< 0	26,4	0,028	10,5	43,1
205	Ш-4	0,1	2,69	1,94	1,63	39	0,647	0,19	0,48	0,40	0,35	5	< 0	30,6	0,019	11,6	46,4
205	Ш-4	0,5	2,69	1,94	1,63	39	0,648	0,19	0,48	0,40	0,35	5	< 0	30,0	0,019	10,4	42,6

## Продолжение таблицы 2.12

Адрес участка, км.	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Влажность на границе текучести	Влажность на границе раскатывания	Число пластичности	Показатель текучести	Угол внутреннего трения, гр.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Ш	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$	$I_p$	$I_L$	$\phi$	C	E	$E_{упр}$
226	Ш-1	0,1	2,70	1,92	1,63	40	0,659	0,18	0,64	0,28	0,22	6	< 0	30,6	0,019	10,9	43,6
226	Ш-2	0,1	2,70	1,88	1,63	39	0,652	0,15	0,50	0,30	0,23	7	< 0	26,4	0,028	10,8	43,2
226	Ш-3	0,1	2,69	1,90	1,63	40	0,653	0,17	0,61	0,28	0,21	7	< 0	28,6	0,022	10,4	41,6
226	Ш-3	0,5	2,69	1,85	1,62	40	0,659	0,14	0,52	0,27	0,21	6	< 0	27,9	0,019	9,7	39,8
226	Ш-4	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,649	0,15	0,60	0,25	0,20	5	< 0	29,6	0,019	11,0	44,0
226	Ш-4	0,5	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,67	0,24	0,20	4	< 0	29,0	0,019	10,4	42,6
228	Ш-1	0,1	2,69	1,86	1,62	40	0,659	0,15	0,56	0,27	0,21	6	< 0	29,4	0,019	10,8	44,3
228	Ш-3	0,1	2,70	1,90	1,63	40	0,659	0,17	0,63	0,27	0,20	7	< 0	26,2	0,020	9,8	40,2
228	Ш-3	0,5	2,70	1,85	1,63	40	0,661	0,14	0,52	0,27	0,20	7	< 0	25,8	0,020	9,6	39,4
228	Ш-4	0,1	2,70	1,89	1,63	40	0,655	0,16	0,62	0,26	0,20	6	< 0	29,4	0,019	10,2	40,8
228	Ш-4	0,5	2,70	1,84	1,63	40	0,661	0,13	0,52	0,25	0,20	5	< 0	28,5	0,018	9,8	40,2
289	Ш-2	0,1	2,69	1,86	1,62	40	0,659	0,15	0,58	0,26	0,20	6	< 0	29,4	0,019	10,8	44,3
289	Ш-3	0,1	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,62	0,26	0,21	5	< 0	29,6	0,019	11,1	44,4
289	Ш-3	0,5	2,69	1,87	1,61	40	0,669	0,16	0,64	0,25	0,21	4	< 0	28,7	0,018	10,3	42,2
289	Ш-4	0,1	2,69	1,90	1,62	40	0,658	0,17	0,68	0,25	0,20	5	< 0	29,4	0,019	9,8	40,2
289	Ш-4	0,5	2,69	1,87	1,63	39	0,650	0,15	0,63	0,24	0,20	4	< 0	28,5	0,018	10,7	43,9
303	Ш-1	0,1	2,70	1,89	1,63	40	0,660	0,16	0,59	0,27	0,21	6	< 0	31,6	0,019	11,2	44,8
303	Ш-2	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,651	0,16	0,60	0,26	0,21	5	< 0	31,4	0,019	10,7	43,9
303	Ш-3	0,1	2,69	1,85	1,63	40	0,654	0,14	0,52	0,27	0,22	5	< 0	31,2	0,019	10,1	41,4
303	Ш-4	0,1	2,69	1,90	1,63	39	0,651	0,17	0,66	0,25	0,22	3	< 0	31,4	0,019	10,9	44,7
303	Ш-4	0,5	2,69	1,87	1,63	39	0,650	0,15	0,58	0,26	0,22	4	< 0	30,5	0,018	9,4	38,5
327	Ш-1	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,651	0,16	0,55	0,28	0,21	7	< 0	27,4	0,022	11,1	45,5
327	Ш-2	0,1	2,69	1,89	1,62	40	0,661	0,17	0,66	0,25	0,21	4	< 0	30,8	0,019	10,8	43,2
327	Ш-3	0,1	2,70	1,89	1,64	39	0,650	0,16	0,53	0,29	0,22	7	< 0	29,5	0,025	10,4	41,6
327	Ш-4	0,1	2,69	1,86	1,63	39	0,652	0,15	0,56	0,26	0,21	5	< 0	29,4	0,019	10,8	44,3
327	Ш-4	0,5	2,69	1,85	1,61	40	0,669	0,15	0,60	0,25	0,21	4	< 0	28,7	0,018	9,9	40,6
334	Ш-1	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,649	0,15	0,58	0,26	0,21	5	< 0	30,6	0,020	10,6	42,4
334	Ш-2	0,1	2,69	1,85	1,63	40	0,654	0,14	0,58	0,24	0,21	3	< 0	30,2	0,019	9,8	40,2
334	Ш-3	0,1	2,69	1,85	1,63	40	0,654	0,14	0,58	0,24	0,22	2	< 0	30,2	0,019	10,4	42,6
334	Ш-3	0,5	2,69	1,84	1,62	40	0,662	0,14	0,56	0,24	0,22	2	< 0	29,7	0,018	10,2	41,8
334	Ш-4	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,651	0,16	0,62	0,25	0,20	5	< 0	29,4	0,019	10,7	43,9
334	Ш-4	0,5	2,69	1,86	1,63	39	0,650	0,14	0,61	0,23	0,20	3	< 0	28,5	0,018	10,3	42,2

А также в приложении Б приведены статистические данные физико-механических характеристик грунтов для каждого ИГЭ. В таблице 2.13 приведены статистические данные физико-механических характеристик грунтов для ИГЭ-1п.

Таблица 2.13 – Статистические данные физико-механических характеристик грунтов для ИГЭ 1п

	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	$n$	$e$	$W$	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$\varphi$ , град	$C$ , кПа	$E$ , МПа	$E_{упр}$ , МПа
<b>Среднее</b>	2,69	1,89	1,63	39	0,621	0,16	0,27	0,22	5	28,9	0,020	10,5	42,8
<b>n</b>	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
<b>Ст. отклон. S</b>	0,004	0,035	0,007	0,497	0,006	0,020	0,056	0,049	1,511	1,646	0,003	0,670	2,571
<b>v</b>	0,001	0,018	0,004	0,013	0,009	0,126	0,212	0,227	0,304	0,057	0,156	0,064	0,060
<b>min</b>	<b>2,69</b>	<b>1,76</b>	1,61	39	<b>0,570</b>	<b>0,09</b>	<b>0,19</b>	<b>0,17</b>	<b>1</b>	<b>25,2</b>	<b>0,015</b>	<b>9,2</b>	<b>37,7</b>
<b>max</b>	<b>2,70</b>	<b>1,98</b>	1,64	40	<b>0,698</b>	<b>0,22</b>	<b>0,43</b>	<b>0,36</b>	<b>7</b>	<b>31,6</b>	<b>0,029</b>	<b>13,8</b>	<b>56,6</b>

Расчетные физико-механические характеристики грунтов земляного полотна по ИГЭ приведены в таблице 2.14 в соответствии с ГОСТ Р 54477-2011 [43].

Таблица 2.14 – Расчетные физико-механические характеристики грунтов земляного полотна по ИГЭ

Наименование ИГЭ/ вид грунта	Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность грунта естественной влажности $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Пористость, $n$	Коэффициент пористости, $e$	Влажность, $W$	Влажность на границе текучности, $W_L$	Влажность на границе раскалывания, $W_P$	Число пластичности, $I_P$	Угол внутреннего трения, $\varphi$ град.	Удельное сцепление, $C$ МПа	Модуль деформации, $E$ , МПа	Модуль упругости, $E_{упр}$ , МПа
ИГЭ-1п / Супесь твердая, плотная	2,69	1,89	1,63	39	0,621	0,16	0,27	0,22	5	28,9	0,020	10,5	42,8
ИГЭ-1с / Супесь твердая, средней плотности	2,69	1,79	1,60	41	0,686	0,12	0,28	0,22	5	27,4	0,019	8,9	36,7
ИГЭ-1р / Супесь твердая, рыхлая	2,69	1,74	1,46	46	0,847	0,19	0,27	0,22	5	25,7	0,014	3,8	14,9
ИГЭ-2п / Суглинок легкий плотный	2,70	1,91	1,67	38	0,617	0,15	0,32	0,23	9	25,9	0,027	10,0	40,4
ИГЭ-2с / Суглинок легкий средней плотности	2,71	1,87	1,56	42	0,729	0,18	0,32	0,22	10	24,7	0,024	8,3	33,3
ИГЭ-2р / Суглинок легкий рыхлый	2,71	1,86	1,47	46	0,838	0,26	0,32	0,23	10	23,1	0,022	5,9	23,4

Результаты натуральных и лабораторных исследований физико-механических характеристик грунтов земляного полотна, отобранных на выбранных участках а/д «К-17р», позволили установить, что земляное полотно преимущественно сложено из суглинков с числом пластичности  $I_P = 0,08...0,11$  и супесей с числом

пластичности  $I_p = 0,01...0,07$ . По величине показателя текучести  $I_L$  исследуемые грунты разделены на суглинки от твердых до полутвердых, и супеси твердые.

Для суглинков характерны следующие показатели: естественная влажность  $W = 0,11-0,32$ ; коэффициент пористости  $e = 0,582...0,938$ ; плотность грунта  $\rho = 1,74...1,99$  г/см<sup>3</sup>; плотность частиц грунта  $\rho_s = 2,69...2,74$  г/см<sup>3</sup>; плотность сухого грунта  $\rho_d = 1,40...1,71$  г/см<sup>3</sup>; угол внутреннего трения  $\varphi = 22,0..26,5$  град.; удельное сцепление  $C = 0,019...0,032$  МПа; модуль деформации  $E = 4,8...11,2$  МПа; модуль упругости  $E_{упр} = 18,7...44,7$  МПа.

Для супесей характерны следующие показатели: естественная влажность  $W = 0,04-0,25$ ; коэффициент пористости  $e = 0,596...0,875$ ; плотность грунта  $\rho = 1,70..1,98$  г/см<sup>3</sup>; плотность частиц грунта  $\rho_s = 2,69..2,70$  г/см<sup>3</sup>; плотность сухого грунта  $\rho_d = 1,44..1,69$  г/см<sup>3</sup>; угол внутреннего трения  $\varphi = 22,5...31,6$  град.; удельное сцепление  $C = 0,011...0,029$  МПа; модуль деформации  $E = 3,0...13,8$  МПа; модуль упругости  $E_{упр} = 12,0...56,6$  МПа.

## Выводы по главе 2

В результате проведенных исследований выявлено, что физико-механические характеристики грунтов земляного полотна, расположенных непосредственно в барьерных местах водопропускных труб оказывают существенное влияние на ровность дорожных покрытий. При обследовании пятнадцати участков а/д «К-17р» в местах устройства водопропускных труб установлено, что на четырнадцать из них присутствуют нарушения ровности дорожного покрытия, представленные в виде просадок трещин, выбоин. Это объясняется тем, что физико-механические характеристики грунтов контурной законтурной зонах водопропускных труб оказались различны. Основное отличие наблюдается при сопоставлении коэффициентов уплотнения грунтов, а также прочностных и деформационных характеристиках. При этом худшие значения физико-механических характеристик были получены в земляном полотне, расположенном в непосредственной близости от водопропускной трубы, что

говорит об образовании разуплотненных зон в затрубном пространстве водопропускных труб. На участках а/д «К-17р», удаленных от водопропускных труб на некотором расстоянии по обеим сторонам километража отмечается улучшение физико-механических характеристик грунтов земляного полотна и снижения количества дефектов и деформаций дорожной одежды.

Сопоставив результаты визуального осмотра, измерений ровности дорожных покрытий, динамического зондирования, физико-механических характеристик грунтов можно сделать вывод, что первопричиной нарушения ровности покрытий дорожных одежд в барьерных местах водопропускных труб является образование разуплотненных зон.

### **ГЛАВА 3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЗОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ**

#### **3.1 Обоснование организации мониторинга параметров автомобильных дорог и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб**

Государственной программой Новосибирской области «Развитие автомобильных дорог регионального, межмуниципального и местного значения Новосибирской области» [51] предусмотрено обеспечение сохранности и восстановления указанных выше дорог. Основными целевыми индикаторами данной программы предусмотрена ежегодная информация по удельному весу автомобильных дорог, не соответствующих нормативным требованиям, удельному весу инженерных сооружений, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии и не соответствующих нормативным требованиям. Ожидаемыми результатами реализации Государственной программы являются увеличение протяженности автомобильных дорог общего пользования регионального, межмуниципального и местного значения на территории Новосибирской области, соответствующих нормативным требованиям транспортно-эксплуатационных показателей. Выполнить поставленные задачи и получить результаты представляется возможным при выполнении мониторинга автомобильных дорог и инженерных сооружений на них.

Применительно к теме исследования на основании данных ГОСТ 25100–2020 [37] и СП 22.13330-2016 [134] грунты земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб классифицированы и выделены в ИГЭ и приведены в главе II. Основными параметрами грунтов земляного полотна, определяющими их дефекты и деформации, являются прочностные и деформационные характеристики грунтов земляного полотна (угол внутреннего

трения  $\varphi$ , удельное сцепление  $C$ , модуль деформации грунтов  $E$  и др.).

Получение значений физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в процессе мониторинга затруднено необходимостью проведения большого количества натурных и лабораторных работ, соответственно, количеством времени и стоимостью их выполнения. Поэтому необходимо проведение мониторинга отдельных физико-механических характеристик грунтов земляного полотна и расчетами других по имеющимся данным, полученных статистическими методами исследования. Для этого потребуется уточнение ИГЭ при мониторинге каждого последующего участка автомобильной дороги в зоне расположения водопропускной трубы.

### **3.2 Исходные данные для корреляционно-регрессионного анализа физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб**

Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб выполнен по результатам натурных и лабораторных исследований, приведенных в главе 2.

В таблице 3.1 приведены исходные данные физико-механических характеристик грунтов земляного полотна на км 20 а/д «К-17р». Данные по остальным исследованным участкам а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб приведены в Приложении В к диссертации.

Таблица 3.1 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов земляного полотна на км 20 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета) $r$ , мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Удельное сцепление, $C$ , МПа	Модуль деформации, $E$ , МПа
1	Шурф № 1	14	1,86	30,8	0,019	8,4
2	Шурф № 1	15	1,71	28,8	0,016	6,1
3	Шурф № 1	12	1,58	26,6	0,012	4,8
4	Шурф № 1	10	1,70	28,2	0,015	5,9
5	Шурф № 2	17	1,89	31,0	0,019	8,5
6	Шурф № 2	25	1,74	28,9	0,016	6,6
7	Шурф № 2	22	1,64	27,2	0,013	4,9
8	Шурф № 2	20	1,70	29,2	0,016	6,9
9	Шурф № 3	14	1,86	30,6	0,018	8,5
10	Шурф № 3	15	1,77	30,3	0,017	7,1
11	Шурф № 3	12	1,72	29,0	0,016	6,7
12	Шурф № 3	10	1,75	30,1	0,017	6,9
13	Шурф № 4	17	1,89	29,9	0,015	6,8
14	Шурф № 4	25	1,80	30,5	0,018	6,4
15	Шурф № 4	22	1,78	30,2	0,017	7,0
16	Шурф № 4	20	1,69	27,5	0,013	5,5
<b>Установить регрессионную зависимость</b>		$r=f(E); E=f(r); r=f(E, \rho, \varphi, C); E=f(\rho); E=f(\varphi); E=f(C); E=f(r, \rho, \varphi); \rho=f(r); \varphi=f(r); C=f(r); E=f(\rho, \varphi, C); C=f(\varphi, \rho).$				

Расчеты выполнены в статистическом блоке Excel. Матрица парных коэффициентов корреляции физико-механических характеристик грунтов земляного полотна показывает связи между глубиной просадки (просвета под трехметровой рейкой) дорожной одежды над водопропускной трубой  $r$ , плотностью грунта  $\rho$ , углом внутреннего трения  $\varphi$ , удельным сцеплением  $C$ , модулем деформации  $E$ . В то же время связи между парами характеристик грунтов являются сильными, близкими к функциональным. Матрица парных коэффициентов корреляции приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица парных коэффициентов корреляции

Коэффициенты корреляции					
	$r$	$\rho$	$\varphi$	$C$	$E$
$r$	1				
$\rho$	0,039519	1			
$\varphi$	0,058163	0,97332	1		
$C$	0,030665	0,974896	0,995367	1	
$E$	0,035951	0,964065	0,989916	0,978308	1

Анализ данных показывает, что полученные данные соответствуют нормативным, и их можно использовать для прогнозирования физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб с аналогичными ИГЭ.

### 3.3 Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и плотности грунта

Результаты анализа регрессионной зависимости  $E = f(\rho)$  приведены в таблицах 3.3, 3.4, 3.5.

Таблица 3.3 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,964065
Коэффициент детерминации	0,929422
Нормированный R-квадрат	0,917659
Стандартная ошибка	0,402153
Наблюдения	8

Таблица 3.4 – Дисперсионный анализ

	$df$	$SS$	$MS$	$F$	Значимость $F$
Регрессия	1	12,77839	12,77839	79,01212	0,000113
Остаток	6	0,970362	0,161727		
Итого	7	13,74875			

Таблица 3.5 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-15,984	2,534848	-6,30569	0,000742	-22,1865	-9,78143	-22,1865	-9,78143
$\rho$	13,02256	1,46504	8,888876	0,000113	9,437737	16,60739	9,437737	16,60739

$t$ -критерий Стьюдента ( $t_p > t_{табл}$ ) подтверждает достоверность коэффициентов линейной зависимости модуля деформации от плотности грунта. Вместе с тем, уравнение регрессии может быть нелинейным. Достоверность правильности выбора взаимосвязи устанавливается критерием Фишера ( $F$ -критерий). При  $F_p > F_{табл}$  уравнение регрессии считается статистически достоверным.

На рисунке 3.1 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.

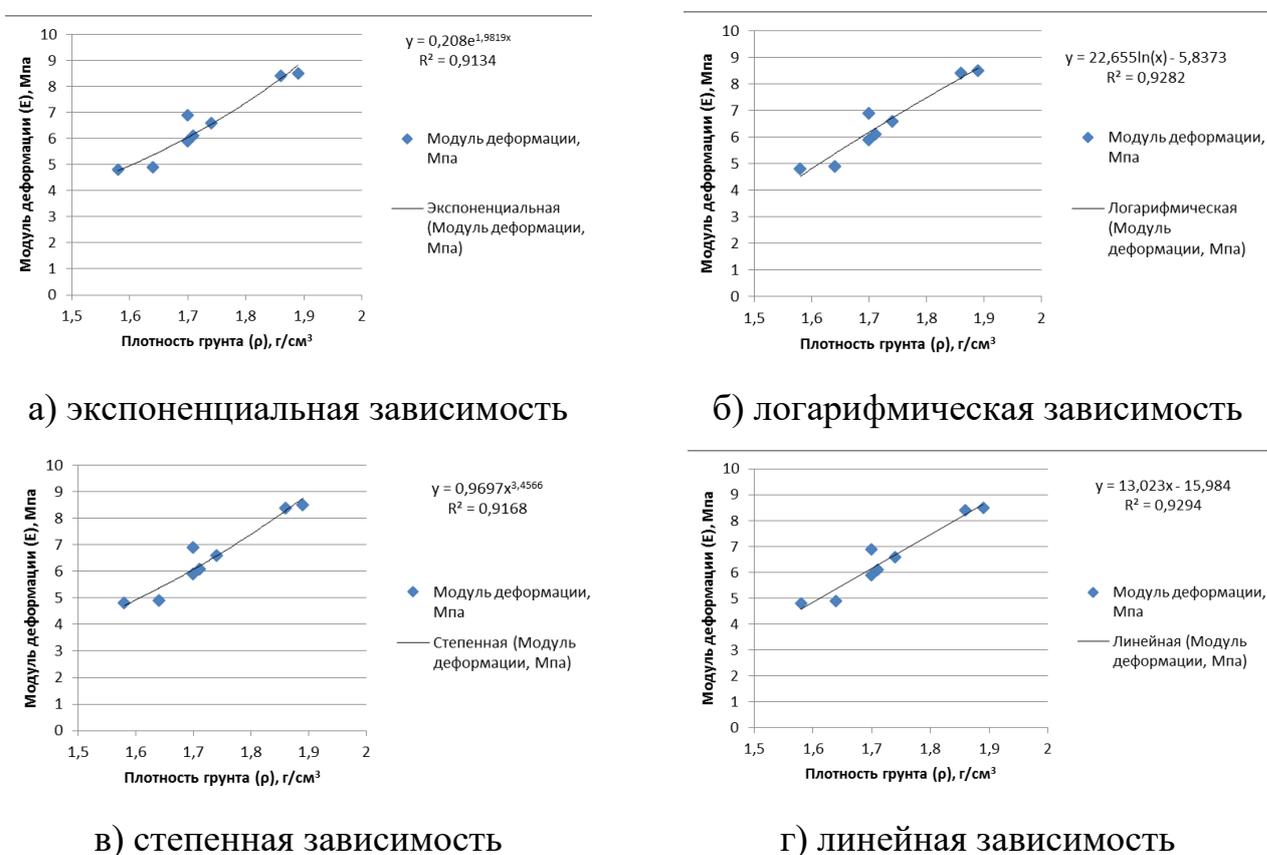


Рисунок 3.1 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

Коэффициенты детерминации превышают 0,9, что позволяет принять любое уравнение регрессии из приведенных. Поэтому автором проведены

статистические исследования на ряде участков автомобильной дороги в зоне расположения водопропускных труб, увеличивающие число наблюдений и повышающие репрезентативность выборки (Приложение Г).

### 3.4 Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и угла внутреннего трения

Результаты анализа регрессионной зависимости  $E = f(\varphi)$  приведены в таблицах 3.6, 3.7, 3.8.

Таблица 3.6 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,989916
Коэффициент детерминации	0,979933
Нормированный R-квадрат	0,976588
Стандартная ошибка	0,214436
Наблюдения	8

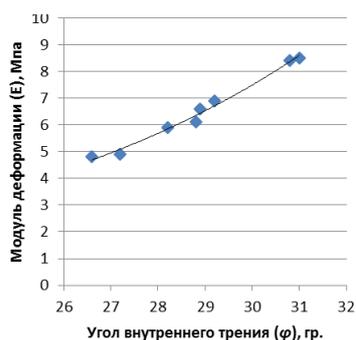
Таблица 3.7 – Дисперсионный анализ

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	Значимость <i>F</i>
Регрессия	1	13,47285	13,47285	292,9983	2,54E-06
Остаток	6	0,275896	0,045983		
Итого	7	13,74875			

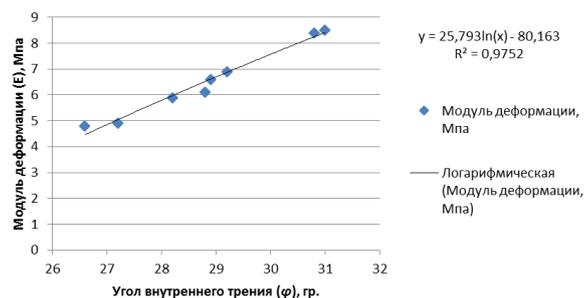
Таблица 3.8 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-19,3438	1,512448	-12,7897	1,4E-05	-23,0446	-15,643	-23,0446	-15,643
$\varphi$	0,896621	0,052381	17,11719	2,54E-06	0,768449	1,024794	0,768449	1,024794

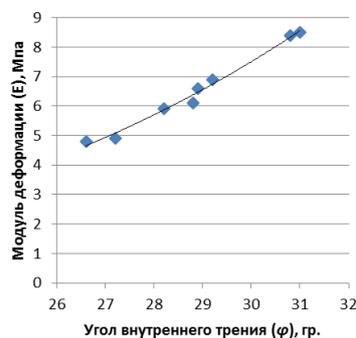
На рисунке 3.2 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



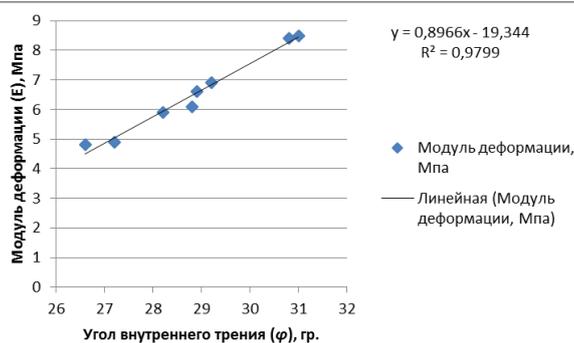
а) экспоненциальная зависимость



б) логарифмическая зависимость



в) степенная зависимость



г) линейная зависимость

Рисунок 3.2 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

Полученные результаты также позволяют принять любое уравнение регрессии из приведенных и также требуют научно обоснованных решений по их применению.

### 3.5 Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и удельного сцепления

Результаты анализа регрессионной зависимости  $E = f(C)$  приведены в таблицах 3.9, 3.10, 3.11.

Таблица 3.9 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,978308
R-квадрат	0,957087
Нормированный R-квадрат	0,949935
Стандартная ошибка	0,313581
Наблюдения	8

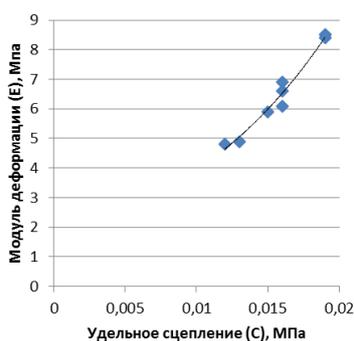
Таблица 3.10 – Дисперсионный анализ

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	Значимость <i>F</i>
Регрессия	1	13,15875	13,15875	133,8178	2,51E-05
Остаток	6	0,59	0,098333		
Итого	7	13,74875			

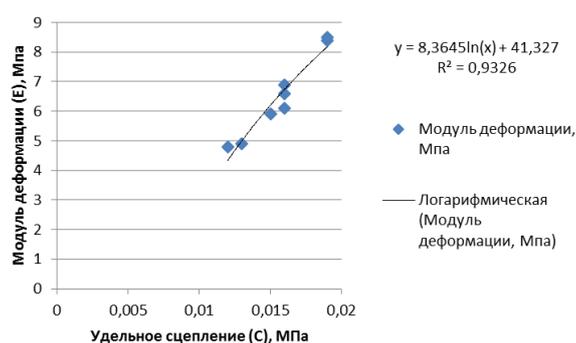
Таблица 3.11 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-2,15	0,756998	-2,84017	0,029561	-4,00231	-0,29769	-4,00231	-0,29769
C	550	47,5451	11,56796	2,51E-05	433,6613	666,3387	433,6613	666,3387

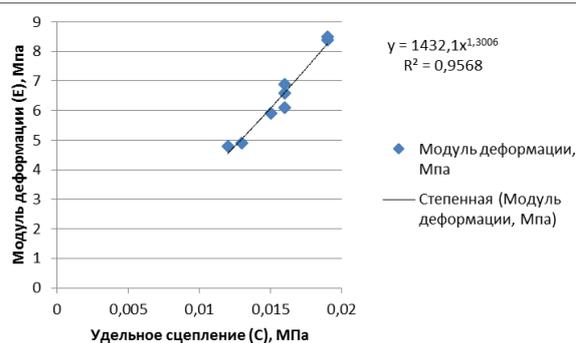
На рисунке 3.3 приведены графики зависимости модуля деформации от удельного сцепления, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



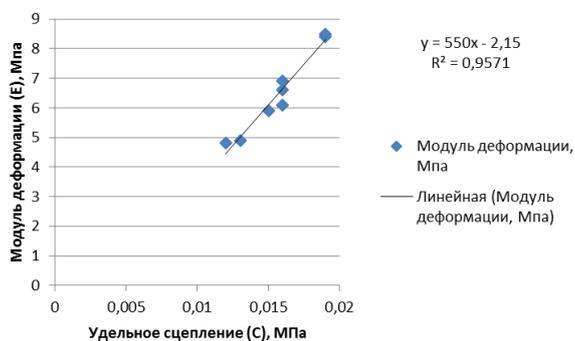
а) экспоненциальная зависимость



б) логарифмическая зависимость



в) степенная зависимость



г) линейная зависимость

Рисунок 3.3 – Зависимости модуля деформации от удельного сцепления в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

Полученные результаты таким же образом позволяют принять любое уравнение регрессии из приведенных и также требуют научно обоснованных решений по их применению. Поэтому автором проведены статистические исследования на ряде водопропускных труб, увеличивающие число наблюдений и повышающие репрезентативность выборки.

Также получены следующие уравнения регрессии.

$$1) \quad E = f(r, \rho, \varphi, C); \quad E = -0,012 \cdot r + 1,449 \cdot \rho + 1,675 \cdot \varphi - 543,222 \cdot C - 35,5426.$$

Коэффициент детерминации ( $R_2$ -квадрат) составляет 0,99.

$$2) \quad E = f(\rho, \varphi, C); \quad E = 1,439 \cdot \rho + 1,55 \cdot \varphi - 466,34 \cdot C - 33,3424.$$

Коэффициент детерминации ( $R_2$ -квадрат) составляет 0,98.

$$3) \quad C = f(\varphi, \rho); \quad C = 0,0027 \cdot \rho + 0,0014 \cdot \varphi - 0,03.$$

Коэффициент детерминации ( $R^2$ -квадрат) составляет 0,99.

Модели физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб сведены в таблицу 3.12. Данные по остальным объектам исследования приведены в приложении Е.

Таблица 3.12 – Модели физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в зоне расположения водопропускной трубы на км 20 а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	$K_{детерм.}$	$E = f(\varphi)$	$K_{детерм.}$	$E = f(C)$	$K_{детерм.}$
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	20	$y = 0,208e^{1,9819x}$	0,91	$y = 0,1196e^{0,1379x}$	0,98	$y = 1,6749e^{84,937x}$	0,97
		$y = 22,655\ln(x) - 5,8373$	0,93	$y = 25,793\ln(x) - 80,163$	0,98	$y = 8,3645\ln(x) + 41,327$	0,93
		$y = 0,9697x^{3,4566}$	0,92	$y = 1E-05x^{3,9759}$	0,98	$y = 1432,1x^{1,3006}$	0,96
		$y = 13,023x - 15,984$	0,93	$y = 0,8966x - 19,344$	0,98	$y = 550x - 2,15$	0,96
<b>Парные уравнения регрессии по двум Шурфам на удалении <math>\pm 30</math> м от водопропускных труб</b>							
2	20	$y = 0,9074e^{1,1315x}$	0,40	$y = 0,4793e^{0,0892x}$	0,59	$y = 2,8947e^{52,325x}$	0,54
		$y = 13,964\ln(x) - 1,2006$	0,40	$y = 16,99\ln(x) - 50,78$	0,53	$y = 5,399\ln(x) + 29,09$	0,50
		$y = 2,0907x^{2,0475}$	0,41	$y = 0,001x^{2,5901}$	0,59	$y = 196,09x^{0,8158}$	0,55
		$y = 7,7258x - 6,9088$	0,39	$y = 0,5859x - 10,576$	0,53	$y = 347,8x + 1,1673$	0,50
<b>Парные уравнения регрессии по четырем Шурфам по длине в 60 м</b>							
3	20	$y = 0,3475e^{1,6773x}$	0,76	$y = 0,2175e^{0,1165x}$	0,85	$y = 1,9631e^{75,461x}$	0,83
		$y = 19,189\ln(x) - 4,0822$	0,75	$y = 21,549\ln(x) - 66,074$	0,81	$y = 7,4462\ln(x) + 37,512$	0,80
		$y = 1,2603x^{2,9492}$	0,76	$y = 8E-05x^{3,3615}$	0,85	$y = 797,8x^{1,1584}$	0,83
		$y = 10,941x - 12,514$	0,75	$y = 0,748x - 15,229$	0,81	$y = 488,35x - 1,1567$	0,81

Уравнения регрессии, полученные в результате исследований участков в барьерных местах и на удалении  $\pm 30$  м от водопропускных труб, учитывающие продольную ровность ( $r$ ) автомобильной дороги, имеют следующий вид:

1)  $r = f(E)$  (глубина просадки дорожной одежды как функция модуля деформации),  $y = -0,064 \cdot x + 7,95$  при множественном  $R$ , равном 0,398,  $R^2 = 0,159$ , что свидетельствует о слабой корреляции указанных параметров. Это свидетельствует также о том, что статистическая зависимость продольной ровности от модуля деформации возрастает с удалением от трубы. Это

подтверждается следующим уравнением:

$$2) \quad r = f(E, \rho, \varphi, C); \quad r = -7,586 \cdot E + 79,507 \cdot \rho - 5,572 \cdot \varphi + 4371,8 \cdot C + 21,467$$

при множественном  $R$  равном 0.729,  $R^2 = 0,532$ .

В связи с высокой корреляцией между показателями прочности и физико-механическими характеристиками грунтов земляного полотна возникла необходимость обоснования целесообразности применения той или иной регрессионной модели для ИГЭ.

По каждому ИГЭ проанализировано уравнение регрессии, определены их средние параметры, вариации и коэффициенты вариаций. Для зависимостей модуля деформации от плотности грунта  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, от угла внутреннего трения  $\varphi$ , град и от удельного сцепления  $C$ , кПа в рекомендуемых автором зависимостях указанные коэффициенты приняты по средним значениям. В таблицах 3.13, 3.14 приведены зависимости модуля деформации  $E$  от плотности грунта  $\rho$  для ИГЭ-1п в Шурфах № 1, 2.

Таблица 3.13 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от плотности грунта  $\rho$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 1, Шурфе № 2 для экспоненциальной и логарифмической функций

км	$E = ae^{b\rho}$	$a$	$b$	$E = c \ln(\rho) - d$	$c$	$d$
20	$E = 0,208e^{1,9819\rho}$	0,208	1,982	$E = 22,655\ln(\rho) - 5,8373$	22,655	5,837
72	$E = 0,0708e^{2,4585\rho}$	0,071	2,459	$E = 26,043\ln(\rho) - 9,2286$	26,043	9,229
156	$E = 0,0021e^{4,3461\rho}$	0,002	4,346	$E = 41,857\ln(\rho) - 19,171$	41,857	19,171
205	$E = 0,0103e^{3,3356\rho}$	0,010	3,336	$E = 33,983\ln(\rho) - 15,835$	33,983	15,835
226	$E = 0,0836e^{2,3491\rho}$	0,084	2,349	$E = 26,208\ln(\rho) - 9,5861$	26,208	9,586
228	$E = 0,0353e^{2,8546\rho}$	0,035	2,855	$E = 28,516\ln(\rho) - 10,572$	28,516	10,572
303	$E = 0,029e^{2,9331\rho}$	0,029	2,933	$E = 29,154\ln(\rho) - 11,241$	29,154	11,241
327	$E = 0,0184e^{3,23\rho}$	0,018	3,230	$E = 33,992\ln(\rho) - 13,646$	33,992	13,646
334	$E = 0,1769e^{2,0158\rho}$	0,177	2,016	$E = 21,451\ln(\rho) - 5,8673$	21,451	5,867

$$S_{ai} = 0,634; S_{bi} = 25,505; S_{ci} = 263,859; S_{di} = 100,984.$$

$$a_{cp} = 0,070; b_{cp} = 2,834; c_{cp} = 29,318; d_{cp} = 11,220.$$

$$V_{ara} = 0,198; V_{arb} = 2,364; V_{arc} = 20,406; V_{ard} = 13,334.$$

$$K \cdot V_{ara} = 2,809; K \cdot V_{arb} = 0,834; K \cdot V_{arc} = 0,696; K \cdot V_{ard} = 1,188.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$1. \quad E = ae^{b\rho};$$

$$E = 0,070e^{2,834\rho}.$$

$$2. \quad E = c \ln(\rho) - d;$$

$$E = 29,318 \ln(\rho) - 11,220.$$

Таблица 3.14 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от плотности грунта  $\rho$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 1, Шурфе № 2 для степенной и линейной функций

км	$E = f\rho^g$	$f$	$g$	$E = k\rho - h$	$k$	$h$
20	$E = 0,9697\rho^{3,4566}$	0,970	3,457	$E = 13,023\rho - 15,984$	13,023	15,984
72	$E = 0,4237\rho^{4,4915}$	0,424	4,492	$E = 14,297\rho - 19,678$	14,297	19,678
156	$E = 0,0525\rho^{7,8304}$	0,053	7,830	$E = 23,255\rho - 36,447$	23,255	36,447
205	$E = 0,1033\rho^{6,2897}$	0,103	6,290	$E = 18,045\rho - 28,322$	18,045	28,322
226	$E = 0,4615\rho^{4,2907}$	0,462	4,291	$E = 14,362\rho - 20,045$	14,362	20,045
228	$E = 0,3006\rho^{5,1024}$	0,301	5,102	$E = 15,978\rho - 22,59$	15,978	22,590
303	$E = 0,2461\rho^{5,3489}$	0,246	5,349	$E = 16,013\rho - 22,946$	16,013	22,946
327	$E = 0,1962\rho^{5,8726}$	0,196	5,873	$E = 18,736\rho - 27,412$	18,736	27,412
334	$E = 0,842\rho^{3,5219}$	0,842	3,522	$E = 12,308\rho - 15,426$	12,308	15,426

$$S_{fi} = 3,596; S_{gi} = 46,205; S_{ki} = 174,958; S_{hi} = 249,374.$$

$$f_{cp} = 0,400; g_{cp} = 5,134; k_{cp} = 15,905; h_{cp} = 22,670.$$

$$V_{arf} = 0,917; V_{arg} = 4,373; V_{ark} = 10,947; V_{arh} = 21,021.$$

$$K \cdot V_{arf} = 2,295; K \cdot V_{arg} = 0,852; K \cdot V_{ark} = 0,688; K \cdot V_{arh} = 0,927.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$3. \quad E = f\rho^g;$$

$$E = 0,400\rho^{5,134}.$$

$$4. \quad E = k\rho - h;$$

$$E = 15,905\rho - 22,670.$$

В таблицах 3.15, 3.16 приведены зависимости модуля деформации  $E$  от плотности грунта  $\rho$  для ИГЭ-1п в Шурфах № 3, 4.

Таблица 3.15 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от плотности грунта  $\rho$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 3, Шурфе № 4 для экспоненциальной и логарифмической функций

км	$E = ae^{b\rho}$	$a$	$b$	$E = c \ln(\rho) - d$	$c$	$d$
20	$E = 0,9074e^{1,1315\rho}$	0,907	1,132	$E = 13,964\ln(\rho) - 1,2006$	13,964	1,201
44	$E = 0,1248e^{2,1134\rho}$	0,125	2,113	$E = 22,747\ln(\rho) - 7,6704$	22,747	7,670
72	$E = 0,0802e^{2,3906\rho}$	0,080	2,391	$E = 25,676\ln(\rho) - 9,0389$	25,676	9,039
156	$E = 0,0074e^{3,6777\rho}$	0,007	3,678	$E = 37,591\ln(\rho) - 16,313$	37,591	16,313
201	$E = 0,0374e^{2,6744\rho}$	0,037	2,674	$E = 26,974\ln(\rho) - 11,14$	26,974	11,140
205	$E = 0,0239e^{2,9022\rho}$	0,024	2,902	$E = 31,51\ln(\rho) - 14,137$	31,510	14,137
226	$E = 0,1345e^{2,0978\rho}$	0,135	2,098	$E = 23,663\ln(\rho) - 7,9553$	23,663	7,955
228	$E = 0,0605e^{2,5484\rho}$	0,061	2,548	$E = 25,986\ln(\rho) - 9,1715$	25,986	9,172
289	$E = 0,0488e^{2,6496\rho}$	0,049	2,650	$E = 29,46\ln(\rho) - 11,478$	29,460	11,478
303	$E = 0,0599e^{2,5345\rho}$	0,060	2,535	$E = 25,152\ln(\rho) - 8,8521$	25,152	8,852
327	$E = 0,0646e^{2,5169\rho}$	0,065	2,517	$E = 26,447\ln(\rho) - 9,4113$	26,447	9,411
334	$E = 0,2128e^{1,9059\rho}$	0,213	1,906	$E = 20,639\ln(\rho) - 5,4678$	20,639	5,468

$$S_{ai} = 1,762; S_{bi} = 29,143; S_{ci} = 309,809; S_{di} = 111,836.$$

$$a_{cp} = 0,147; b_{cp} = 2,429; c_{cp} = 25,817; d_{cp} = 9,320.$$

$$V_{ara} = 0,900; V_{arb} = 2,546; V_{arc} = 23,627; V_{ard} = 15,112.$$

$$K \cdot V_{ara} = 6,129; K \cdot V_{arb} = 1,048; K \cdot V_{arc} = 0,915; K \cdot V_{ard} = 1,622.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$5. \quad E = ae^{b\rho};$$

$$E = 0,147e^{2,429\rho}.$$

$$6. \quad E = c \ln(\rho) - d;$$

$$E = 25,817 \ln(\rho) - 9,320.$$

Таблица 3.16 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от плотности грунта  $\rho$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 3, Шурфе №4 для степенной и линейной функций

км	$E = f\rho^g$	$f$	$g$	$E = k\rho - h$	$k$	$h$
20	$E = 2,0907\rho^{2,0475}$	2,091	2,048	$E = 7,7258\rho - 6,9088$	7,726	6,909
44	$E = 0,5614\rho^{3,915}$	0,561	3,915	$E = 12,291\rho - 16,427$	12,291	16,427
72	$E = 0,4574\rho^{4,3622}$	0,457	4,362	$E = 14,115\rho - 19,369$	14,115	19,369
156	$E = 0,1131\rho^{6,6385}$	0,113	6,639	$E = 20,845\rho - 31,758$	20,845	31,758
201	$E = 0,246\rho^{4,9864}$	0,246	4,986	$E = 14,485\rho - 21,367$	14,485	21,367
205	$E = 0,1681\rho^{5,5554}$	0,168	5,555	$E = 16,48\rho - 25,237$	16,480	25,237
226	$E = 0,6055\rho^{3,8653}$	0,606	3,865	$E = 12,85\rho - 17,182$	12,850	17,182
228	$E = 0,4002\rho^{4,5955}$	0,400	4,596	$E = 14,432\rho - 19,892$	14,432	19,892
289	$E = 0,3394\rho^{4,8159}$	0,339	4,816	$E = 16,216\rho - 23,361$	16,216	23,361
303	$E = 0,3752\rho^{4,6426}$	0,375	4,643	$E = 13,747\rho - 18,823$	13,747	18,823
327	$E = 0,4024\rho^{4,5979}$	0,402	4,598	$E = 14,501\rho - 19,98$	14,501	19,980
334	$E = 0,9175\rho^{3,3548}$	0,918	3,355	$E = 11,75\rho - 14,504$	11,750	14,504

$$S_{fi} = 6,677; S_{gi} = 53,377; S_{ki} = 188,915; S_{hi} = 258,345.$$

$$f_{cp} = 0,556; g_{cp} = 4,448; k_{cp} = 13,494; h_{cp} = 18,453.$$

$$V_{arf} = 1,978; V_{arg} = 4,591; V_{ark} = 14,252; V_{arh} = 25,541.$$

$$K \cdot V_{arf} = 3,555; K \cdot V_{arg} = 1,032; K \cdot V_{ark} = 1,056; K \cdot V_{arh} = 1,384.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$7. \quad E = f\rho^g;$$

$$E = 0,556\rho^{4,448}.$$

$$8. \quad E = k\rho - h;$$

$$E = 13,494\rho - 18,453.$$

В табл. 3.17, 3.18. приведены зависимости модуля деформации  $E$  от угла внутреннего трения  $\varphi$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 1, Шурфе № 2.

Таблица 3.17 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от угла внутреннего трения  $\varphi$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 1, Шурфе № 2 для экспоненциальной и логарифмической функций

км	$E = ae^{b\varphi}$	$a$	$b$	$E = c \ln(\varphi) - d$	$c$	$d$
20	$E = 0,1196e^{0,1379\varphi}$	0,120	0,138	$E = 25,793\ln(\varphi) - 80,163$	25,793	80,163
72	$E = 1,0604e^{0,0628\varphi}$	1,060	0,063	$E = 9,6747\ln(\varphi) - 25,89$	9,675	25,890
156	$E = 0,8621e^{0,0737\varphi}$	0,862	0,074	$E = 11,32\ln(\varphi) - 30,729$	11,320	30,729
180	$E = 1,2556e^{0,0598\varphi}$	1,256	0,060	$E = 10,159\ln(\varphi) - 26,948$	10,159	26,948
205	$E = 0,093e^{0,1674\varphi}$	0,093	0,167	$E = 22,926\ln(\varphi) - 67,547$	22,926	67,547
226	$E = 1,5271e^{0,0548\varphi}$	1,527	0,055	$E = 9,9753\ln(\varphi) - 26,023$	9,975	26,023
228	$E = 0,9147e^{0,0709\varphi}$	0,915	0,071	$E = 11,023\ln(\varphi) - 29,891$	11,023	29,891
289	$E = 1,3986e^{0,0559\varphi}$	1,399	0,056	$E = 9,4282\ln(\varphi) - 24,588$	9,428	24,588
303	$E = 1,2185e^{0,0602\varphi}$	1,219	0,060	$E = 9,7384\ln(\varphi) - 25,682$	9,738	25,682
327	$E = 1,1245e^{0,0622\varphi}$	1,125	0,062	$E = 9,5542\ln(\varphi) - 25,254$	9,554	25,254
334	$E = 1,4888e^{0,0514\varphi}$	1,489	0,051	$E = 9,0079\ln(\varphi) - 23,615$	9,008	23,615

$$S_{ai} = 11,063; S_{bi} = 0,857; S_{ci} = 138,600; S_{di} = 386,330.$$

$$a_{cp} = 1,006; b_{cp} = 0,078; c_{cp} = 12,600; d_{cp} = 35,121.$$

$$V_{ara} = 1,434; V_{arb} = 0,116; V_{arc} = 16,785; V_{ard} = 56,548.$$

$$K \cdot V_{ara} = 1,426; K \cdot V_{arb} = 1,489; K \cdot V_{arc} = 1,332; K \cdot V_{ard} = 1,610.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$9. \quad E = ae^{b\varphi};$$

$$E = 1,006e^{0,078\varphi}.$$

$$10. \quad E = c \ln(\varphi) - d;$$

$$E = 12,600 \ln(\varphi) - 35,121.$$

Таблица 3.18 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от угла внутреннего трения  $\varphi$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 1, Шурфе № 2 для степенной и линейной функций

км	$E = f\varphi^g$	$f$	$g$	$E = k\varphi - h$	$k$	$h$
20	$E = 1E-05\varphi^{3,9759}$	1,000	3,976	$E = 0,8966\varphi - 19,344$	0,897	19,344
72	$E = 0,0218\varphi^{1,6964}$	0,022	1,696	$E = 0,3595\varphi - 3,7833$	0,360	3,783
156	$E = 0,0081\varphi^{2,0255}$	0,008	2,026	$E = 0,4136\varphi - 4,709$	0,414	4,709
180	$E = 0,0282\varphi^{1,6463}$	0,028	1,646	$E = 0,3703\varphi - 3,55$	0,370	3,550
205	$E = 1E-05\varphi^{4,1349}$	1,000	4,135	$E = 0,9307\varphi - 17,044$	0,931	17,044
226	$E = 0,0397\varphi^{1,5602}$	0,040	1,560	$E = 0,352\varphi - 2,7179$	0,352	2,718
228	$E = 0,0103\varphi^{1,9456}$	0,010	1,946	$E = 0,4033\varphi - 4,5337$	0,403	4,534
289	$E = 0,04\varphi^{1,5398}$	0,040	1,540	$E = 0,3434\varphi - 2,8469$	0,343	2,847
303	$E = 0,0254\varphi^{1,6713}$	0,025	1,671	$E = 0,3528\varphi - 3,1874$	0,353	3,187
327	$E = 0,0221\varphi^{1,705}$	0,022	1,705	$E = 0,351\varphi - 3,2957$	0,351	3,296
334	$E = 0,0589\varphi^{1,4025}$	0,059	1,403	$E = 0,3299\varphi - 2,8746$	0,330	2,875

$$S_{fi} = 2,255; S_{gi} = 23,303; S_{ki} = 5,103; S_{hi} = 67,887.$$

$$f_{cp} = 0,205; g_{cp} = 2,118; k_{cp} = 0,464; h_{cp} = 6,172.$$

$$V_{arf} = 0,992; V_{arg} = 2,732; V_{ark} = 0,601; V_{arh} = 16,626.$$

$$K \cdot V_{arf} = 4,840; K \cdot V_{arg} = 1,290; K \cdot V_{ark} = 1,295; K \cdot V_{arh} = 2,694.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$11. \quad E = f\varphi^g;$$

$$E = 0,205\varphi^{2,118}.$$

$$12. \quad E = k\varphi - h;$$

$$E = 0,464\varphi - 6,172.$$

В табл. 3.19, 3.20. приведены зависимости модуля деформации  $E$  от угла внутреннего трения  $\varphi$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 3, Шурфе № 4.

Таблица 3.19 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от угла внутреннего трения  $\varphi$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 3, Шурфе № 4 для экспоненциальной и логарифмической функций

км	$E = ae^{b\varphi}$	$a$	$b$	$E = c \ln(\varphi) - d$	$c$	$d$
20	$E = 0,4793e^{0,0892\varphi}$	0,479	0,089	$E = 16,99\ln(\varphi) - 50,78$	16,990	50,780
44	$E = 0,1699e^{0,1435\varphi}$	0,170	0,144	$E = 20,638\ln(\varphi) - 60,185$	20,638	60,185
72	$E = 1,7071e^{0,0476\varphi}$	1,707	0,048	$E = 7,9462\ln(\varphi) - 19,867$	7,946	19,867
156	$E = 1,2986e^{0,0585\varphi}$	1,299	0,059	$E = 9,4869\ln(\varphi) - 24,725$	9,487	24,725
180	$E = 1,6654e^{0,0499\varphi}$	1,665	0,050	$E = 8,739\ln(\varphi) - 22,228$		
182	$E = 1,3708e^{0,0593\varphi}$	1,371	0,059	$E = 10,279\ln(\varphi) - 26,945$	10,279	26,945
201	$E = 0,7834e^{0,0803\varphi}$	0,783	0,080	$E = 12,945\ln(\varphi) - 35,639$	12,945	35,639
205	$E = 1,1829e^{0,0648\varphi}$	1,183	0,065	$E = 11,015\ln(\varphi) - 29,352$	11,015	29,352
226	$E = 2,2737e^{0,0403\varphi}$	2,274	0,040	$E = 7,5329\ln(\varphi) - 17,982$	7,533	17,982
228	$E = 1,3198e^{0,0584\varphi}$	1,320	0,058	$E = 9,5402\ln(\varphi) - 24,885$	9,540	24,885
289	$E = 1,7635e^{0,0475\varphi}$	1,764	0,048	$E = 8,342\ln(\varphi) - 20,986$	8,342	20,986
303	$E = 1,7229e^{0,0484\varphi}$	1,723	0,048	$E = 8,1946\ln(\varphi) - 20,484$	8,195	20,484
327	$E = 1,7944e^{0,0473\varphi}$	1,794	0,047	$E = 7,8948\ln(\varphi) - 19,443$	7,895	19,443
334	$E = 1,8794e^{0,0441\varphi}$	1,879	0,044	$E = 7,8841\ln(\varphi) - 19,697$	7,884	19,697

$$S_{ai} = 19,411; S_{bi} = 0,879; S_{ci} = 138,689; S_{di} = 370,970.$$

$$a_{cp} = 1,387; b_{cp} = 0,063; c_{cp} = 10,668; d_{cp} = 28,536.$$

$$V_{ara} = 2,104; V_{arb} = 0,104; V_{arc} = 13,105; V_{ard} = 42,203.$$

$$K \cdot V_{ara} = 1,517; K \cdot V_{arb} = 1,656; K \cdot V_{arc} = 1,228; K \cdot V_{ard} = 1,479.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$13. \quad E = ae^{b\varphi};$$

$$E = 1,387e^{0,063\varphi}.$$

$$14. \quad E = c \ln(\varphi) - d;$$

$$E = 10,668 \ln(\varphi) - 28,536.$$

Таблица 3.20 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от угла внутреннего трения  $\varphi$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 3, Шурфе № 4 для степенной и линейной зависимостей

км	$E = f\varphi^g$	$f$	$g$	$E = k\varphi - h$	$k$	$h$
20	$E = 0,001\varphi^{2,5901}$	0,001	2,590	$E = 0,5859\varphi - 10,576$	0,586	10,576
44	$E = 7E-05\varphi^{3,5518}$	7,000	3,552	$E = 0,8351\varphi - 14,651$	0,835	14,651
72	$E = 0,0826\varphi^{1,3115}$	0,083	1,312	$E = 0,2899\varphi - 1,5549$	0,290	1,555
156	$E = 0,0303\varphi^{1,6234}$	0,030	1,623	$E = 0,3435\varphi - 2,815$	0,344	2,815
180	$E = 0,0282\varphi^{1,6463}$	3,166	40,763	$E = 0,3157\varphi - 2,0118$	0,316	2,012
182	$E = 0,027\varphi^{1,6812}$	0,027	1,681	$E = 0,3646\varphi - 2,9791$	0,365	2,979
201	$E = 0,0045\varphi^{2,2289}$	0,005	2,229	$E = 0,4698\varphi - 5,7608$	0,470	5,761
205	$E = 0,0168\varphi^{1,8256}$	0,017	1,826	$E = 0,3928\varphi - 3,7284$	0,393	3,728
226	$E = 0,1538\varphi^{1,1489}$	0,154	1,149	$E = 0,2649\varphi - 0,3461$	0,265	0,346
228	$E = 0,0296\varphi^{1,6339}$	0,030	1,634	$E = 0,3428\varphi - 2,7549$	0,343	2,755
289	$E = 0,0825\varphi^{1,321}$	0,083	1,321	$E = 0,3008\varphi - 1,6695$	0,301	1,670
303	$E = 0,0739\varphi^{1,3546}$	0,074	1,355	$E = 0,2945\varphi - 1,4788$	0,295	1,479
327	$E = 0,0812\varphi^{1,3289}$	0,081	1,329	$E = 0,283\varphi - 1,1049$	0,283	1,105
334	$E = 0,115\varphi^{1,211}$	0,115	1,211	$E = 0,2873\varphi - 1,5096$	0,287	1,510

$$S_{fi} = 10,864; S_{gi} = 63,574; S_{ki} = 5,371; S_{hi} = 52,941.$$

$$f_{cp} = 0,776; g_{cp} = 4,541; k_{cp} = 0,384; h_{cp} = 3,781.$$

$$V_{arf} = 6,999; V_{arg} = 39,614; V_{ark} = 0,570; V_{arh} = 14,305.$$

$$K \cdot V_{arf} = 9,019; K \cdot V_{arg} = 8,724; K \cdot V_{ark} = 1,486; K \cdot V_{arh} = 3,783.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$15. \quad E = f\varphi^g;$$

$$E = 0,776\varphi^{4,541}$$

$$16. \quad E = k\varphi - h;$$

$$E = 0,384\varphi - 3,781.$$

В табл. 3.21, 3.22. приведены зависимости модуля деформации  $E$  от удельного сцепления  $C$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 1, Шурфе № 2.

Таблица 3.21 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от удельного сцепления  $C$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 1, Шурфе № 2 для экспоненциальной и логарифмической зависимостей

км	$E = ae^{bC}$	$a$	$b$	$E = c \ln(C) - d$	$c$	$d$
20	$E = 1,6749e^{84,937C}$	1,675	84,937	$E = 8,3645\ln(C) + 41,327$	8,365	41,327
205	$E = 1,4039e^{58,807C}$	1,404	58,807	$E = 8,1832\ln(C) + 36,466$	8,183	36,466

$$S_{ai} = 3,079; S_{bi} = 143,744; S_{ci} = 16,548; S_{di} = 77,793.$$

$$a_{cp} = 1,539; b_{cp} = 71,872; c_{cp} = 8,274; d_{cp} = 38,897.$$

$$V_{ara} = 0,271; V_{arb} = 26,130; V_{arc} = 0,182; V_{ard} = 4,861.$$

$$K \cdot V_{ara} = 0,176; K \cdot V_{arb} = 0,364; K \cdot V_{arc} = 0,022; K \cdot V_{ard} = 0,125.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$17. \quad E = ae^{bC};$$

$$E = 1,539e^{71,872C}.$$

$$18. \quad E = c \ln(C) - d;$$

$$E = 8,274 \ln(C) - 38,897.$$

Таблица 3.22 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от удельного сцепления  $C$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 1, Шурфе № 2 для степенной и линейной зависимостей

км	$E = kC - h$	$k$	$h$
20	$E = 550C - 2,15$	550,000	2,150
72	$E = -107,895C + 8,387$	107,895	8,387
156	$E = 39,548C + 4,637$	39,548	4,637
180	$E = -20,732C + 6,359$	20,732	6,359
205	$E = 335,46C - 2,159$	335,460	2,159
226	$E = 51,042C + 5,163$	51,042	5,163
228	$E = 62,791C + 4,500$	62,791	4,500
289	$E = -9,565C + 6,244$	9,565	6,244
303	$E = -57,563C + 7,432$	57,563	7,432
327	$E = 81,928C + 4,552$	81,928	4,552
334	$E = 131,250C + 4,078$	131,250	4,078

$$S_{fi} = 2705,80; S_{gi} = 2,746; S_{ki} = 1447,77; S_{hi} = 55,661.$$

$$f_{cp} = 1352,90; g_{cp} = 1,373; k_{cp} = 131,616; h_{cp} = 5,060.$$

$$V_{arf} = 158,400; V_{arg} = 0,145; V_{ark} = 540,435; V_{arh} = 6,237.$$

$$K \cdot V_{arf} = 0,117; K \cdot V_{arg} = 0,105; K \cdot V_{ark} = 4,106; K \cdot V_{arh} = 1,233.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$19. \quad E = fC^g;$$

$$E = 1352,900C^{1,373}.$$

$$20. \quad E = kC - h;$$

$$E = 131,616C - 5,060.$$

В таблицах 3.23, 3.24. приведены зависимости модуля деформации  $E$  от удельного сцепления  $C$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 3, Шурфе № 4.

Таблица 3.23 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от удельного сцепления  $C$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 3, Шурфе № 4 для экспоненциальной и логарифмической зависимостей

км	$E = ae^{bC}$	$a$	$b$	$E = c \ln(C) - d$	$c$	$d$
20	$E = 2,8947e^{52,325C}$	2,895	52,325	$E = 5,399 \ln(C) + 29,09$	5,399	29,090
44	$E = 1,3216e^{63,459C}$	1,322	63,459	$E = 9,041 \ln(C) + 39,911$	9,041	39,911

$$S_{ai} = 4,216; S_{bi} = 115,784; S_{ci} = 14,440; S_{di} = 69,001.$$

$$a_{cp} = 2,108; b_{cp} = 57,892; c_{cp} = 7,220; d_{cp} = 34,501.$$

$$V_{ara} = 1,573; V_{arb} = 11,134; V_{arc} = 3,642; V_{ard} = 10,821.$$

$$K \cdot V_{ara} = 0,746; K \cdot V_{arb} = 0,192; K \cdot V_{arc} = 0,504; K \cdot V_{ard} = 0,314.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$21. \quad E = ae^{bC};$$

$$E = 2,108e^{57,892C}.$$

$$22. \quad E = c \ln(C) - d;$$

$$E = 7,220 \ln(C) - 34,501.$$

Таблица 3.24 – Статистические зависимости модуля деформации  $E$  от удельного сцепления  $C$  для ИГЭ-1п в Шурфе № 3, Шурфе № 4 для степенной и линейной зависимостей

км	$E = kC - h$	$k$	$h$
20	$E = 347,8C + 1,1673$	347,800	1,167
44	$E = 372,98C - 2,8006$	372,980	2,801
72	$E = -108,034C + 8,716$	108,034	8,716
156	$E = -86,068C + 8,216$	86,068	8,216
180	$E = -84,135C + 8,296$	84,135	8,296
182	$E = 78,400C + 4,563$	78,400	4,563
201	$E = -54,989C + 7,359$	54,989	7,359
205	$E = 121,238C + 3,507$	121,238	3,507
226	$E = -43,165C + 7,750$	43,165	7,750
228	$E = 45,509C + 5,262$	45,509	5,262
289	$E = -104,972C + 8,669$	104,972	8,669
303	$E = -100,000C + 8,675$	100,000	8,675
327	$E = 70,210C + 4,989$	70,210	4,989
334	$E = 81,224C + 5,220$	81,224	5,220

$$S_{fi} = 2129,99; S_{gi} = 2,360; S_{ki} = 1698,72; S_{hi} = 85,190.$$

$$f_{cp} = 1064,99; g_{cp} = 1,180; k_{cp} = 121,337; h_{cp} = 6,085.$$

$$V_{arf} = 1737,81; V_{arg} = 0,728; V_{ark} = 329,815; V_{arh} = 7,549.$$

$$K \cdot V_{arf} = 1,632; K \cdot V_{arg} = 0,617; K \cdot V_{ark} = 2,718; K \cdot V_{arh} = 1,241.$$

Таким образом, рекомендуемая зависимость равна:

$$23. \quad E = fC^g;$$

$$E = 1064,995C^{1,180}.$$

$$24. \quad E = kC - h;$$

$$E = 121,337C - 6,085.$$

Применительно к водопропускной трубе на конкретном участке целесообразно использовать из четырех рекомендуемых зависимость с наименьшим коэффициентом вариации параметра.

Автором определены основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) и приведены в приложении Д к диссертации. В таблице 3.25 приведены основные соотношения

(дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ-1п в Шурфах № 1, 2., при этом среднее значение коэффициента вариации  $V_{cp} = 32,43$ ; вариация  $V_{ar} = 160$ ; среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 26,666$ .

Таблица 3.25 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ-1п в Шурфах № 1, 2

Адрес участка, км	Уравнения регрессии	Среднее знач. E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
20	$E = 0,208e^{1,9819\rho}$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,91	0,40
	$E = 22,655\ln(\rho) - 5,8373$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,93	0,40
	$E = 0,9697\rho^{3,4566}$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,92	0,40
	$E = 13,023\rho - 15,984$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,93	0,40
	$E = 0,1196e^{0,1379\varphi}$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
	$E = 25,793\ln(\varphi) - 80,163$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
	$E = 1E-05\varphi^{3,9759}$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
	$E = 0,8966\varphi - 19,344$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
	$E = 1,6749e^{84,937C}$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,97	0,31
	$E = 8,3645\ln(C) + 41,327$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,93	0,31
	$E = 1432,1C^{1,3006}$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,96	0,31
$E = 550C - 2,15$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,96	0,31	
72	$E = 0,0708e^{2,4585\rho}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,85	0,43
	$E = 26,043\ln(\rho) - 9,2286$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,90	0,43
	$E = 0,4237\rho^{4,4915}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,43
	$E = 14,297\rho - 19,678$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,89	0,43
	$E = 1,0604e^{0,0628\varphi}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,45
	$E = 9,6747\ln(\varphi) - 25,89$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
	$E = 0,0218\varphi^{1,6964}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,87	0,45
	$E = 0,3595\varphi - 3,7833$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
$E = -107,895C + 8,387$	6,32	4,20	0,30	0,24	-0,02	1,26	
156	$E = 0,0021e^{4,3461\rho}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
	$E = 41,857\ln(\rho) - 19,171$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
	$E = 0,0525\rho^{7,8304}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
	$E = 23,255\rho - 36,447$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
	$E = 0,8621e^{0,0737\varphi}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,62	0,89
	$E = 11,32\ln(\varphi) - 30,729$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,72	0,89
	$E = 0,0081\varphi^{2,0255}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,65	0,89
	$E = 0,4136\varphi - 4,709$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,68	0,89
$E = 39,548C + 4,637$	5,57	4,30	0,36	0,11	-0,09	1,58	

Продолжение таблицы 3.25

Адрес участка, кв.м	Уравнения регрессии	Среднее знач. $E$ , МПа	Вариация $Var$	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции $R$	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
180	$E=12,580\rho-17,030$	5,89	4,00	0,40	0,61	0,37	1,07
	$E = 1,2556e^{0,0598\varphi}$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,74	0,62
	$E = 10,159\ln(\varphi) - 26,948$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,81	0,62
	$E = 0,0282\varphi^{1,6463}$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,76	0,62
	$E = 0,3703\varphi - 3,55$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,79	0,62
	$E=-20,732C+6,359$	5,89	4,00	0,40	0,05	0,00	1,35
205	$E = 0,0103e^{3,3356\rho}$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,72	0,75
	$E = 33,983\ln(\rho) - 15,835$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,71	0,75
	$E = 0,1033\rho^{6,2897}$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,72	0,75
	$E = 18,045\rho - 28,322$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,71	0,75
	$E = 0,093e^{0,1674\varphi}$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,93	0,23
	$E = 22,926\ln(\varphi) - 67,547$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,98	0,23
	$E = 1E-05\varphi^{4,1349}$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,94	0,23
	$E = 0,9307\varphi - 17,044$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,97	0,23
	$E = 1,4039e^{58,807C}$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,52	0,91
	$E = 8,1832\ln(C) + 36,466$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,58	0,91
	$E = 1273,7C^{1,4451}$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,54	0,91
	$E = 335,46C - 2,159$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,57	0,91
226	$E = 0,0836e^{2,3491\rho}$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,79	0,54
	$E = 26,208\ln(\rho) - 9,5861$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,78	0,54
	$E = 0,4615\rho^{4,2907}$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,79	0,54
	$E = 14,362\rho - 20,045$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,78	0,54
	$E = 1,5271e^{0,0548\varphi}$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,64	0,62
	$E = 9,9753\ln(\varphi) - 26,023$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,74	0,62
	$E = 0,0397\varphi^{1,5602}$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,68	0,62
	$E = 0,352\varphi - 2,7179$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,70	0,62
	$E=51,042C+5,163$	6,36	3,00	0,38	0,13	0,02	1,13
228	$E = 0,0353e^{2,8546\rho}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,58	1,00
	$E = 28,516\ln(\rho) - 10,572$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00
	$E = 0,3006\rho^{5,1024}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,59	1,00
	$E = 15,978\rho - 22,59$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00
	$E = 0,9147e^{0,0709\varphi}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,67	0,84
	$E = 11,023\ln(\varphi) - 29,891$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,74	0,84
	$E = 0,0103\varphi^{1,9456}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,70	0,84
	$E = 0,4033\varphi - 4,5337$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,71	0,84
$E=62,791C+4,500$	5,85	4,10	0,51	0,15	0,02	1,57	

Продолжение таблицы 3.25

Адрес участка, кв.м	Уравнения регрессии	Среднее знач. $E$ , МПа	Вариация $Var$	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции $R$	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
289	$E=16,361\rho-23,494$	6,04	3,10	0,39	0,68	0,47	0,90
	$E = 1,3986e^{0,0559\varphi}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,70	0,64
	$E = 9,4282\ln(\varphi) - 24,588$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,75	0,64
	$E = 0,04\varphi^{1,5398}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
	$E = 0,3434\varphi - 2,8469$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
	$E=-9,565C+6,244$	6,04	3,10	0,39	0,03	0,00	1,23
303	$E = 0,029e^{2,9331\rho}$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,68	0,87
	$E = 29,154\ln(\rho) - 11,241$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,68	0,87
	$E = 0,2461\rho^{5,3489}$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,69	0,87
	$E = 16,013\rho - 22,946$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,67	0,87
	$E = 1,2185e^{0,0602\varphi}$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,70	0,70
	$E = 9,7384\ln(\varphi) - 25,682$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,81	0,70
	$E = 0,0254\varphi^{1,6713}$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,73	0,70
	$E = 0,3528\varphi - 3,1874$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,79	0,70
$E=-57,563C+7,432$	6,24	4,30	0,54	0,12	0,01	1,50	
327	$E = 0,0184e^{3,23\rho}$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,69	0,72
	$E = 33,992\ln(\rho) - 13,646$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,77	0,72
	$E = 0,1962\rho^{5,8726}$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,70	0,72
	$E = 18,736\rho - 27,412$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,76	0,72
	$E = 1,1245e^{0,0622\varphi}$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,59	0,91
	$E = 9,5542\ln(\varphi) - 25,254$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,63	0,91
	$E = 0,0221\varphi^{1,705}$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,61	0,91
	$E = 0,351\varphi - 3,2957$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,62	0,91
$E=81,928C+4,552$	6,15	4,40	0,55	0,29	0,08	1,42	
334	$E = 0,1769e^{2,0158\rho}$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,84	0,51
	$E = 21,451\ln(\rho) - 5,8673$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,82	0,51
	$E = 0,842\rho^{3,5219}$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,83	0,51
	$E = 12,308\rho - 15,426$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,83	0,51
	$E = 1,4888e^{0,0514\varphi}$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,59	0,73
	$E = 9,0079\ln(\varphi) - 23,615$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,62	0,73
	$E = 0,0589\varphi^{1,4025}$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,57	0,73
	$E = 0,3299\varphi - 2,8746$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,65	0,73
$E=131,250C+4,078$	6,38	3,40	0,43	0,50	0,25	1,06	

Таким образом, для ИГЭ-1п в Шурфах № 1, 2 были получены 99 уравнений регрессий. Уравнения регрессии и коэффициенты детерминации приведены в приложении Д к диссертации.

### 3.6 Оценка несущей способности земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб

На основании выполненных исследований автор пришел к выводу о целесообразности введения нового показателя оценки несущей способности земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб, необходимой для обеспечения прочности дорожной конструкции и устойчивости земляного полотна. В качестве аналога использована методика, применяемая на железных дорогах. Несущая способность  $P_{кр}$  принята равной суммарному напряжению  $\sigma$  от транспортной нагрузки и веса дорожной одежды [78, 109].

$$P_{кр} = \sigma \quad (3.1)$$

Напряжения в земляном полотне  $\sigma$  определяются от расчетной нагрузки автомобиля. Зависимость напряжений от глубины залегания принимается по ведомостям приложения Б к диссертации для каждого ИГЭ.

Результаты натурных и лабораторных исследований физико-механических характеристик грунтов земляного полотна на отобранных участках автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб, позволили установить, что земляное полотно преимущественно сложено из суглинков с числом пластичности  $I_p = 0,08...0,11$  и супесей с числом пластичности  $I_p = 0,01...0,07$ . По величине показателя текучести  $I_L$  исследуемые грунты разделены на суглинки от твердых до полутвердых, и супеси твердые.

Для суглинков характерны следующие показатели: естественная влажность  $W = 0,11 - 0,32$ ; коэффициент пористости  $e = 0,582...0,938$ ; плотность грунта  $\rho = 1,74...1,99$  г/см<sup>3</sup>; плотность частиц грунта  $\rho_s = 2,69...2,74$  г/см<sup>3</sup>; плотность

сухого грунта  $\rho_d = 1,40...1,71 \text{ г/см}^3$ ; угол внутреннего трения  $\varphi = 22,0...26,5 \text{ град.}$ ; удельное сцепление  $C = 0,019...0,032 \text{ МПа}$ ; модуль деформации  $E = 4,8...11,2 \text{ МПа}$ ; модуль упругости  $E_{упр} = 18,7...44,7 \text{ МПа}$ .

Для супесей характерны следующие показатели: естественная влажность  $W = 0,04-0,25$ ; коэффициент пористости  $e = 0,596...0,875$ ; плотность грунта  $\rho = 1,70...1,98 \text{ г/см}^3$ ; плотность частиц грунта  $\rho_s = 2,69...2,70 \text{ г/см}^3$ ; плотность сухого грунта  $\rho_d = 1,44...1,69 \text{ г/см}^3$ ; угол внутреннего трения  $\varphi = 22,5...31,6 \text{ град.}$ ; удельное сцепление  $C = 0,011...0,029 \text{ МПа}$ ; модуль деформации  $E = 3,0...13,8 \text{ МПа}$ ; модуль упругости  $E_{упр} = 12,0...56,6 \text{ МПа}$ .

Полученные величины были использованы при расчете несущей способности  $P_{кр}$  (кПа) земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб, выполненного по формуле 3.2 [78]:

$$P_{кр} = \left( \frac{\pi(c_p \text{ctg}\varphi_p + 0,1\rho h)}{\text{ctg}\varphi_p + \varphi_p - \pi/2} + 0,1\rho h \right) \cdot 100 \quad (3.2)$$

Результаты расчетов  $P_{кр}$  для всех ИГЭ приведены в Приложении Е к диссертации. Несущая способность земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб определяется по формуле (3.1) п. 3.3, на основе значений характеристик грунтов: плотности  $\rho$ , коэффициента сцепления  $C$  и угла внутреннего трения  $\varphi$ .

В таблице 3.26 расчет несущей способности  $P_{кр}$  земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб приведен для ИГЭ-1п.

Таблица 3.26 – Расчет несущей способности  $P_{кр}$  земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб для ИГЭ-1п

км	Наименование выработки	$H$ , м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\text{ctg}\varphi$	$\varphi$ , град	$C$ , кПа	$P_{кр}$ , кПа
20	Шурф № 1	0,2	3,14	1,57	1,86	1,664	30,8	19	325
20	Шурф № 2	0,2	3,14	1,57	1,89	1,664	31,0	19	323
20	Шурф № 2	1,9	3,14	1,57	1,76	1,804	29,2	16	345
20	Шурф № 3	0,2	3,14	1,57	1,86	1,664	30,6	18	311

Продолжение таблицы 3.26

км	Наименование выработки	$H$ , м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$ctg\varphi$	$\varphi$ , град	$C$ , кПа	$P_{кр}$ , кПа
20	Шурф № 3	0,7	3,14	1,57	1,77	1,732	30,3	17	317
20	Шурф № 3	1,9	3,14	1,57	1,75	1,732	30,1	17	342
20	Шурф № 4	0,2	3,14	1,57	1,89	1,732	29,9	15	276
20	Шурф № 4	0,7	3,14	1,57	1,80	1,664	30,5	18	321
44	Шурф № 3	0,5	3,14	1,57	1,90	2,050	26,4	28	680
44	Шурф № 4	0,2	3,14	1,57	1,90	2,050	26,4	28	675
44	Шурф № 4	0,46	3,14	1,57	1,86	2,050	26,1	27	664
72	Шурф № 1	0,1	3,14	1,57	1,94	1,732	29,5	20	369
72	Шурф № 1	0,7	3,14	1,57	1,94	1,804	29,3	19	379
72	Шурф № 2	0,1	3,14	1,57	1,92	1,881	28,4	18	372
72	Шурф № 2	0,7	3,14	1,57	1,89	1,881	28,0	18	390
72	Шурф № 3	0,1	3,14	1,57	1,90	1,804	29,4	19	365
72	Шурф № 3	0,7	3,14	1,57	1,89	1,804	29,1	19	382
72	Шурф № 3	1,2	3,14	1,57	1,85	1,804	29,0	18	373
72	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,90	1,732	30,5	19	339
72	Шурф № 4	0,7	3,14	1,57	1,86	1,732	30,1	18	338
72	Шурф № 4	1,2	3,14	1,57	1,85	1,732	29,9	17	332
72	Шурф № 4	1,7	3,14	1,57	1,84	1,804	28,8	24	503
156	Шурф № 2	0,1	3,14	1,57	1,87	1,664	31,2	19	319
156	Шурф № 2	0,7	3,14	1,57	1,88	1,664	30,8	18	319
156	Шурф № 3	0,1	3,14	1,57	1,88	1,804	29,4	19	365
156	Шурф № 3	0,7	3,14	1,57	1,88	1,881	28,4	19	405
156	Шурф № 3	1,2	3,14	1,57	1,89	1,881	28,0	19	422
156	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,88	2,145	25,4	19	495
156	Шурф № 4	0,7	3,14	1,57	1,87	2,145	25,2	19	511
156	Шурф № 4	1,2	3,14	1,57	1,85	2,145	24,8	18	503
180	Шурф № 1	0,1	3,14	1,57	1,92	1,881	28,3	18	374
180	Шурф № 2	0,1	3,14	1,57	1,90	1,664	30,9	20	339
180	Шурф № 2	0,4	3,14	1,57	1,81	1,732	30,0	17	315
180	Шурф № 3	0,1	3,14	1,57	1,92	1,732	29,8	20	365
180	Шурф № 3	0,4	3,14	1,57	1,92	1,804	29,4	19	372
180	Шурф № 3	0,9	3,14	1,57	1,89	2,050	25,9	23	580
180	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,87	1,804	29,2	19	368
180	Шурф № 4	0,4	3,14	1,57	1,80	1,804	29,3	18	353
180	Шурф № 4	0,9	3,14	1,57	1,81	1,881	27,8	17	375
182	Шурф № 3	0,5	3,14	1,57	1,98	2,050	25,9	26	646
182	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,89	1,804	29,6	19	363
182	Шурф № 4	0,5	3,14	1,57	1,91	1,881	28,0	19	407
182	Шурф № 4	1,0	3,14	1,57	1,81	2,145	25,3	25	671
201	Шурф № 3	0,2	3,14	1,57	1,93	1,732	29,9	19	348
201	Шурф № 3	0,5	3,14	1,57	1,97	1,804	29,4	19	374

Продолжение таблицы 3.26

км	Наименование выработки	$H$ , м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$ctg\varphi$	$\varphi$ , град	$C$ , кПа	$P_{кр}$ , кПа
201	Шурф № 4	0,2	3,14	1,57	1,93	2,050	26,4	28	675
205	Шурф № 1	0,1	3,14	1,57	1,93	2,050	26,3	28	675
205	Шурф № 3	0,1	3,14	1,57	1,97	1,963	26,8	29	659
205	Шурф № 3	0,5	3,14	1,57	1,98	2,050	26,4	28	682
205	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,94	1,664	30,6	19	326
205	Шурф № 4	0,5	3,14	1,57	1,94	1,732	30,0	19	353
205	Шурф № 4	1,0	3,14	1,57	1,94	2,145	25,4	25	670
226	Шурф № 1	0,1	3,14	1,57	1,92	1,664	30,6	19	326
226	Шурф № 1	0,5	3,14	1,57	1,84	2,145	25,3	25	661
226	Шурф № 2	0,1	3,14	1,57	1,88	2,050	26,4	28	673
226	Шурф № 3	0,1	3,14	1,57	1,90	1,804	28,6	22	434
226	Шурф № 3	0,5	3,14	1,57	1,85	1,881	27,9	19	408
226	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,88	1,804	29,6	19	363
226	Шурф № 4	0,5	3,14	1,57	1,89	1,804	29,0	19	379
228	Шурф № 1	0,1	3,14	1,57	1,86	1,804	29,4	19	365
228	Шурф № 3	0,1	3,14	1,57	1,90	2,050	26,2	20	485
228	Шурф № 3	0,5	3,14	1,57	1,85	2,050	25,8	20	500
228	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,89	1,804	29,4	19	365
228	Шурф № 4	0,5	3,14	1,57	1,84	1,804	28,5	18	365
289	Шурф № 2	0,1	3,14	1,57	1,86	1,804	29,4	19	365
289	Шурф № 3	0,1	3,14	1,57	1,89	1,732	29,6	19	349
289	Шурф № 3	0,5	3,14	1,57	1,87	1,804	28,7	18	363
289	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,90	1,804	29,4	19	365
289	Шурф № 4	0,5	3,14	1,57	1,87	1,881	28,5	18	379
289	Шурф № 4	1,0	3,14	1,57	1,87	2,145	25,4	25	669
303	Шурф № 1	0,1	3,14	1,57	1,89	1,600	31,6	19	304
303	Шурф № 1	0,5	3,14	1,57	1,81	2,145	25,3	24	635
303	Шурф № 2	0,1	3,14	1,57	1,88	1,664	31,4	19	317
303	Шурф № 3	0,1	3,14	1,57	1,85	1,664	31,2	19	319
303	Шурф № 3	0,5	3,14	1,57	1,83	1,732	30,3	18	331
303	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,90	1,664	31,4	19	317
303	Шурф № 4	0,5	3,14	1,57	1,87	1,732	30,5	18	330
327	Шурф № 1	0,1	3,14	1,57	1,88	1,963	27,4	22	490
327	Шурф № 2	0,1	3,14	1,57	1,89	1,664	30,8	19	323
327	Шурф № 3	0,1	3,14	1,57	1,89	1,732	29,5	25	460
327	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,86	1,804	29,4	19	365
327	Шурф № 4	0,5	3,14	1,57	1,85	1,804	28,7	18	363
334	Шурф № 1	0,1	3,14	1,57	1,88	1,664	30,6	20	343
334	Шурф № 1	0,5	3,14	1,57	1,81	1,732	29,8	17	319
334	Шурф № 2	0,1	3,14	1,57	1,85	1,732	30,2	19	342
334	Шурф № 3	0,1	3,14	1,57	1,85	1,732	30,2	19	342

Продолжение таблицы 3.26

км	Наименование выработки	$H$ , м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$ctg\varphi$	$\varphi$ , град	$C$ , кПа	$P_{кр}$ , кПа
334	Шурф № 3	0,5	3,14	1,57	1,84	1,732	29,7	18	338
334	Шурф № 3	1,0	3,14	1,57	1,82	1,804	29,0	17	350
334	Шурф № 4	0,1	3,14	1,57	1,88	1,804	29,4	19	365
334	Шурф № 4	0,5	3,14	1,57	1,86	1,881	28,5	18	379
334	Шурф № 4	1,0	3,14	1,57	1,84	1,881	28,0	17	375

Для прогнозирования рабочего состояния земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб с целью сокращения объектов натурных и лабораторных исследований достаточно определить модуль деформации  $E$ , расчеты которого приведены в п. 2.1.2 и приложении Б. Установленные статистические закономерности описаны линейной, логарифмической, экспоненциальной и степенной функциями. Для дальнейших расчетов необходимо определить одну из них по критерию минимальной погрешности и с минимальной девиацией по ИГЭ. Из уравнений регрессии, приведённых в приложении к диссертации Д, выражена плотность грунта  $\rho$ , коэффициент сцепления  $C$  и угол внутреннего трения  $\varphi$  для этих условий по максимальному значению коэффициента детерминации.

По ИГЭ по критериям минимальной погрешности и минимальной девиации параметров выбрано уравнение регрессии, из которого выражены плотность грунта  $\rho$ , удельное сцепление  $C$  и угол внутреннего трения  $\varphi$  по максимальному значению коэффициента детерминации.

**Плотность грунта  $\rho$**  выражена:

- для прямолинейной зависимости:  $E = a\rho - b$ . Отсюда,

$$\rho = (E + b) / a. \quad (3.3)$$

- для степенной зависимости:  $E = s\rho^k$ . Отсюда,

$$\rho^k = E / s; \rho = \sqrt[k]{(E / s)}. \quad (3.4)$$

- для логарифмической зависимости:  $E = a \ln \rho - e$ . Отсюда,

$$\ln \rho = (E + e) / a; \rho = e^{(E+e)/a}. \quad (3.5)$$

- для экспоненциальной зависимости:  $E = ae^{m\rho}$ ;

$$\rho = \frac{\ln(E/a)}{m}. \quad (3.6)$$

**Угол внутреннего трения  $\varphi$**  выражен:

- для прямолинейной зависимости:  $E = a\varphi - b$ . Отсюда,

$$\varphi = (E + b) / a. \quad (3.7)$$

- для степенной зависимости:  $E = s\varphi^k$ . Отсюда,

$$\varphi^k = E / s; \varphi = \sqrt[k]{(E/s)}. \quad (3.8)$$

- для логарифмической зависимости:  $E = a \ln \varphi - e$ . Отсюда,

$$\ln \varphi = (E + e) / a;$$

$$\varphi = e^{(E+e)/a}. \quad (3.9)$$

- для экспоненциальной зависимости:  $E = ae^{m\varphi}$ ;

$$\varphi = \frac{\ln(E/a)}{m}. \quad (3.10)$$

**Удельное сцепление  $C$**  выражено:

- для прямолинейной зависимости:  $E = aC - b$ . Отсюда,

$$C = (E + b) / a. \quad (3.11)$$

- для степенной зависимости:  $E = sC^k$ . Отсюда,

$$C^k = E / s; C = \sqrt[k]{(E/s)}. \quad (3.12)$$

- для логарифмической зависимости:  $E = a \ln C - e$ . Отсюда,

$$\ln C = (E + e) / a;$$

$$C = e^{(E+e)/a} \quad (3.13)$$

- для экспоненциальной зависимости:  $E = ae^{mC}$ ;  $\ln E = \ln a + mC$ ;

$$C = \frac{\ln(E/a)}{m} \quad (3.14)$$

Выполнена проверка сходимости экспериментальных и теоретических значений  $\rho$ ,  $\varphi$ ,  $C$  и  $P_{кр}$  по абсолютной и относительной погрешностям (таблица 3.27).

Таблица 3.27 – Сходимость экспериментальных и теоретических значений несущей способности земляного полотна  $P_{кр}$  автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб

№ ИГЭ	км	H, м	$\rho_z$ , г/см <sup>3</sup>	$ctg\varphi_z$	$\varphi_z$ , град.	$C_z$ , кПа	$P_{крz}$ , кПа	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$ctg\varphi_p$	$\varphi_p$ , град.	$P_{крp}$ , кПа	$\Delta P_{кр} = P_{крz} - P_{крp}$	$\gamma_{относ} = \Delta P_{кр} / P_{крz} * 100, \%$
1 п	72	0,1	1,94	1,732	29,5	20	<b>369</b>	1,92	1,600	32,2	<b>329</b>	39	10,7
1 п	72	0,7	1,94	1,804	29,3	19	<b>379</b>	1,71	1,804	29,1	<b>381</b>	1	0,3
1 п	327	0,1	1,88	1,963	27,4	22	<b>490</b>	1,82	1,881	28,4	<b>476</b>	14	2,8
1 п	334	0,1	1,88	1,664	30,6	20	<b>343</b>	1,81	1,804	29,6	<b>401</b>	58	17,0
1 с	182	0,5	1,82	2,144	24,6	22	<b>599</b>	1,86	2,1445	24,8	<b>595</b>	3	0,5
2п	44	0,2	1,96	2,050	26,2	24	<b>583</b>	1,92	2,0503	25,91	<b>639</b>	55	9,4
2с	44	2,0	1,81	2,25	23,7	22	<b>677</b>	1,79	2,246	23,7	<b>647</b>	30	4,4
2с	44	2,5	1,86	2,145	24,9	23	<b>660</b>	1,92	2,0503	25,9	<b>615</b>	45	6,8
2р	44	1,5	1,76	2,356	22,8	20	<b>657</b>	1,79	2,246	23,7	<b>637</b>	20	3,0
2р	182	1,0	1,79	2,356	23,2	21	<b>668</b>	1,86	2,246	24,4	<b>641</b>	27	4,0

Теоретическими исследованиями установлено, что абсолютная погрешность при расчетах несущей способности земляного полотна  $P_{кр}$  автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб составляет от 1,000 до 58,000, а относительная от 0,3 до 17 % в 4% случаев. В остальных 96% случаев относительная погрешность при расчетах несущей способности земляного полотна  $P_{кр}$  автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб составила более 20%.

При расчетах плотности грунта  $\rho$  в 112 случаях абсолютная погрешность составила от 0,084 до 0,251, а относительная погрешность соответственно от 0 до 13%., а в 104 случаях абсолютная погрешность составила от 1,720 до 81,940, а относительная погрешность соответственно более 20%.

Аналогичные формулы получены для коэффициента сцепления  $C$  и угла внутреннего трения  $\varphi$ .

При расчетах угла внутреннего трения  $\varphi$  в 126 случаях абсолютная погрешность составила от 0,083 до 2,883, а относительная погрешность соответственно от 0 до 10%., а в 114 случаях абсолютная погрешность составила от 2,494 до 26440,125, а относительная погрешность соответственно более 20%.

При расчетах удельного сцепления  $C$  в 10 случаях абсолютная погрешность составила от 0,000 до 0,002, а относительная погрешность соответственно от 0 до 8%., а в 98 случаях абсолютная погрешность составила от 0,004 до 814,906, а относительная погрешность соответственно более 20%.

Тогда, выбрав функцию из 4 уравнений, подставляем в уравнение несущей способности  $P_{кр}$  автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб и производим вычисления.

Проверку сходимости экспериментальных и теоретических значений выполним следующим образом.

Для ИГЭ-1п на 72 км а/д «К-17р» получены следующие зависимости для плотности грунта  $\rho$ :

- экспоненциальная зависимость:  $y = 0,0708e^{2,4585x}$  ;
- логарифмическая зависимость:  $y = 26,043 \ln(x) - 9,2286$  ;
- степенная зависимость  $y = 0,4237x^{4,4915}$  ;
- прямолинейная зависимость  $y = 14,297x - 19,678$  , где  $y = E$ ;  $x = \rho$ .

Таким образом, по формулам (3.3-3.5) рассчитаем плотность грунта  $\rho$ :

- для экспоненциальной зависимости:  $E = 0,0708e^{2,4585\rho}$  ;  $\rho = 0,32$  г/см<sup>3</sup> ;
- для логарифмической зависимости:  $E = 26,043 \ln(\rho) - 9,2286$  ;  $\rho = 1,92$  г/см<sup>3</sup> ;
- для степенной зависимости:  $E = 0,4237\rho^{4,4915}$  ;  $\rho = 17,46$  г/см<sup>3</sup> ;
- для прямолинейной зависимости:  $E = 14,297\rho - 19,678$  ;  $\rho = 1,71$  г/см<sup>3</sup> .

Сравним с экспериментальными значениями  $\rho$  и вычислим **абсолютную погрешность**:

- для экспоненциальной зависимости:  $\Delta\rho = 2,257$  ;
- для логарифмической зависимости:  $\Delta\rho = 0,024$  ;
- для степенной зависимости:  $\Delta\rho = 15,646$  ;
- для прямолинейной зависимости:  $\Delta\rho = 0,048$  .

**Вычислим относительную погрешность:**

- для экспоненциальной зависимости:  $\gamma_{относ} = 116\%$  ;

- для логарифмической зависимости:  $\gamma_{\text{относ}} = 1\%$ ;
- для степенной зависимости:  $\gamma_{\text{относ}} = 864\%$ ;
- для прямолинейной зависимости:  $\gamma_{\text{относ}} = 3\%$ .

Наименьшая погрешность получается по прямолинейному и логарифмическому закону.

Аналогично вычисляем угол внутреннего трения  $\varphi$ . Получаем:

- 1) для экспоненциальной зависимости:  $E = 1,0604e^{0,0628\varphi}$ ;  $\varphi = 561,19$  град.;
- 2) для логарифмической зависимости:  $E = 9,6747 \ln(\varphi) - 25,89$ ;  
 $\varphi = 32,20$  град.;
- 3) для степенной зависимости:  $E = 0,0218\varphi^{1,6964}$ ;  $\varphi = 29,07$  град.;
- 4) для прямолинейной зависимости:  $E = 0,3595\varphi - 3,783$ ;  $\varphi = 23,88$  град.

Сравним с экспериментальными значениями  $\varphi$  и вычислим **абсолютную погрешность**:

- для экспоненциальной зависимости:  $\Delta\rho = 529,693$ ;
- для логарифмической зависимости:  $\Delta\rho = 0,899$ ;
- для степенной зависимости:  $\Delta\rho = 1,466$ ;
- для прямолинейной зависимости:  $\Delta\rho = 0,376$ .

**Вычисляем относительную погрешность:**

- для экспоненциальной зависимости:  $\gamma_{\text{относ}} = 1682\%$ ;
- для логарифмической зависимости:  $\gamma_{\text{относ}} = 3\%$ ;
- для степенной зависимости:  $\gamma_{\text{относ}} = 5\%$ ;
- для прямолинейной зависимости:  $\gamma_{\text{относ}} = 2\%$ .

Наименьшая погрешность получается по прямолинейному и логарифмическому закону.

Подставив полученные значения в формулу (3.1), выразим: **прогнозируемую несущую способность** основной площадки земляного полотна:

- для логарифмической зависимости:  $P_{кр пр} = 329$  кПа;
- для прямолинейной зависимости:  $P_{кр пр} = 381$  кПа.

**Абсолютная погрешность:**

$$\Delta P_{кр} = P_{кр пр} - P_{кр э} \quad (3.15)$$

- для логарифмической зависимости:  $\Delta P_{кр пр} = 39$ ;

- для прямолинейной зависимости:  $\Delta P_{кр пр} = 1$ .

**Относительная погрешность равна:**

$$\gamma_{относ} = (\Delta P_{кр пр} / P_{кр э}) * 100\% \quad (3.16)$$

для логарифмической зависимости:  $\gamma_{относ} = 10,7\%$ ;

для прямолинейной зависимости:  $\gamma_{относ} = 0,3\%$ .

Таким образом, несущая способность земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб может быть определена по расчетным значениям удельного сцепления  $C_p$ , угла внутреннего трения  $\varphi_p$  статически связанным с модулем деформации  $E_p$ , определяемым экспериментально для заданного ИГЭ или по экспериментально установленному удельному сцеплению  $C_p$  и расчетным значениям угла внутреннего трения  $\varphi_p$  и модуля деформации  $E_p$ , причем наиболее точный расчет происходит по логарифмической и прямолинейной зависимостям. Полученные данные сведены в приложение Ж к диссертации.

### **3.7 Методика мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог**

Техническое состояние автомобильной дороги согласно ОДН 218.4.039-2018 оценивается обобщенным показателем качества и состояния дороги, расчет которого определяется состоянием дорожного покрытия, коэффициентом сцепления, прочностью и рядом других показателей [112].

При нарушении ровности дорожных покрытий, выходящих за нормативные допуски, необходим ремонт данного участка дороги. Для разработки проекта его ремонта требуется определение модуля деформации и физико-механических характеристик грунтов. Их получение известными методиками требует проведения большого объема буровых работ и исследований в лабораторных условиях, выполнение указанных мероприятий трудоемко, занимает значительное время и требует существенных затрат. Их сокращение достигается применением следующей поэтапной методики.

**Этап 1.** Проходка шурфов по глубине и отбор проб грунтов земляного полотна, их анализ на предмет установления типа ИГЭ и оценка степени совпадения с приведенными в настоящем исследовании.

**Этап 2.** По выбранному типу ИГЭ из таблиц 3.13-3.24 выбираются регрессионные зависимости модуля деформации и по рекомендованным уравнениям регрессий рассчитываются модуль деформации и физико-механические характеристики грунтов.

**Этап 3.** Производится разработка реконструктивных мероприятий. При необходимости более точных расчетов этапом 2 предусматриваются лабораторные определения одной их характеристик грунтов:  $\rho$ ,  $\varphi$ , или  $C$ .

Выбираются уравнения регрессии, приведенные в таблице 3.26, и рассчитывается модуль деформации и другие показатели грунтов. Так, если в

лабораторных испытаниях получена плотность  $\rho$ , то рассчитывают  $\varphi$  и  $C$ . Если получен  $\varphi$  или  $C$ , то рассчитывают  $E$  и  $\rho$ .

Далее оценивают целесообразность применения усиления земляного полотна автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб.

### **3.8 Оптимизация инвестиций на содержание автомобильных дорог регионального и межмуниципального значения и искусственных сооружений на них**

Подрядные работы по содержанию автомобильных дорог регионального и межмуниципального значения и искусственных сооружений на них выполняются в весенне-летний и осенне-зимний периоды на всем протяжении дорог, обеспечивая при этом уровень их содержания, не ниже допустимого.

Национальным проектом «Безопасные и качественные автомобильные дороги» предусматривается к 2024 г. поднять параметры допустимого уровня до нормативного. Поэтому потребуются дополнительные инвестиции на капитальный ремонт и содержание автомобильных дорог и искусственных сооружений.

Существующая контрактная система предусматривает порядок выполнения работ, включающий состав работ, календарный график реализации этапов, источник финансирования, сроки начала и окончания.

В плане задания включаются работы по устранению дефектов, выявленных в периоде, предшествующему отчетному в виде повреждений проезжей части, ямочного ремонта, необходимые для обеспечения безопасности дорожного движения.

Стоимость выполненных работ для автомобильных дорог определяется по нормативам, исходя из фактического уровня содержания автомобильных дорог, установленного в ходе приемки работ.

Методическими рекомендациями по проведению работ по сбору, анализу, мониторингу, актуализации и определению стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, ремонта и содержания 1 км

автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального, межмуниципального и местного значения предусмотрена подготовка аналитических материалов по стоимости работ.

Сбор информации осуществляется в целях дальнейшего использования сведений для работ по сравнительному анализу. Мониторинг данных заключается в постоянном систематическом наблюдении и упорядочении информации, необходимой для подготовки аналитических материалов и выполнении исследований в области ценообразования в строительстве, реконструкции, капитальном ремонте, ремонте и содержании на 1 км автомобильных дорог.

Анализ полученных данных позволяет выявить участки автомобильных дорог в местах расположения водопропускных труб, на которых необходим тот или иной вид ремонта.

Мониторинг несущей способности основной площадки земляного полотна позволяет, с одной стороны, обосновать достаточность мероприятий по ремонту и содержанию, не прибегая к капитальному ремонту, с другой стороны, обосновать необходимость капитального ремонта, не выполнение которого приведет к потере качества и безопасности движения.

Предварительное удорожание работ за счет проведения мониторинга несущей способности основной площадки земляного полотна компенсируется оптимизацией плана работ на последующий календарный год.

Автором предлагается следующий подход к оптимизации месячных финансовых потоков по критерию минимизации сроков ремонтных работ. Его суть сводится к аппроксимации прямых затрат логистической функцией:

$$Y(t) = \frac{K}{1 + b \cdot e^{-at}}, \quad (3.17)$$

где  $Y$  – сумма прямых затрат по факту предшествующего года с включением дополнительных затрат на проведение мониторинга;  $b$  – параметр, учитывающий производительность механизированных комплексов и выработки бригад;  $a$  – параметр обеспечения технологических процессов содержания и ремонта

автомобильных дорог материальными ресурсами;  $K$  – годовые инвестиции на содержание и проведение ремонтов;  $t$  – время.

Аппроксимация осуществляется по методу наименьших квадратов, для чего производится преобразование формулы (3.18) и определения параметров  $b$  и  $a$ :

$$Y' = \ln(k/Y - 1) = \ln b - at \quad (3.18)$$

$$\ln b = \frac{\sum Y' \cdot \sum t^2 - \sum t \cdot \sum (Y' \cdot t)}{n \sum t^2 - (\sum t)^2} \quad (3.19)$$

$$a = \frac{n \sum (Y' \cdot t) - \sum t \cdot \sum Y'}{n \sum t^2 - (\sum t)^2} \quad (3.20)$$

Здесь суммирование производится от 1 до  $n$ , где  $n$  – количество временных периодов (1 день, 1 месяц и т.д.).

Автором выполнены расчеты по одному из районов НСО, пересекаемого а/д «К-17р» (таблицы 3.28, 3.29) по периодам времени, равным 1 месяцу, на общий срок 1 год. Исходные данные за 2018 г. приведены в таблице 3.29.

Таблица 3.28 – Исходные данные за 2018 г автомобильной дороги по Кочковскому району НСО

<b>Кочковский район</b>	<b>Финансирование, руб.</b>	<b>Всего, руб.</b>	<b>Нарастающим итогом, руб.</b>
<b>Фактич. прямые затраты</b>	73632400,00	73632400,00	
<b>План. прямые затраты</b>	73632400,00	73632400,00	
<b>Сроки выполнения 01-12.2018</b>			
15.04.2018	5493278,92	5493278,92	18934963,86
15.05.2018	6778609,62	6778609,62	25713573,48
15.06.2018	8648570,83	8648570,83	34362144,31
15.07.2018	8648570,83	8648570,83	43010715,14
15.08.2018	6544864,41	6544864,41	49555579,55
15.09.2018	5142393,43	5142393,43	54697972,98
15.10.2018	5376138,66	5376138,66	60074111,64
15.11.2018	5493278,92	5493278,92	65567390,56
15.12.2018	5376673,21	5376673,21	70944063,77
31.12.2018	2688336,23	2688336,23	73632400,00

Таблица 3.29 – Значения показателей по аппроксимации за 2018 г автомобильной дороги по Кочковскому району НСО

Периоды	Значения до аппроксимации	$t^2$	$(k/Y-l)$	$Y_1$	$Y_1 \cdot x \cdot t$	Значения после аппроксимации
15	2688337,01	225	26,38957196	3,27296893	49,09453396	6502109,61
45	8065011,03	2025	8,129857321	2,09554337	94,29945182	9437224,65
75	13441684,94	5625	4,477914438	1,49915741	112,4368058	13457774,15
105	18934963,86	11025	2,888700319	1,06080668	111,3847019	18742288,39
135	25713573,48	18225	1,863561537	0,62248946	84,03607734	25323316,72
165	34362144,31	27225	1,14283484	0,13351188	22,02945976	32989707,35
195	43010715,14	38025	0,711954795	-0,3397409	-66,24946778	41255715,22
225	49555579,55	50625	0,485854886	-0,7218453	-162,4151899	49457103,34
255	54697972,98	65025	0,34616323	-1,0608449	-270,515437	56949772,85
285	60074111,64	81225	0,225692698	-1,4885809	-424,2455698	63296160,63
315	65567390,56	99225	0,123003361	-2,0955436	-660,0962325	68336110,31
345	70944063,77	119025	0,037893745	-3,2729692	-1129,174385	72137581,91
360	73632400,00	129600	0	0	0	73632400,00
<b>2520</b>	<b>520687948,27</b>	<b>647100</b>	<b>46,82300313</b>	<b>-0,29504707</b>	<b>-2239,415251</b>	<b>536887324,26</b>

Аппроксимация осуществляется по шагам до заданной степени расхождения исходных данных и аппроксимацией кривой.

График значений показателей по аппроксимации автомобильной дороги по Кочковскому району НСО за 2018 г приведен на рисунке 3.4.

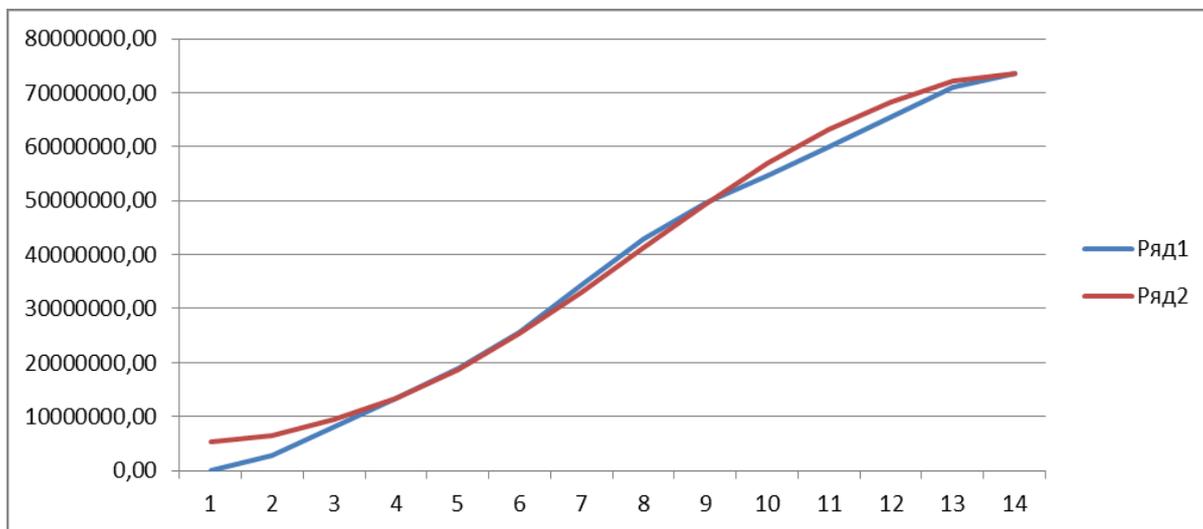


Рисунок 3.4 – График значений показателей по аппроксимации автомобильной дороги по Кочковскому району НСО за 2018 г

Аналогичные расчеты выполнены при оптимизации плана работ за 2019 г. и приведены в таблицах 3.30, 3.31, на графике (рисунок 3.4), логистическая функция которого представлена выражением:

$$Y = \frac{80950444,21}{1 + 14,0744 \cdot \exp(00,01376 \cdot t)}, \quad (3.21)$$

где  $t$  обозначает период (графически с 15.05-15.02).

Экономический эффект достигается за счет выполнения работы в заданные сроки весенне-летний и осенне-зимний периоды, что обеспечивает их качество.

### Выводы по главе 3

1. В условиях обеспечения нормативных требований к ТЭС АД мониторинг и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб является объективно необходимым условием получения достоверных данных о техническом состоянии автомобильных дорог.

2. Качество мониторинга отдельных характеристик грунтов земляного полотна достигается натурными и лабораторными исследованиями, требующими значительных ресурсных и финансовых затрат. Поэтому с достаточной степенью точности они могут быть получены корреляционно-регрессионным анализом физико-механических характеристик грунтов земляного полотна.

3. Анализом результатов проведенных исследований установлено, что в 80% случаев полученные данные соответствуют нормативным, что является основанием их использования для прогнозирования характеристик грунтов земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб с аналогичными ИГЭ.

4. Получены регрессионные зависимости между парами характеристик грунтов земляного полотна в зонах расположения водопропускных труб: модулем деформации  $E$  и плотностью грунта  $\rho$ ; модулем деформации  $E$  и углом внутреннего трения  $\varphi$ ; модулем деформации  $E$  и удельным сцеплением  $C$ , коэффициент детерминации для которых составил 0,95-0,97.

5. Получены многофакторные модели, устанавливающие связь между модулем деформации  $E$  и плотностью грунта  $\rho$ , углом внутреннего трения  $\varphi$ , удельным сцеплением  $C$  и модулем деформации  $E$ .

6. Установлены ИГЭ на участках а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб интегрированные в 6 типов, для каждого из которых определены средние значения показателей, средне-квадратические отклонения и вариации для экспоненциальной, логарифмической, степенной и линейной зависимостей, позволяющие положить в основу их прогнозирования для аналогичных ИГЭ.

7. Предложена методика мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог, позволяющая осуществлять ежегодный контроль качества и последующее планирование содержания, ремонта и капитального ремонта автомобильных дорог.

8. Предложен подход к оптимизации инвестиций на содержание и ремонт автомобильных дорог, позволяющий сократить сроки и уменьшить непроизводительные затраты.

## **ГЛАВА 4. МОНИТОРИНГ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ КАК ОСНОВА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УКРЕПЛЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В МЕСТАХ ДЕФОРМАЦИЙ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

### **4.1 Обоснование принятия решений об укреплении земляного полотна в местах устройства водопропускных труб**

Разработанная в главе 3 методика мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог позволяет выявить степень деформации земляного полотна для принятия решений для продолжения эксплуатации, ремонта или иных реконструктивных мероприятий.

Анализ научно-технической литературы позволяет сделать вывод о том, что оптимальными с экономической точки зрения являются мероприятия, реализация которых не требует вскрытия дорожного покрытия, и, соответственно, ограничения движения.

Недостаточные значения физико-механических характеристик грунтов межтрубного пространства, образование полостей разуплотнённого грунта требуют принятия срочных мер.

В ходе исследований определены минимальные и максимальные значения основных физико-механических характеристик грунтов земляного полотна и дополнены нормативными значениями показателей, а именно: влажности грунтов  $W$  от 0,07 до 0,26; коэффициента пористости  $e$  от 0,570 до 0,880; плотности грунтов  $\rho$  от 1,58 до 1,99 г/см<sup>3</sup>; плотности частиц грунта от 2,69 до 2,74 г/см<sup>3</sup>; плотности сухого грунта от 1,44 до 1,71 г/см<sup>3</sup>; угла внутреннего трения  $\varphi$  от 22,1 до 31,4 град.; удельного сцепления  $C$  от 0,010 до 0,032 МПа; модуля деформации  $E$  от 3,0 до 22,0 МПа (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Минимальные и максимальные значения физико-механических характеристик грунтов земляного полотна по ИГЭ

ИГЭ	$W$			$e$			$\rho$ , г/см <sup>3</sup>			$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>		
	min	max	оптим.	min	max	норм.	min	max	норм.	min	max	норм.
<b>1п</b>	0,07	0,25	0,11-0,15	0,570	0,698	0,500-0,700	1,75	1,98	1,80	2,69	2,70	2,68
<b>1с</b>	0,09	0,19	0,09-0,14	0,703	0,793	0,500-0,700	1,70	1,84	1,80	2,69	2,70	2,68
<b>1р</b>	0,09	0,19	0,10-0,18	0,805	0,875	0,500-0,700	1,58	1,75	1,80	2,69	2,70	2,68
<b>2п</b>	0,11	0,26	0,11-0,15	0,580	0,720	0,500-1,000	1,78	1,99	1,82	2,69	2,73	2,67
<b>2с</b>	0,12	0,25	0,17-0,21	0,700	0,800	0,500-1,000	1,74	1,96	1,82	2,69	2,74	2,67
<b>2р</b>	0,15	0,23	0,15-0,23	0,800	0,880	0,500-1,000	1,67	1,85	1,82	2,69	2,73	2,67

Продолжение таблицы 4.1 – Минимальные и максимальные значения физико-механических характеристик грунтов земляного полотна по ИГЭ

ИГЭ	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>			$\varphi$ , град.			$C$ , МПа		
	min	max	норм.	min	max	норм.	min	max	норм.
<b>1п</b>	1,58	1,71	1,63	24,8	31,4	27,0	0,015	0,029	0,015
<b>1с</b>	1,50	1,58	1,63	24,6	29,2	24,0	0,010	0,020	0,013
<b>1р</b>	1,44	1,49	1,63	22,5	27,2	24,0	0,011	0,019	0,013
<b>2п</b>	1,57	1,71	1,65	24,2	26,5	24,0	0,019	0,032	0,031
<b>2с</b>	1,51	1,59	1,65	23,0	26,2	23,0	0,022	0,030	0,025
<b>2р</b>	1,44	1,50	1,65	22,1	23,9	22,0	0,019	0,028	0,022

Анализ приведенных характеристик в таблице 4.1 позволяет выявить проблемные места расположения водопропускных труб по ИГЭ, в которых максимальное значение показателя превышает нормативное:

- $W$  – 1п, 1с, 1р, 2п, 2с, 2р;
- $e$  – 1с, 1р;
- $\rho$  – 1п, 1с, 2п, 2с, 2р;
- $\rho_s$  – 1п, 1с, 1р, 2п, 2с, 2р;
- $\rho_d$  – 1п, 2п;
- $\varphi$  – 1п, 1с, 1р, 2п, 2с, 2р;
- $C$  – 1п, 1с, 1р, 2п, 2с, 2р.

Для дальнейшего анализа данные значения физико-механических характеристик грунтов земляного полотна представим в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Анализ приведенных физико-механических характеристик грунтов земляного полотна

ИГЭ	$W$	$e$	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{s_s}$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d_s}$ , г/см <sup>3</sup>	$\varphi_s$ , град.	$C_s$ , МПа	Всего превышение	Приоритет
1п	x	-	x	x	x	x	x	6	1
1с	x	x	x	x	-	x	x	6	1
1р	x	x	-	x	-	x	x	5	2
2п	x	-	x	x	x	x	x	6	1
2с	x	-	x	x	-	x	x	5	2
2р	x	-	x	x	-	x	x	5	2

x обозначены значения характеристик по ИГЭ, превышающие нормативные значения.

По данным главы 2 определено количество участков в местах расположения водопропускных труб, характеризующихся превышением нормативных значений физико-механических характеристик грунтов в соответствии со значимостью каждого из них, влияющего на качество автомобильной дороги. Экспертным путем в условиях ограниченных финансовых и материальных ресурсов устанавливается приоритет целесообразности или необходимости ремонта.

Исследования, выполненные в настоящей работе, позволили установить, что в проблемных местах межтрубного пространства преобладают глинистые грунты. Большая протяженность автомобильных дорог, необходимость выполнения реконструктивных мероприятий на существенных расстояниях от производственных баз требуют применения распространенных строительных материалов.

Для каждой водопропускной трубы и прилегающих участков земляного полотна осуществляется подбор технологии ремонта с учетом следующих условий:

- возможность выполнения работ без вскрытия дорожного полотна;
- возможность выполнения работ без или с минимальным ограничением движения;
- возможность усиления глинистых грунтов на глубине без проходки выработок;
- использование распространенных строительных материалов.

Под указанные условия подходит инъецирование твердеющих растворов. Нагнетание твердеющего раствора осуществляется под давлением через заранее

погруженные на глубину от 3 до 15 м инъекторов. Инъектора представляют собой сборные металлические полые трубы внешним диаметром около 40 мм и длиной каждой секции 1 м. Погружение их может осуществляться под углом вне дорожной одежды. В случае невозможности в дорожной одежде просверливаются отверстия нужного диаметра с дальнейшим бетонированием. Анализ научной литературы показывает, что метод напорного инъецирования (напорных инъекций) в отличие от цементации, используется именно для усиления глинистых грунтов. Самым распространенным вяжущим является цемент, который и используется при приготовлении твердеющего раствора. Кроме того, при приготовлении инъецируемого раствора в качестве заполнителя используется местные глинистые грунты, чаще всего песчанистые супеси. Могут быть использованы и другие местные грунты, но при условии подбора рецептуры и предварительного опытного инъецирования. Таким образом, все критерии, обозначенные выше, выполняются в полном объеме.

Метод усиления глинистых грунтов на глубине напорным инъецированием является достаточно известным и успешно апробирован на многих объектах промышленной, гражданской, транспортной инфраструктуры. В то же время в научно-технической литературе отсутствует способ, позволяющий выполнить усиление затрубного пространства водопропускных труб, рассмотренных в настоящей диссертации.

#### **4.2 Способ укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб**

В результате диссертационного исследования разработан способ [100], заключающийся в повышении эффективности укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб путем устранения возникших и предотвращения появления новых деформаций дорожной одежды.

Способ может быть использован при реконструкции, ремонте земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб. Способ укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб включает бурение скважин в дорожной одежде, заполнение их сыпучим строительным нерудным материалом, втапливание его в стенки скважины посредством раскатчика, подачу вяжущего компонента с помощью иньекторов, бурение отверстий между скважинами и установку в них иньекторов и заполнение вяжущим компонентом. Крайние скважины по откосам земляного полотна выполняют ниже его основания, а скважины вдоль водопропускной трубы выполняют на глубину превышающую высоту дорожной одежды. Существенно повышается эффективность укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб за счет образования пространственной структуры, повышающей сопротивляемость грунтового массива сжимающим и сдвигающим нагрузкам.

На участках автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб возникают деформации в виде осадки грунтов земляного полотна под воздействием временных и постоянных нагрузок, что приводит к деформациям дорожной одежды. Появление и развитие деформаций в рабочей зоне земляного полотна оказывает существенное влияние на ТЭС АД, снижая их показатели. Для приведения показателей ТЭС АД в нормативное состояние автором предложен способ укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб, схема которого представлена на рисунке 4.1.

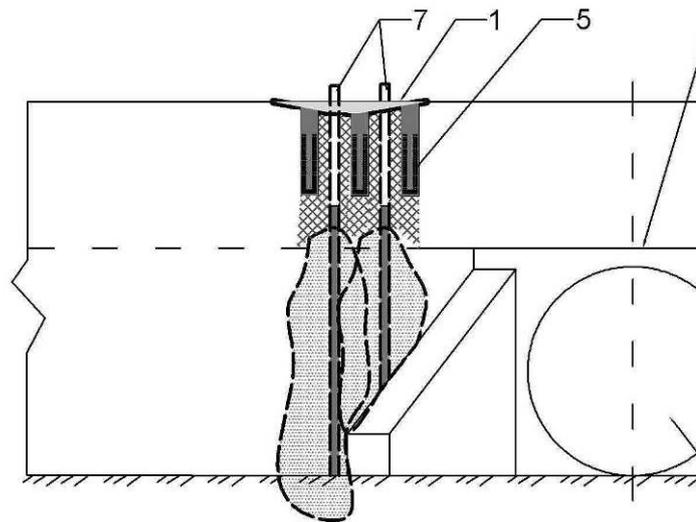


Рисунок 4.1 – Схема укрепления грунта

Схема расположения скважин и инъекторов (вид сверху) изображена на рисунке 4.2.

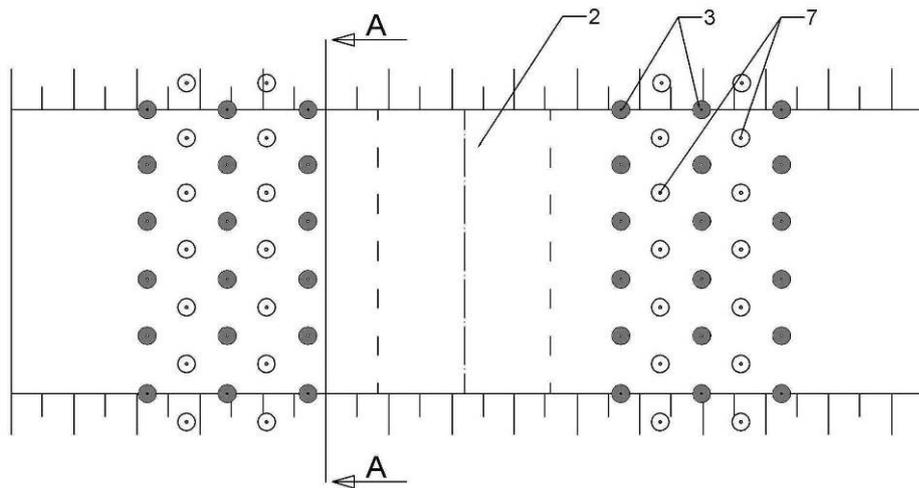


Рисунок 4.2 – Схема расположения скважин и инъекторов

Схема насыпи автомобильной дороги в разрезе А-А приведена на рисунке 4.3.

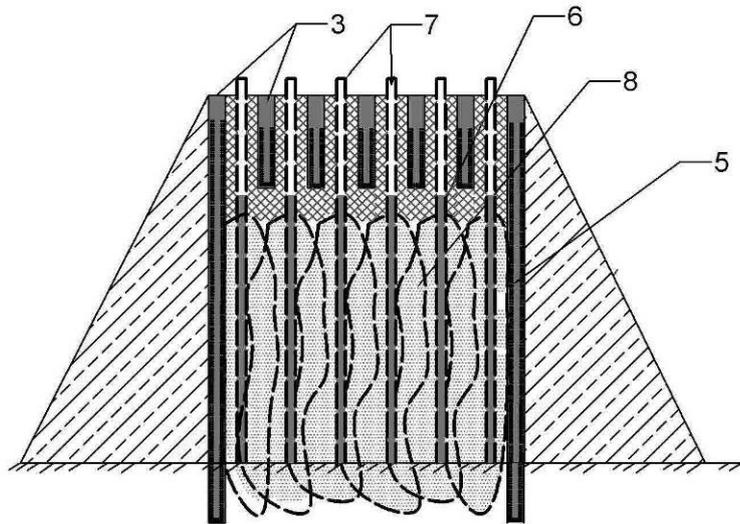


Рисунок 4.3 – Схема насыпи автомобильной дороги в разрезе А-А

Реализация предлагаемого способа укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб осуществляется в следующей последовательности.

На участок автомобильной дороги в местах деформаций 1 дорожной одежды вблизи водопропускной трубы 2 устанавливают буровую установку, бурят скважины 3 в дорожной одежде под рабочий орган раскатчика скважин, причем скважины по откосам земляного полотна бурят на глубину не менее 2 м ниже основания водопропускной трубы, а вдоль водопропускной трубы на высоту дорожной одежды до звена оголовка 4 водопропускной трубы. Затем в образованные скважины 3 производят внедрение раскатчика, после его извлечения скважины заполняют сыпучим строительным нерудным материалом 5, затем раскатчиком осуществляют вдавливание его в стенки скважин. Затем заполняют скважины вяжущим компонентом 6. После этого бурят отверстия в дорожной одежде между скважинами и производят погружение инъекторов 7, с помощью которых осуществляют нагнетание вяжущего компонента, образуя перекрещивающиеся зоны затвердевшего раствора 8, при этом происходит уплотнение грунта. После этого инъекторы извлекаются или оставляются в теле насыпи.

Использование предложенного способа укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб позволяет значительно повысить качество и эффективность проводимых работ за счет образования пространственной структуры, повышающей сопротивляемость грунтового массива сжимающим и сдвигающим нагрузкам. Для реализации способа укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб не требуется полного закрытия автомобильной дороги, возможна остановка отдельных участков (полос движения) на временной промежуток не более одного светового дня, что важно для дорог с большой загруженностью движения.

#### **Выводы по главе 4**

Экспериментальные и теоретические исследования работы усиленного основания позволили оценить эффективность предложенного способа. Установлено, что применение метода напорной инъекции при усилении позволяет повысить модуль деформации земляного полотна более чем в 2,5 раза в сравнении с исходными значениями при варьировании различными технологическими параметрами усиления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение проблемы обеспечения безопасного и надежного движения при эффективной эксплуатационной работе автомобильной дороги в условиях рыночной экономики представляет собой ведущий замысел, цель и конструктивный принцип научно-проектного, технического, организационно-технологического и ресурсного её решения.

1. Количественная оценка эксплуатационных параметров дорожных одежд, выполненная в местах устройства водопропускных труб, показала, что при приближении к трубе увеличивается количество дефектов и деформаций. А относительно точек, расположенных на 30-метровом удалении до 12% не соответствует нормативному значению. При этом глубина просвета под трехметровой рейкой при измерении продольной ровности между надтрубной точкой и удаленными на 0,5 м. возрастает до 35%, при удалении на 1 м. и более глубина просвета уменьшается.

2. Исследования характеристик грунтов земляного полотна проведены в рамках 6-ти выделенных ИГЭ. Естественная влажность грунтов колеблется от 0,04 до 0,32, коэффициент пористости от 0,585 до 0,938. Плотность грунта составляет от 1,72 до 1,99 г/см<sup>3</sup> на участках, удаленных от водопропускных труб и от 1,70 до 1,97 г/см<sup>3</sup> в местах устройства водопропускных труб, что свидетельствует о наличии разуплотненных зон, находящихся в затрубном пространстве водопропускных труб. Динамическим зондированием обнаружены резкие скачки и пики условного динамического сопротивления  $R_d$  в интервалах глубин от 0,5 до 2,0 м. в ТДЗ № 1 и ТДЗ № 2, расположенных в пазухах водопропускных труб, при этом условное динамическое сопротивление грунтов в среднем составляет 2 МПа. В ТДЗ № 3 и ТДЗ № 4 на этих же глубинах динамическое сопротивление грунтов в среднем составляет 5,2 МПа, что подтверждает вывод о наличии разуплотненных зон в затрубном пространстве водопропускных труб рассматриваемого участка при высоте насыпей более 2,5 м.

3. Получены корреляционные зависимости между: модулем деформации  $E$  и плотностью грунта  $\rho$ ; модулем деформации  $E$  и углом внутреннего трения  $\varphi$ ; модулем деформации  $E$  и удельным сцеплением  $C$ , коэффициент детерминации для которых составил 0,95-0,9, а также построены многофакторные модели, устанавливающие связь между модулем деформации  $E$  и приведенными выше характеристиками грунтов земляного полотна.

4. Предложена методика мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог, позволяющая осуществлять ежегодный контроль качества автомобильных дорог и подход к оптимизации инвестиций на содержание автомобильных дорог регионального и межмуниципального значения и искусственных сооружений на них.

5. Разработан способ укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб на основе мониторинга физико-механических характеристик грунтов, позволяющий расширить границы применения метода напорного инъецирования для создания усиленных зон земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб, защищенный патентом Российской Федерации.

6. Дальнейшие исследования направлены на разработку инновационных технических и организационно-технологических средств и методов реализации программы комплексного развития транспортной инфраструктуры Новосибирской агломерации.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Александрова, Н. П. Совершенствование методов экспресс оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог / Н. П. Александрова, Т. В. Семенова, К. Ю. Стригун // Вестник СибАДИ. – 2015. – № 4 (44). – С. 46-57.
2. Афиногенов, А. О. Обоснование региональных норм степени уплотнения глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог (на примере районов Западной Сибири): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Афиногенов Алексей Олегович. – Томск, 2011. – 188 с.
3. Афиногенов, О. П. Влияние степени уплотнения грунтов на величину их модуля упругости / О. П. Афиногенов, А. О. Афиногенов, А. А. Серякова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 3(103). – С. 110-114.
4. Афиногенов, О. П. Обеспечение качества земляного полотна автомобильных дорог на основе принципов регионального районирования / О. П. Афиногенов, В. А. Шаламанов, А. А. Серякова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 3 (103). – С. 106-110.
5. Афиногенов, О. П. Региональные нормы степени уплотнения глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог / О. П. Афиногенов, А. О. Афиногенов // Вестник Кыргызского государственного университета Строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исакова. – 2016. – № 1 (51) – С. 29-33.
6. Баландина, Т. В. Современные способы ямочного ремонта автомобильных дорог и городских улиц с асфальтобетонным покрытием / Т. В. Баландина, А. В. Рудых // Молодежный Вестник Иркутского национального исследовательского технического университета. – 2016. – № 2. – С. 2.
7. Барсук, М. Н. Методика определения геометрических параметров при проведении паспортизации автомобильных дорог / М. Н. Барсук // Вестник

Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2010. – № 22. – С. 189-193.

8. Барсук, М. Н. Совершенствование методов и средств оценки технического состояния автомобильных дорог по геометрическим и эксплуатационным параметрам : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Барсук Марина Николаевна. – Новосибирск, 2013. – 23 с.

9. Батраков, О.Т. Теоретические основы уплотнения грунтов земляного полотна и слоев дорожных одежд катками на пневматических колесах. дис. ... докт. техн. наук : 05.23.14 / Батраков Олег Трифионович. - Харьков, 1978 - 320 с.

10. Бендер, О. А. Агентная модель прогнозирования рисков в системе контроля качества ремонта автомобильных дорог / О. А. Бендер, В. Д. Верескун, В. С. Воробьев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 1 (49). – С. 103-108.

11. Бендер, О. А. Оценка и прогнозирование рисков в системе инструментального контроля транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Бендер Оксана Анатольевна. – Новосибирск, 2013. – 140 с.

12. Бройд, И. И. Струйная геотехнология / И. И Бройд: учеб. пособие по направлению 653500 «Строительство». – М.:АСВ, 2004. – 441 с.

13. Варламова, Т. В. К вопросу обеспечения надежности железобетонных водопропускных труб / Т. В. Варламова, А. Д. Шаклина // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – № 5 (19). – С. 39-43.

14. Васильев, А. Е. Существующие методы оценки прочности нежестких дорожных одежд и грунта земляного полотна / А. Е. Васильев // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2013. – № 1. – С. 418-424.

15. Васильев, А. П. К обоснованию протяжения автомобильных дорог, подлежащих реконструкции, модернизации, капитальному ремонту и ремонту в субъектах Федерации / Васильев А. П., Ефименко В. Н. // Вестник ТГАСУ. – № 6 (47). – 2014. – С. 157-167.

16. Васильев, Ю. М. Влияние степени уплотнения дорожных насыпей на величину их осадки и ровность покрытия / Ю. М. Васильев // Сб. тр. СоюздорНИИ. – 1975. – Выпуск 84. – С. 55-60.
17. Васильев, Ю. М. Об устойчивости грунтов естественных оснований насыпи / Ю. М. Васильев // Сб. тр. СоюздорНИИ. – 1968. – Выпуск 13. – С. 100-115.
18. Васильев, Ю. М. Повышение стабильности земляного полотна / Ю. М. Васильев // Автомобильные дороги. – 1977. – № 6. – С. 6-8.
19. Васильев, Ю. М. Стабильность земляного полотна - важный фактор обеспечения работоспособности автомобильной дороги / Ю. М. Васильев // Тез. док. УП Всесоюзное совещание дорожников. – М. – 1981. – С.26-28.
20. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1971. – 416 с.
21. Воробьев, В. С. Концепция повышения эффективности содержания и реконструкции инженерных сооружений автомобильных дорог / В. С. Воробьев, О. А. Бендер, Е. Л. Карелина, К. В. Каталымова // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 2 (45). – С. 11-18.
22. Воробьев, В. С. Оценка надежности дорожных одежд автомобильных дорог по результатам диагностики / В. С. Воробьев, О. А. Бендер // Политранспортные системы: материалы IX Международной научно-технической конференции. Сибирский государственный университет путей сообщения. – 2017. – С. 172-176.
23. Воробьев, В. С. Статистические модели физико-механических характеристик грунтов автомобильных дорог в зоне расположения водопропускных труб / В. С. Воробьев, Е. Л. Карелина, О. А. Бендер, К. В. Каталымова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2018. – Т 15. – № 4 (62). – С. 560-573.
24. Воробьев, В. С. Влияние физико-механических характеристик грунта земляного полотна на образование деформаций дорожной одежды / В. С. Воробьев, Е. Л. Пак // Вестник ТГАСУ. – 2017. – № 1 (60). – С. 190-198.

25. Воробьев, В. С. Экономическое обоснование сценариев развития сухопутного транспорта Сибири: монография / В. С. Воробьев, М. В. Пак. – Новосибирск, 2017.. – 90 с.
26. Воробьев, В. С. Управление рисками строительства автомобильных дорог / В. С. Воробьев, Д. В. Пингасов, С. В. Мирошниченко // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 1. – С. 84-91.
27. Гатиятуллин, М. Х. Эффективные методы содержания автомобильных дорог / М. Х. Гатиятуллин, А. И. Исмагилов // Техника и технология транспорта. – 2017. – № 2 (3). – С. 8.
28. Герасимова, Е. О. Учет природно-климатических условий при устройстве водопропускных труб в процессе реконструкции автомобильной дороги (на примере участка автомобильной дороги «Раздольное - Хасан» км 49 – км 60) / Е. О. Герасимова, А. И. Ярмолинский, В. С. Светенок // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2018. – Т. 3 – С. 317-322.
29. Герцог, В. Н. О допустимой величине неровностей покрытий автомобильных дорог / В. Н. Герцог // Материалы II Международной Научно-практической конференции. Наука XXI в.: опыт прошлого – взгляд в будущее. – 2016. – С.108-112.
30. Горшков, Н. И. Исследование причин возникновения продольных трещин в асфальтобетонном покрытии автомобильной дороги / Н. И. Горшков, М. А. Краснов, А. В. Лопашук // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. Международный сборник научных трудов под ред. А. И. Ярмолинского. – 2015. – С.42-58.
31. ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. - М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.
32. ГОСТ 12248.1-2020 Грунты. Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза. – М.: Стандартинформ, 2020. – 14 с.
33. ГОСТ 19912-2012. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. - М.: ГУП ЦПП, 2012. – С. 26.

34. ГОСТ 20276.1-2020 Грунты. Метод испытания штампом. – М.: Стандартиформ, 2013. – 14 с.
35. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. - Введ. 29.10.2012.- М.: Стандартиформ, 2013. – 19 с.
36. ГОСТ 22733-2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. - Введ. 01.01.2017. - М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2016. - 15 с.
37. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. – М. : Стандартиформ, 2020. -38 с.
38. ГОСТ 25607–2009. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М. : Стандартиформ, 2010.
39. ГОСТ 28622–2012. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. – М. : Стандартиформ, 2013. – 13 с.
40. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Стандартиформ, 2016. – 21 с.
41. ГОСТ Р 50597-2017 Дороги автомобильные и улицы. требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. методы контроля. – М. : Стандартиформ, 2017. – 28 с.
42. ГОСТ Р 54476-2011 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик сопротивляемости сдвигу грунтов в дорожном строительстве. – М. : Стандартиформ, 2012. – 7 с.
43. ГОСТ Р 54477-2011 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик деформируемости грунтов в дорожном строительстве. – М. : Стандартиформ, 2011. – 23 с.
44. ГОСТ Р 56353-2022 Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов. – М.: Российский институт стандартизации , 2022. – 48 с.

45. ГОСТ Р 56925-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения неровностей оснований и покрытий. – М. : Стандартинформ, 2019. – 12 с.

46. Государственная программа Новосибирской области «Развитие автомобильных дорог регионального, межмуниципального и местного значения в Новосибирской области» в 2015-2022 годах.

47. Грузин, В. В. Совершенствование модели деформируемости грунта для исследования системы «Напряжение – относительная деформация» / В. В. Грузин, Д. Э. Абраменков // Актуальные проблемы современности. – 2014. – № 1 (3). – С. 108-111.

48. Гудкова, И. Н. Экономическое обоснование плана ремонта и модернизации автомобильных дорог местного значения : дис. ... канд. эконом. наук : 08.00.05 / Гудкова Ирина Николаевна. – Новосибирск, 2010. – 149 с.

49. Донгак, Д. А. Совершенствование мероприятий по повышению эксплуатационной надежности водопропускных труб на автомобильных дорогах Республики Тыва) : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Донгак Джамиль Айыр-Санаевич. – Санкт-Петербург, 2007. – 159 с.

50. Еремеева, А. С. Автодорожная инфраструктура как экономическая категория: понятие, содержание и инновационное развитие / А. С. Еремеева // Вопросы территориального развития. – 2014. – № 10 (20). – С. 3.

51. Ермаков, М. Л. Совершенствование отраслевой системы диагностики автомобильных дорог для повышения эффективности диагностических и ремонтных работ: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Ермаков Михаил Львович. – Саратов, 2008. – 195 с.

52. Ефименко, В. Н. Изменение значений параметров грунтов земляного полотна автомобильных дорог на территории Кемеровской области / В. Н. Ефименко, А. О. Афиногенов // Проблемы земляного полотна железных и автомобильных дорог в условиях Сибири: Тр. II региональной науч.-практ. конф. – 2011. – С.47-53.

53. Ефименко, В. Н. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (на примере Юго-Востока Западной Сибири) : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.03 : / Ефименко Владимир Николаевич. - М., 1978. - 216 с.

54. Ефименко, С. В. Назначение расчетных характеристик грунтов земляного полотна для расчета дорожных одежд / С. В. Ефименко, В. Н. Ефименко, А. В. Сухоруков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 3 (109). – С. 124-131.

55. Ефименко, С. В. Некоторые особенности обоснования свойств прочности и деформируемости глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд / С. В. Ефименко, В. Н. Ефименко, М. В. Бадина // Дороги и мосты. – 2016. – № 1 (35). – С. 7.

56. Ефименко, С. В. Обоснование расчетных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд автомобильных дорог (на примере районов Западной Сибири): дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Ефименко Сергей Владимирович. – Томск, 2006. – 152 с.

57. Ефименко, С. В. Обоснование расчетных значений характеристик глинистых грунтов Западно-Сибирского региона / С. В. Ефименко, А. В. Сухоруков, В. Н. Ефименко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 7 (679). – С. 69-77.

58. Ефименко, С. В. Совершенствование норм проектирования автомобильных дорог Российской Федерации в части методологии учёта особенностей природно-климатических условий / С. В. Ефименко, В. Н. Ефименко, А. В. Сухоруков // Вестник КГУСТА. – 2016. – № 1 (51). – С. 53.

59. Ефименко, С. В. Стандартизация расчетных значений характеристик глинистых грунтов Кузбасса для обеспечения качества проектирования автомобильных дорог / С. В. Ефименко, В. Н. Ефименко, М. В. Бадина, А. В. Сухоруков, В. С. Чурилин, А. О. Афиногенов // Вестник ТГАСУ. – 2015. – №5. – С. 173-183.

60. Ефименко, С. В. Учёт территориальной однородности географических комплексов при проектировании автомобильных дорог / С. В. Ефименко // Вестник ТГАСУ. – 2015. – № 3. – С. 226-236.

61. Ефименко, С. В. Исследования состава и свойств глинистых грунтов районов Западной Сибири для назначения их расчётных характеристик / С.В. Ефименко // Вестник ТГАСУ. – 2005. – № 1. – С. 213-220.

62. Желтышева, А. С. Водопропускные трубы под автомобильными дорогами, устраиваемые на глинистых пучинистых грунтах / А. С. Желтышева, Б. С. Юшков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – С. 378-386.

63. Желтышева, А. С. Конструкции фундаментов под водопропускными трубами на автомобильных дорогах устраиваемых на пучинистых грунтах / А. С. Желтышева, Б. С. Юшков // Молодой учёный. – 2015. – № 14 (94). – С. 151-154.

64. Жилина, О. М. Инновационные решения в области управления содержанием автомобильных дорог / О. М. Жилина // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – № 4 (18). – С. 6-9.

65. Жустарева, Е. В. Влияние плотности связного грунта в рабочем слое земляного полотна на остаточные деформации нежестких дорожных одежд: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Жустарева Елена Владимировна. – МоШа, 2000. – 127 с.

66. Жустарёва, Е. В. Вычисление оценочных показателей продольной ровности автомобильных дорог по микропрофилю / Е. В. Жустарёва, В. И. Бочкарев, А. М. Танатова // Автомобильная Дорога. Инфраструктура. – 2018. – № 3 (17). – С. 5.

67. Золотарь, И. А. Прогноз величины и скорости пучения на автомобильных дорогах / И. А. Золотарь // Борьба с пучинами на железных и автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1965. – С. 109-121.

68. Золотарь, И. А. Прогноз влажности грунта земляного полотна в целях назначения его прочностных характеристик / И.А. Золотарь // Материалы

Всесоюзной межвузовской конференции по прочности дорожных одежд. – Харьков, 1968. – С. 100-106.

69. Зубков, А. Ф. Разработка технологии устройства асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными параметрами: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.11 / Зубков Анатолий Федорович. – Воронеж, 2008. – 31 с.

70. Иванов, Н. Н. Строительство автомобильных дорог: ч. 1, 2: учеб. пособие / Н. Н. Иванов, Н. А. Пузаков, А. Я. Тулаев, Е. П. Андрулионис. - М.: Транспорт, 1969. - 411 с.

71. Исаков, А. Л. Расчетное обоснование сроков сезонного ограничения движения грузового транспорта на автомобильных дорогах / А. Л. Исаков, Д. А. Разуваев, И. Н. Гудкова // Материалы международной научно-практической конференции: Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика. – 2018. – С. 84-94.

72. Казарновский, В. Д. Еще раз о критериях расчета дорожных одежд / В. Д. Казарновский // Наука и техника в дорожной отрасли. – 1998. – № 4. – С. 12-71.

73. Казарновский, В. Д. Закономерности накопления остаточных деформаций в системе щебень-песок при многократных нагрузках / В. Д. Казарновский, В. Н. Смирнов, Ю. И. Косарев // Совершенствование методов расчета и конструирования дорожных одежд: Сб. тр. СоюздорНИИ – М. – 1986. – С. 79-87.

74. Каменчуков, А. В. Оценка работоспособности дорожных одежд / А. В. Каменчуков, К. И. Богдановская // Международный сборник научных трудов Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. под ред. А. И. Ярмолинского. – 2015. – С. 59-62.

75. Карелина, Е. Л. Определение причин нарушения ровности покрытия дорожной одежды на участках устройства водопропускных труб / Е. Л. Карелина // Политранспортные системы: Материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия – ЕС «Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке». – 2015. –

С. 287-293.

76. Карелина, Е. Л. Определение причин нарушения ровности покрытия дорожной одежды на участках устройства водопропускных труб / Е. Л. Карелина // Политранспортные системы: Тезисы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия – ЕС «Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке». – 2014. – С. 102-103.

77. Карелина, Е. Л. Укрепление грунтов земляного полотна автомобильных дорог методом напорной инъекции / Е. Л. Карелина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал. – 2014. – № 1-2. – С. 134-138.

78. Котова, И. А. Проектирование усиления объектов длительно эксплуатируемого земляного полотна : учебное издание / И. А. Котова, Г. Г. Гришина – Новосибирск : Издательство Сибирского государственного университета путей сообщения, 2013. – 71 с.

79. Кочетков, А. В. Безопасность автомобильных дорог: методологический анализ применения показателя ровности IRI в системе диагностики автомобильных дорог / А. В. Кочетков, Л. В. Янковский, А. А. Сухов, Д. А. Стрижевский // Грузовик. – 2013. – № 12. – С. 32-35.

80. Красиков, О. А. Обоснование стратегии ремонта нежестких дорожных одежд: дис. ... доктор техн. наук: 05.23.11 / Красиков Олег Александрович. – Алматы, 1999. – 595 с.

81. Кривисский, А. М. Возведение земляного полотна автомобильных дорог: учеб. пособие / А. М. Кривисский. – МоШа: Доризд, 1948. – 168 с.

82. Крицкий, М. Я. Использование метода напорных инъекций для упрочнения грунтов в транспортном строительстве / М. Я. Крицкий, В. Ф. Скоркин, А. Л. Ланис // Труды научно-технической конференции. «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений в районах развития опасных геологических процессов». – М. – 2003. – С. 46-47.

83. Крицкий, М. Я. Лечение болезней земляного полотна с использованием современных технологий / М. Я. Крицкий, В. И. Пусков,

В. Ф. Скоркин, А. Л. Ланис // Труды международной научно-практической конференции по проблемам механики грунтов, фундаментостроению и транспортному строительству. Т. II. Пермь: Изд. ПГТУ. – 2004. – С. 47-53.

84. Крицкий, М. Я. Нетрадиционные технологии лечения болезней земляного полотна / М. Я. Крицкий, В. П. Подольский, В. И. Алферов // Научный Вестник Воронежского архитектурно-строительного университета. Сер. Дорожно-транспортное строительство. – 2004. – № 2. – С. 90-97.

85. Крицкий, М. Я. Усиление земляного полотна автомобильных дорог / М. Я. Крицкий, А. Л. Ланис // Издательство СГУПС. – 2013. – С. 182.

86. Кузьмин, Д. М. Технология и методы интеллектуального мониторинга автотранспортных потоков и состояния автомобильных дорог: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Кузьмин Дмитрий Михайлович. – МоШа, 2008. – 191 с.

87. Лаврентьев, П. А. Отечественные и зарубежные методологии прогнозирования продольной ровности покрытия автомобильных дорог / П. А. Лаврентьев // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 4 (39). – С. 168-172.

88. Лазарев, Ю. Г. Формирование потребительских и эксплуатационных свойств автомобильных дорог / Ю. Г. Лазарев, Д. Л. Симонов, А. Н. Новик // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2016. – № 1 (35). – С. 43-47.

89. Ланис, А. Л. К вопросу усиления грунтов земляного полотна на участках сопряжения с искусственными сооружениями / А. Л. Ланис, Д. А. Разуваев, П. О. Ломов // В сборнике: Транспорт: наука, образование, производство труды международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 86-90.

90. Ланис, А. Л. Повышение качества усиления грунтовых массивов по результатам геотехнического мониторинга / А. Л. Ланис, Д. А. Разуваев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4 (43). – С. 5-11.

91. Ланис, А. Л. Применение метода напорной инъекции для усиления насыпей / А. Л. Ланис // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – № 6 – С. 33-35.

92. Ланис, А. Л. Результаты моделирования эксплуатируемых насыпей при напорном инъецировании твердеющих растворов / А. Л. Ланис // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 3 (46). – С. 43 – 50.

93. Ланис, А. Л. Способы усиления земляного полотна инъецированием / А. Л. Ланис // Известия Транссиба. – 2016. – № 3 (27). – С. 117-124.

94. Ланис, А. Л. Усиление грунтов земляного полотна на подходах к мостам и путепроводам / А. Л. Ланис, Д. А. Разуваев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3 (63). – С. 97-104.

95. Ланис, А. Л. Использование метода напорной инъециции при усилении земляного полотна железных дорог / Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.06 / Ланис Алексей Леонидович. – Новосибирск, 2009. – 159 с.

96. Левкович, Т. И. Влияние воздействия динамических нагрузок от транспортных средств на работоспособность дорожных конструкций / З. А. Мевлидинов, И. В. Емельяненко, К. И. Кондрат // Материалы международной научно-практической конференции. Инновации в строительстве. – 2017. – С. 213-218.

97. Левкович, Т. И. Исследование прочности укрепленных глинистых грунтов для использования их при строительстве оснований автомобильных дорог / Т. И. Левкович, З. А. Мевлидинов, Е. А. Лебедухо // Вестник научных конференций. – 2016. – № 6-2 (10). – С. 67-72.

98. Левкович, Т. И. Оценка возможных причин разрушений оснований автомобильных дорог / Т. И. Левкович, З. А. Мевлидинов, Т. В. Мащенко, Д. С. Коновалов // Транспортные сооружения. – 2017. – Т. 4. – № 4. – С. 5.

99. Луцкий, С. Я. Глубинное уплотнение слабых оснований с применением интенсивной технологии / С. Я. Луцкий, Д. В. Долгов, А. Ю. Лустин // Материалы третьей научно - технической конференции с международным участием. – 2006. – С. 89-92.

100. Луцкий, С. Я. Интенсивная технология упрочнения слабых оснований земляного полотна / С. Я. Луцкий, А. Б. Саун // Транспортное строительство. – 2015. – № 8. – С. 20-24.

101. Луцкий, С. Я. Технологический мониторинг сооружения земляного полотна / С. Я. Луцкий, А. Б. Саун, А. Н. Степанов // Наука и техника транспорта. – 2018. – № 1. – С. 64-68.

102. Мевлидинов, З. А. Учет влияния грунта земляного полотна на изменение состояния дорожного покрытия / З. А. Мевлидинов, Д. А. Панов, Д. С. Коновалов // Материалы II Брянского международного инновационного форума «Строительство-2016». – 2016. – С. 203-205.

103. Мевлидинов, З. А. Учет влияния различных факторов на изменение ровности дорожного покрытия / З. А. Мевлидинов, Д. С. Туров, А. В. Гапонов // Материалы II Брянского международного инновационного форума «Строительство-2016». – 2016. – С. 205-208.

104. Могильный, К. В. Требования к ровности дорожных оснований и покрытий. Методы и средства измерений неровностей / К. В. Могильный, В. В. Чванов, О. А. Красиков // Дороги и мосты. – 2011. – Т. 26. – № 2. – С. 151-169.

105. Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги» / Утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 15) // разработан Минтрансом России во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

106. Немчинов, М. В. Мелочей быть не может. О содержании водоотводных сооружений автомобильных дорог / М. В. Немчинов, М. Иваньски, Ань Ву Туан // Автомобильные дороги. – 2008. – № 4. – С. 99-101.

107. Николенко, Д. А. Прогнозирование деформаций и разрушений дорожных конструкций автомобильных дорог: научное издание / Д. А. Николенко, А. Г. Кмета // Строительство. – Ростов на Дону, 2014. – С. 35-36.

108. Носков, И. В. Лабораторные испытания грунта перед проведением работ по инъектированию откосов земляного полотна автомобильных дорог / И. В. Носков, С. А. Ананьев, М. А. Ковалева // *Материалы Международной научно-технической конференции. Наземные транспортно-технологические комплексы и средства*: – 2016. – С. 201-205.

109. ОДМ 218.4.1.002–2020 Организация и проведение геотехнического мониторинга при строительстве земляного полотна на слабых грунтах. – М. : Росавтодор, 2021. – 39 с.

110. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. – М.: Информавтодор, 2001. – 145 с.

111. ОДН 218.1.052-2002. Оценка прочности нежестких дорожных одежд. - Введ. 19.11.2002. - М.: Информавтодор, 2002. – 80 с.

112. ОДН 218.4.039-2018 Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог. — М. : Росавтодор, 2018. – 60 с.

113. Осетрова, Ю. М. Искусственные сооружения. Современные способы строительства / Ю. М. Осетрова // В сборнике: *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство Самарский государственный архитектурно-строительный университет*. – 2016. – С. 278-280.

114. Павлова, В. А. Исследование нестандартных технологий ремонта водопропускных труб для автомобильных дорог / В. А. Павлова, И. М. Самышева // *Инновационное развитие*. – 2018. – № 5 (22). – С. 41-43.

115. Пай, В. Э. Составление каталога дефектов земляного полотна и дорожной одежды для назначения восстановительных работ на основе нового подхода: научное издание / В. Э. Пай // *Научно-практическая конференция «Неделя науки – 2014. Наука МИИТа – транспорту»*. – МоШа, 2014. – Ч. 1. – С. II/36-II/37.

116. Пак, Е. Л. Определение комплексного показателя транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги / Е. Л. Пак // *Материалы IX*

Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы». – 2016. – С. 114-116.

117. Патент RU 158595. Свая / СГУПС, Авт. В. С. Воробьев, А. Л. Ланис, П. С. Пинчук, Н. П. Запащикова, Е. Л. Карелина. - Заявл. 15.04.2015; Решение о выдаче патента на полезную модель 15.04.2015; Опубликовано 20.01.2016. Бюл. № 2.

118. Патент RU 161251. Составная свая / СГУПС, В. С. Воробьев, А. Л. Ланис, П. С. Пинчук, Н. П. Запащикова, Е. Л. Карелина. – Заявл. 07.09.2015; Решение о выдаче патента на полезную модель 07.09.2015; Опубликовано 10.04.2016. Бюл. № 10.

119. Патент RU 2288995. Способ контроля качества упрочнения грунтового массива / СГУПС, Авт. А. Л. Ланис, М. Я. Крицкий, В. Ф. Скоркин. – Заявл. 11.01.2005; Опубл. 10.12.2006. Бюл. № 34.

120. Патент RU 2588250. Способ укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб / СГУПС, А. Л. Ланис, Е. Л. Карелина. - Заявл. 23.04.2015; Решение о выдаче патента на изобретение 23.04.2015; Опубликовано 27.06.2016. Бюл. № 18.

121. Пингасов, Д. В. Совершенствование методов оценки рисков при управлении качеством реализации проектов автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Пингасов Дмитрий Владимирович. – Новосибирск, 2012. – 23 с.

122. ПНСТ 542-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования (с Поправками). / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Росстандарт., 2021. – 225 с.

123. Подольский, В. П. Оценка и прогнозирование влажности грунтов земляного полотна под дорожной конструкцией в зависимости от уровня грунтовых вод / В. П. Подольский, В. Ч. Ле // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – № 4-3 (17). – С. 106-111.

124. Просеков, С. А. Применение водопропускных труб с использованием гофрированного металла при реконструкции мостов и водопропускных труб на автомобильных дорогах (на примере Новосибирской области): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Просеков Сергей Алексеевич. – Новосибирск, 2010. – 160 с.

125. Разуваев, Д. А. Определение деформационных параметров верхней части рабочего слоя земляного полотна / Д. А. Разуваев // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2013. – № 4 (32). – С. 71-75.

126. Разуваев, Д. А. Совершенствование метода проектирования дорожных одежд при стабилизации рабочего слоя земляного полотна (на примере Новосибирской области): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Разуваев Денис Алексеевич. – Новосибирск, 2013. – 180 с.

127. Ржаницын, Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве / Б. А. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 264 с.

128. Рыбалов, Ю. В. Автоматизированная информационно-аналитическая система по искусственным сооружениям на автомобильных дорогах / Ю. В. Рыбалов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 2 (5). – С. 126-135.

129. Семенова, Т. В. Влияние влажности и степени уплотнения грунта земляного полотна на параметры прочности и деформируемости / Т. В. Семенова, Н. В. Кузин // Научный альманах. – 2016. – № 7-1 (21). – С. 451-453.

130. Сиденко, В. М. Расчет и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна / В. М. Сиденко - М.: Автотрансиздат, 1962. – 116 с.

131. Скрыпник, Т. В. Существующие подходы к упрочнению грунтов активной зоны земляного полотна при строительстве и ремонте автомобильных дорог / Т. В. Скрыпник, В. Ю. Скрыпник, Р. А. Пилипенко // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2018. – № 1 (24). – С. 13-20.

132. Скутина, М. А. Современные методы обследования водопропускных труб / М. А. Скутина, М. М. Мыльников // Инновационный транспорт. – 2017. – № 3 (25). – С. 44-48.
133. Смолин, Ю. П. К вопросу о строительстве фундаментов автодорожного моста через р. МоШу на трассе красноярского проспекта / Ю.П. Смолин, В.Ф. Скоркин // Вестник Сибирского Государственного Университета Путей Сообщения. – 2010. – №23. – С. 17-26.
134. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. / Минрегион России. – М. : ОАО «ЦПП», 2016. – 220 с.
135. СП 34. 13330. 2021 Автомобильные дороги. / Росстандарт. – М., 2021. – 128 с.
136. СП 45. 13330. 2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты.
137. Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. I. Строительство и реконструкция автомобильных дорог / А. П. Васильев, Б. С. Марышев, В. В. Силкин и др.; Под ред. д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. - М.: Информавтодор, 2005. – 788 с.
138. Справочник Геотехника, основания и фундаменты, подземные сооружения / В. А. Ильичев, Р. А. Мангушев, А. М. Караулов, К. В. Королев, А. Н. Богомоллов и др. - М.: Издательство АСВ, 2016. – 1034 с.
139. СТП ТУАД 32-03–2000. Расчетные значения характеристик глинистых грунтов земляного полотна для проектирования по условиям морозоустойчивости и прочности нежестких дорожных одежд автомобильных дорог Новосибирской области / ТУАД НСО. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2000. – 32 с.
140. Стрижевский, Д. А. Обоснование введения ограничений режима движения автомобильного транспорта на основе оценки показателей ровности дорожного покрытия: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Стрижевский Дмитрий Александрович. – Саратов, 2015. – 181 с.
141. Стрижевский, Д. А. Повышение безопасности дорожного движения на основе развития системы мониторинга автомобильных дорог / А. В. Кочетков,

А. А. Сухов, Д. С. Стрижевский и др. // Инновации и исследования в транспортном комплексе. Первая Междун. науч.-практ. конф. 23-24 мая 2013 г. – Курган : Уральский гос. ун-т. путей сообщения. – С. 255-261.

142. Сухоруков, А. В. Обоснование региональных норм проектирования дорожных одежд с учётом изменчивости геокомплекса территорий / А. В. Сухоруков // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 4. – С. 159-169.

143. Сухоруков, А. В. Обоснование региональных расчётных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд в условиях Западной Сибири: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Сухоруков Алексей Владимирович. – Томск, 2017. – 166 с.

144. Сухоруков, А. В. К обоснованию периода осеннего влагонакопления при прогнозировании влажности грунтов земляного полотна автомобильных дорог Западно-Сибирского региона / А. В. Сухоруков // Техника и технологии дорожного хозяйства. – 2014. – №1 (27). – С. 21-25.

145. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года. / Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 г. № 1734-р (с изм. от 12.05.2018 г.).

146. Углова, Е. В. Современный подход к оценке транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог государственной компании «Российские автомобильные дороги» / Е. В. Углова, А. Н. Тиратурян, Л. Г. Шамраев // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2016. – № 1 (6). – С. 39-51.

147. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». – С. 19.

148. Хархута, Н. Я. Деформации грунтов дорожных насыпей / Н. Я. Хархута, Ю. М. Васильев. – М.: Автотрансиздат, 1957. – 74 с.

149. Хархута, Н. Я. Основные направления научно-исследовательской работы по уплотнению грунтов, дорожных оснований и покрытий / Н. Я. Хархута // Сб. тр. СоюздорНИИ. – 1975. – Выпуск 84. – С. 5-15.

150. Хархута, Н. Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н. Я. Хархута, Ю. М. Васильев. – М.: Транспорт, 1975. – 288 с.

151. Цаль, А. Ю. Совершенствование технических решений мониторинга автомобильных дорог и транспортных сооружений / А. Ю. Цаль, Н. А. Ермошин, П. О. Середа // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1 (48). – С. 152.

152. Шустов, А. В. Оценка применяемых методов диагностики ровности покрытия автомобильных дорог при их эксплуатации / А. В. Шустов, С. В. Ганзин, Е. И. Самек // Известия ВолгГТУ. – 2013. – № 21. – С. 100-103.

153. Щербаков, В. В. Технология и приборы для определения ровности автомобильных дорог / В. В. Щербаков, М. Н. Барсук // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 11 (635). – С. 63-70.

154. Юшков, Б. С. Работоспособность водопропускных труб устраиваемых на глинистых грунтах [Электронный ресурс] / Б. С. Юшков, А. С. Желтышева // Наукоедение. Интернет-журнал. – 2015. – Т. 7. – № 5. – Режим доступа: [http://naukovedenie.ru / PDF/15KO615.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/15KO615.pdf).

155. Юшков, Б. С. Экспериментальные исследования просадочных свойств уплотненного грунтового основания насыпи автомобильной дороги / Б. С. Юшков, Д. А. Жернакова // Транспортные сооружения. – 2014. – Т. 1. – № 2 (2). – С. 2.

158. Яромко, В. Н. О совершенствовании проектирования дорожных одежд нежесткого типа / В. Н. Яромко // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 2. – С. 28-31.

159. Яромко, В. Н. Исследование статистических характеристик плотности земляного полотна / В. Н. Яромко, В. В. Штабинский // Сборник трудов СоюзДорНИИ. – 1978. – С. 111-113.

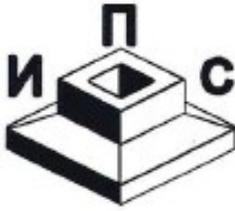
160. Diggele, P. Controle von de verdichting von steenfunde ringen / P Diggele // Weger. – 1979. – № 3. – P. 77-78.

161. High speed lines on soft ground: evaluation and analyses of measurements from the West Coast Line // Swedish Geotechnical Institute, 1999. – № 2.

162. Morel, G Effects of compaction on properties of materials (in particular mechanical properties) / G Morel // Colloq. int. compactege. – 1980. – № 3. – P. 55-76.
163. Okamura, M. Liquefied soil pressures on vertical walls with adjacent embankments / M. Okamura, M. Ishihara, K. Tamura // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2006. – № 26. – P. 265–274.
164. Schanz, T Experimental Unsaturated Soil Mechanics / T Schanz // Berlin: Springer Proceedings in Physics, 112. – 2007. – 494 p.
165. Seed, H. B. The strength of Compacted Cohesive Soils. Research conference on Shear strength of cohesive soils / H. B. Seed, J. K. Mitchell, C. K. Chan // ASCE Conference Proceedings. Univ. of Colorado. – 1960. – P. 877-964.
166. Tosti, F. GPR analysis of clayey soil behaviour in unsaturated conditions for pavement engineering and geoscience applications / F Tosti., A. Benedetto, L. B. Ciampoli, S. Lambot, C. Patriarca, E. C. Slob // Near surface geophysics. – 2016. – № 14. – P. 127-144.
167. Vorobev, V. S. Physical and mechanical characteristics of soil within the culvert pipes location of roads. / Vorobyov, V., Karelina E., Shcherbakova N. // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – T. 1116. – P. 257-267.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Справки о внедрении результатов диссертационного исследования



**ООО НПК «ИПС»**

**НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ «ИЗЫСКАНИЯ,  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО»**

ИНН 5410014310, КПП 540201001  
630047, г. Новосибирск, ул. Северная, 13, этаж 1, пом. 2  
тел./факс (383) 328-02-00

№ 184/1 от 07.10.2022  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**СПРАВКА**

**о внедрении результатов научных исследований,  
выполненных Карелиной Е.Л. в диссертационной работе:**

**«Мониторинг и прогнозирование физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Настоящей справкой подтверждается практическое использование методики мониторинга и прогнозирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог, позволяющей осуществлять ежегодный контроль качества и последующее планирование содержания, ремонта и капитального ремонта автомобильных дорог Новосибирской области.

Применение результатов диссертационного исследования существенно сокращает объем буровых работ и исследований в лабораторных условиях.

Директор ООО НПК «ИПС»

Ю.А. Цибариус



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
канд. техн. наук, доцент Новоселов А.А.



05.09. 2023 г.

## СПРАВКА

**о внедрении результатов научных исследований,  
выполненных Карелиной Е.Л. в диссертационной работе:  
«Мониторинг и прогнозирование физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных  
дорог», представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук**

Настоящей справкой подтверждается использование результатов исследований Карелиной Е.Л. «Мониторинг и прогнозирование физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб автомобильных дорог» в учебном процессе ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС) на кафедре «Изыскания, проектирование, постройка железных и автомобильных дорог» при преподавании дисциплины «Реконструкция автомобильных дорог».

Заведующий кафедрой «Изыскания,  
проектирование, постройка  
железных и автомобильных дорог

А.Л. Исаков



Общество с ограниченной ответственностью  
**«МосОблТрансПроект»**

Юр. адрес: 142191, город Троицк, Калужское шоссе, д. 20, пом. 2  
 Фактический адрес: 129164, г. Москва, Зубарев переулок, д.15, к.1  
 Телефон: +7 (495) 909-85-24, e-mail: info@motpr.ru  
 ИНН 7751524392 КПП 775101001 ОГРН 5147746076517

Исх.№ 405/7 от 22.08.2019г.  
 на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**СПРАВКА**

о внедрении результатов научных исследований, выполненных Карелиной Еленой Леонидовной в диссертационной работе:

«Мониторинг несущей способности основной площадки земляного полотна автомобильных дорог в зоне расположения водопропускных труб», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Методика мониторинга несущей способности основной площадки земляного полотна на основе прогнозирования параметров физико-механических свойств инженерно-геологических элементов в зоне расположения водопропускных труб, разработанная соискателем по результатам теоретических и экспериментальных исследований с использованием математической статистики применяется специалистами ООО «МОТП» при мониторинге, проектировании и усилении грунтов земляного полотна.

Применение результатов диссертационного исследования позволило достигнуть сокращение объемов экспериментальных исследований и снижение финансовых затрат в сравнении с альтернативными способами. Решенные в диссертационной работе вопросы мониторинга автомобильных дорог представляют интерес с точки зрения практического внедрения, поскольку позволяют сокращать объем экспериментальных работ, что в свою очередь позволяет получать существенное экономическое преимущество в сравнении с классическими методами.

Руководитель департамента проектных работ

А.В. Горохов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

На правах рукописи



**Карелина Елена Леонидовна**

**МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ  
ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

(в двух томах)

Том 2

Специальность 2.1.8 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов,  
аэродромов, мостов и транспортных тоннелей  
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор,  
Воробьев Валерий Степанович

Новосибирск – 2023

**ОГЛАВЛЕНИЕ****Том 2**

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Физико-механические характеристики грунтов по ИГЭ.....	3
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб .....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов.....	114
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации).....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Расчет несущей способности земляного полотна а/д «К-17Р» в зонах расположения водопропускных труб.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Оценка точности моделирования параметров грунтов: плотности, угла внутреннего трения, удельного сцепления.....	161

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ ПО ИГЭ

Таблица Б.1 – Физико-механические характеристики грунтов по ИГЭ 1п

Адрес участка, км	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести	Раскатывания			Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	W <sub>отн</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	I <sub>L</sub>	$\phi$	C	E	E <sub>упр</sub>
20	Ш-1	0,2	2,69	1,86	1,63	39	0,649	0,14	0,67	0,21	0,18	3	< 0	30,8	0,019	9,4	38,5
20	Ш-2	0,2	2,69	1,89	1,63	39	0,651	0,16	0,84	0,19	0,18	1	< 0	31,0	0,019	10,5	42,0
20	Ш-2	1,9	2,69	1,76	1,61	40	0,666	0,09	0,41	0,22	0,18	4	< 0	29,2	0,016	9,6	39,4
20	Ш-3	0,2	2,69	1,86	1,62	40	0,663	0,15	0,68	0,22	0,17	5	< 0	30,6	0,018	13,8	56,6
20	Ш-4	0,2	2,69	1,89	1,63	40	0,654	0,16	0,76	0,21	0,18	3	< 0	29,9	0,015	10,8	44,3
44	Ш-3	0,5	2,69	1,90	1,62	40	0,658	0,17	0,61	0,28	0,21	7	< 0	26,4	0,028	10,6	43,5
44	Ш-4	0,2	2,69	1,90	1,62	40	0,658	0,17	0,63	0,27	0,20	7	< 0	26,4	0,028	10,8	44,3
44	Ш-4	0,5	2,69	1,86	1,63	39	0,649	0,14	0,52	0,27	0,20	7	< 0	26,1	0,027	10,2	41,8
72	Ш-1	0,1	2,69	1,94	1,63	39	0,647	0,19	0,76	0,25	0,19	6	0	29,5	0,020	11,1	44,3
72	Ш-1	0,7	2,69	1,94	1,63	39	0,652	0,19	0,76	0,25	0,20	5	< 0	29,3	0,019	10,4	42,6
72	Ш-2	0,1	2,69	1,92	1,62	40	0,657	0,18	0,82	0,22	0,18	4	0	28,4	0,018	10,4	42,6
72	Ш-2	0,7	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,70	0,23	0,18	5	< 0	28,0	0,018	10,7	43,9
72	Ш-3	0,1	2,69	1,90	1,62	40	0,658	0,17	0,81	0,21	0,18	3	< 0	29,4	0,019	10,6	43,5
72	Ш-3	0,7	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,76	0,21	0,18	3	< 0	29,1	0,019	9,8	40,2
72	Ш-4	0,1	2,69	1,90	1,63	40	0,653	0,17	0,81	0,21	0,18	3	< 0	30,5	0,019	11,4	45,6
72	Ш-4	0,7	2,69	1,86	1,62	40	0,659	0,15	0,71	0,21	0,18	3	< 0	30,1	0,018	9,6	39,4
156	Ш-2	0,1	2,69	1,87	1,63	40	0,654	0,15	0,71	0,21	0,18	3	< 0	31,2	0,019	9,2	37,7
156	Ш-2	0,7	2,69	1,88	1,62	40	0,659	0,16	0,76	0,21	0,18	3	< 0	30,8	0,018	9,7	39,8
156	Ш-3	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,649	0,15	0,68	0,22	0,18	4	< 0	29,4	0,019	11,1	44,4
156	Ш-3	0,7	2,69	1,88	1,62	40	0,658	0,16	0,73	0,22	0,18	4	< 0	28,4	0,019	9,8	40,2

Продолжение таблицы Б.1

№	Шурф	Н	$\rho_s$	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$			$\phi$	C	E	$E_{упр}$
156	Ш-3	1,2	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,67	0,24	0,19	5	< 0	28,0	0,019	10,1	41,4
156	Ш-4	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,649	0,15	0,58	0,26	0,20	6	< 0	25,4	0,019	11,2	44,8
156	Ш-4	0,7	2,69	1,87	1,63	40	0,654	0,15	0,60	0,25	0,20	5	< 0	25,2	0,019	10,4	42,6
180	Ш-1	0,1	2,70	1,92	1,64	39	0,649	0,17	0,40	0,43	0,36	7	< 0	28,3	0,018	10,8	44,3
180	Ш-2	0,1	2,69	1,90	1,62	40	0,658	0,17	0,65	0,26	0,20	6	< 0	30,9	0,020	11,5	46,0
180	Ш-3	0,1	2,69	1,92	1,62	40	0,657	0,18	0,78	0,23	0,18	5	0	29,8	0,020	11,2	44,8
180	Ш-3	0,4	2,69	1,92	1,62	40	0,657	0,18	0,78	0,23	0,18	5	0	29,4	0,019	10,4	42,6
180	Ш-3	0,9	2,69	1,89	1,61	40	0,669	0,17	0,65	0,26	0,19	7	< 0	25,9	0,023	10,1	41,4
180	Ш-4	0,1	2,69	1,87	1,63	40	0,654	0,15	0,68	0,22	0,18	4	< 0	29,2	0,019	10,6	43,5
182	Ш-4	0,1	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,42	0,38	0,32	6	< 0	29,6	0,019	11,1	44,4
182	Ш-4	0,5	2,69	1,91	1,63	39	0,649	0,17	0,46	0,37	0,32	5	< 0	28,0	0,019	10,4	42,6
201	Ш-3	0,2	2,69	1,93	1,62	40	0,657	0,19	0,76	0,25	0,20	5	< 0	29,9	0,019	11,2	44,8
201	Ш-3	0,5	2,69	1,97	1,62	40	0,656	0,21	0,84	0,25	0,19	6	0,33	29,4	0,019	10,8	44,3
201	Ш-4	0,2	2,69	1,93	1,62	40	0,659	0,19	0,68	0,28	0,21	7	< 0	26,4	0,028	10,6	43,5
205	Ш-1	0,1	2,70	1,93	1,64	39	0,649	0,18	0,42	0,43	0,36	7	< 0	26,3	0,028	10,7	43,9
205	Ш-3	0,1	2,69	1,97	1,61	40	0,666	0,22	0,52	0,42	0,35	7	< 0	26,8	0,029	10,9	43,6
205	Ш-3	0,5	2,69	1,98	1,62	40	0,657	0,22	0,52	0,42	0,35	7	< 0	26,4	0,028	10,5	43,1
205	Ш-4	0,1	2,69	1,94	1,63	39	0,647	0,19	0,48	0,40	0,35	5	< 0	30,6	0,019	11,6	46,4
205	Ш-4	0,5	2,69	1,94	1,63	39	0,648	0,19	0,48	0,40	0,35	5	< 0	30,0	0,019	10,4	42,6
226	Ш-1	0,1	2,70	1,92	1,63	40	0,659	0,18	0,64	0,28	0,22	6	< 0	30,6	0,019	10,9	43,6
226	Ш-2	0,1	2,70	1,88	1,63	39	0,652	0,15	0,50	0,30	0,23	7	< 0	26,4	0,028	10,8	43,2

Продолжение таблицы Б.1

№	Шурф	Н	$\rho_s$	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести	Раскатывания			Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	W <sub>отн</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	I <sub>L</sub>	$\phi$	C	E	E <sub>упр</sub>
226	Ш-3	0,1	2,69	1,90	1,63	40	0,653	0,17	0,61	0,28	0,21	7	< 0	28,6	0,022	10,4	41,6
226	Ш-3	0,5	2,69	1,85	1,62	40	0,659	0,14	0,52	0,27	0,21	6	< 0	27,9	0,019	9,7	39,8
226	Ш-4	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,649	0,15	0,60	0,25	0,20	5	< 0	29,6	0,019	11,0	44,0
226	Ш-4	0,5	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,67	0,24	0,20	4	< 0	29,0	0,019	10,4	42,6
228	Ш-1	0,1	2,69	1,86	1,62	40	0,659	0,15	0,56	0,27	0,21	6	< 0	29,4	0,019	10,8	44,3
228	Ш-3	0,1	2,70	1,90	1,63	40	0,659	0,17	0,63	0,27	0,20	7	< 0	26,2	0,020	9,8	40,2
228	Ш-3	0,5	2,70	1,85	1,63	40	0,661	0,14	0,52	0,27	0,20	7	< 0	25,8	0,020	9,6	39,4
228	Ш-4	0,1	2,70	1,89	1,63	40	0,655	0,16	0,62	0,26	0,20	6	< 0	29,4	0,019	10,2	40,8
228	Ш-4	0,5	2,70	1,84	1,63	40	0,661	0,13	0,52	0,25	0,20	5	< 0	28,5	0,018	9,8	40,2
289	Ш-2	0,1	2,69	1,86	1,62	40	0,659	0,15	0,58	0,26	0,20	6	< 0	29,4	0,019	10,8	44,3
289	Ш-3	0,1	2,69	1,89	1,63	39	0,649	0,16	0,62	0,26	0,21	5	< 0	29,6	0,019	11,1	44,4
289	Ш-3	0,5	2,69	1,87	1,61	40	0,669	0,16	0,64	0,25	0,21	4	< 0	28,7	0,018	10,3	42,2
289	Ш-4	0,1	2,69	1,90	1,62	40	0,658	0,17	0,68	0,25	0,20	5	< 0	29,4	0,019	9,8	40,2
289	Ш-4	0,5	2,69	1,87	1,63	39	0,650	0,15	0,63	0,24	0,20	4	< 0	28,5	0,018	10,7	43,9
303	Ш-1	0,1	2,70	1,89	1,63	40	0,660	0,16	0,59	0,27	0,21	6	< 0	31,6	0,019	11,2	44,8
303	Ш-2	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,651	0,16	0,60	0,26	0,21	5	< 0	31,4	0,019	10,7	43,9
303	Ш-3	0,1	2,69	1,85	1,63	40	0,654	0,14	0,52	0,27	0,22	5	< 0	31,2	0,019	10,1	41,4
303	Ш-4	0,1	2,69	1,90	1,63	39	0,651	0,17	0,66	0,25	0,22	3	< 0	31,4	0,019	10,9	44,7
303	Ш-4	0,5	2,69	1,87	1,63	39	0,650	0,15	0,58	0,26	0,22	4	< 0	30,5	0,018	9,4	38,5
327	Ш-1	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,651	0,16	0,55	0,28	0,21	7	< 0	27,4	0,022	11,1	45,5
327	Ш-2	0,1	2,69	1,89	1,62	40	0,661	0,17	0,66	0,25	0,21	4	< 0	30,8	0,019	10,8	43,2

Продолжение таблицы Б.1

№	Шурф	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести	Раскатывания			Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$I_L$	$\phi$	C	E	$E_{упр}$
327	Ш-3	0,1	2,70	1,89	1,64	39	0,650	0,16	0,53	0,29	0,22	7	< 0	29,5	0,025	10,4	41,6
327	Ш-4	0,1	2,69	1,86	1,63	39	0,652	0,15	0,56	0,26	0,21	5	< 0	29,4	0,019	10,8	44,3
327	Ш-4	0,5	2,69	1,85	1,61	40	0,669	0,15	0,60	0,25	0,21	4	< 0	28,7	0,018	9,9	40,6
334	Ш-1	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,649	0,15	0,58	0,26	0,21	5	< 0	30,6	0,020	10,6	42,4
334	Ш-2	0,1	2,69	1,85	1,63	40	0,654	0,14	0,58	0,24	0,21	3	< 0	30,2	0,019	9,8	40,2
334	Ш-3	0,1	2,69	1,85	1,63	40	0,654	0,14	0,58	0,24	0,22	2	< 0	30,2	0,019	10,4	42,6
334	Ш-3	0,5	2,69	1,84	1,62	40	0,662	0,14	0,56	0,24	0,22	2	< 0	29,7	0,018	10,2	41,8
334	Ш-4	0,1	2,69	1,88	1,63	39	0,651	0,16	0,62	0,25	0,20	5	< 0	29,4	0,019	10,7	43,9
334	Ш-4	0,5	2,69	1,86	1,63	39	0,650	0,14	0,61	0,23	0,20	3	< 0	28,5	0,018	10,3	42,2

Таблица Б.2 – Статистические данные физико-механических характеристик грунтов для ИГЭ 1п

	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	n	e	W	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$\phi$ , град	C, МПа	E, МПа	$E_{упр}$ , МПа
<b>Среднее</b>	2,69	1,89	1,63	39	0,621	0,16	0,27	0,22	5	28,9	0,020	10,5	42,8
<b>n</b>	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
<b>Ст. отклон. S</b>	0,004	0,035	0,007	0,497	0,006	0,020	0,056	0,049	1,511	1,646	0,003	0,670	2,571
<b>v</b>	0,001	0,018	0,004	0,013	0,009	0,126	0,212	0,227	0,304	0,057	0,156	0,064	0,060
<b>min</b>	<b>2,69</b>	<b>1,76</b>	1,61	39	<b>0,570</b>	<b>0,09</b>	<b>0,19</b>	<b>0,17</b>	<b>1</b>	<b>25,2</b>	<b>0,015</b>	<b>9,2</b>	<b>37,7</b>
<b>max</b>	<b>2,70</b>	<b>1,98</b>	1,64	40	<b>0,698</b>	<b>0,22</b>	<b>0,43</b>	<b>0,36</b>	<b>7</b>	<b>31,6</b>	<b>0,029</b>	<b>13,8</b>	<b>56,6</b>

Таблица Б.3 – Физико-механические характеристики грунтов по ИГЭ 1с

№	Шурф	Н	$\rho_s$	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$			Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
20	Ш-1	0,7	2,69	1,71	1,63	39	0,647	0,04	0,21	0,21	0,17	4	< 0	28,8	0,016	7,7	31,6
20	Ш-1	1,9	2,69	1,70	1,64	39	0,643	0,04	0,14	0,28	0,25	3	< 0	28,2	0,015	7,9	30,8
20	Ш-2	0,7	2,69	1,74	1,65	39	0,632	0,06	0,29	0,20	0,17	3	< 0	28,9	0,016	8,6	35,3
20	Ш-3	0,7	2,69	1,77	1,69	37	0,596	0,05	0,22	0,23	0,18	5	< 0	30,3	0,017	9,2	37,7
20	Ш-3	1,2	2,69	1,72	1,64	39	0,640	0,05	0,20	0,25	0,20	5	< 0	29,0	0,016	8,7	35,7
20	Ш-3	1,9	2,69	1,75	1,59	41	0,691	0,10	0,36	0,28	0,24	4	< 0	30,1	0,017	9,9	40,6
20	Ш-4	0,7	2,69	1,80	1,62	40	0,660	0,11	0,50	0,22	0,17	5	< 0	30,5	0,018	9,9	40,6
72	Ш-1	1,2	2,69	1,81	1,63	39	0,646	0,11	0,41	0,27	0,20	7	< 0	27,6	0,021	8,7	35,7
72	Ш-1	2,7	2,69	1,80	1,64	39	0,642	0,10	0,42	0,24	0,19	5	< 0	24,7	0,016	8,3	34,0
72	Ш-1	3,2	2,69	1,83	1,63	39	0,647	0,12	0,46	0,26	0,19	7	< 0	25,2	0,018	8,6	35,3
72	Ш-2	1,2	2,69	1,77	1,54	43	0,747	0,15	0,65	0,23	0,18	5	< 0	26,6	0,015	8,1	33,2
72	Ш-3	1,2	2,69	1,85	1,67	38	0,613	0,11	0,50	0,22	0,18	4	< 0	29,0	0,018	9,4	38,5
72	Ш-4	1,2	2,69	1,85	1,61	40	0,671	0,15	0,65	0,23	0,18	5	< 0	29,9	0,017	9,3	38,1
72	Ш-4	1,7	2,69	1,84	1,61	40	0,671	0,14	0,54	0,26	0,19	7	< 0	28,8	0,024	9,5	39,0
156	Ш-2	1,2	2,70	1,77	1,54	43	0,753	0,15	0,58	0,26	0,19	7	< 0	24,6	0,022	9,5	37,1
156	Ш-4	1,2	2,69	1,85	1,62	40	0,660	0,14	0,56	0,25	0,19	6	< 0	24,8	0,018	10,3	42,2
180	Ш-1	0,4	2,70	1,75	1,55	43	0,742	0,13	0,30	0,43	0,37	6	< 0	27,7	0,013	8,4	34,4
180	Ш-2	0,4	2,69	1,81	1,60	41	0,681	0,13	0,50	0,26	0,20	6	< 0	30,0	0,017	9,2	37,7
180	Ш-4	0,4	2,69	1,74	1,66	38	0,623	0,05	0,23	0,22	0,19	3	< 0	29,3	0,018	9,8	40,2
180	Ш-4	0,9	2,69	1,81	1,59	41	0,692	0,14	0,56	0,25	0,19	6	< 0	27,8	0,017	9,4	38,5

Продолжение таблицы Б.3

№	Шурф	Н	$\rho_s$	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести	Раскатывания			Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	W <sub>отн</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>L</sub>	$\phi$	C	E	E <sub>упр</sub>
182	Ш-1	0,5	2,70	1,82	1,54	43	0,751	0,18	0,42	0,43	0,36	7	< 0	24,6	0,022	7,4	28,9
182	Ш-3	0,5	2,69	1,98	1,58	41	0,698	0,25	0,60	0,42	0,35	7	< 0	25,9	0,026	9,6	39,4
182	Ш-4	1,0	2,69	1,81	1,59	41	0,692	0,14	0,36	0,39	0,32	7	< 0	25,3	0,025	9,6	39,4
205	Ш-1	0,5	2,70	1,84	1,55	43	0,742	0,19	0,44	0,43	0,36	7	< 0	24,7	0,022	8,1	33,2
205	Ш-4	1,0	2,69	1,94	1,60	41	0,681	0,21	0,49	0,43	0,36	7	< 0	25,4	0,025	9,3	38,1
226	Ш-1	0,5	2,70	1,84	1,60	41	0,688	0,15	0,54	0,28	0,21	7	< 0	25,3	0,025	9,2	37,7
228	Ш-1	0,5	2,69	1,75	1,56	42	0,724	0,12	0,46	0,26	0,21	5	< 0	28,2	0,016	7,8	32,0
228	Ш-2	0,5	2,70	1,72	1,55	43	0,742	0,11	0,38	0,29	0,22	7	< 0	24,7	0,023	8,4	34,4
289	Ш-1	0,5	2,70	1,77	1,57	42	0,720	0,13	0,46	0,28	0,21	7	< 0	25,0	0,023	8,1	33,2
289	Ш-2	0,5	2,69	1,78	1,55	42	0,735	0,15	0,60	0,25	0,20	5	< 0	28,8	0,016	9,6	39,4
289	Ш-4	1,0	2,70	1,87	1,61	40	0,677	0,16	0,57	0,28	0,21	7	< 0	25,4	0,025	9,6	39,4
303	Ш-1	0,5	2,70	1,81	1,60	41	0,688	0,13	0,46	0,28	0,21	7	< 0	25,3	0,024	9,4	38,5
303	Ш-2	0,5	2,69	1,78	1,56	42	0,724	0,14	0,56	0,25	0,21	4	< 0	29,2	0,016	8,7	35,7
303	Ш-3	0,5	2,69	1,83	1,62	40	0,660	0,13	0,46	0,28	0,22	6	< 0	30,3	0,018	9,6	39,4
327	Ш-1	0,5	2,69	1,79	1,57	42	0,713	0,14	0,52	0,27	0,21	6	< 0	27,4	0,017	7,9	32,4
327	Ш-2	0,5	2,69	1,75	1,56	42	0,724	0,12	0,48	0,25	0,21	4	< 0	27,2	0,016	8,8	36,1
334	Ш-1	0,5	2,69	1,73	1,63	39	0,648	0,06	0,25	0,24	0,21	3	< 0	29,8	0,017	10,8	44,3
334	Ш-1	1,0	2,69	1,73	1,50	44	0,793	0,15	0,56	0,27	0,22	5	< 0	27,6	0,013	7,3	28,5
334	Ш-1	1,5	2,70	1,80	1,58	41	0,709	0,14	0,47	0,30	0,23	7	< 0	25,1	0,023	8,8	36,1
334	Ш-2	0,5	2,69	1,71	1,64	39	0,637	0,04	0,17	0,24	0,21	3	< 0	28,6	0,015	8,1	33,2

Продолжение таблицы Б.3

Адрес участка, км.	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести	Раскатывания			Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$I_L$	$\phi$	C	E	$E_{упр}$
334	Ш-3	1,0	2,69	1,82	1,60	41	0,681	0,14	0,56	0,25	0,21	4	< 0	29,0	0,017	11,2	45,9
334	Ш-4	1,0	2,69	1,84	1,60	41	0,681	0,15	0,56	0,27	0,22	5	< 0	28,0	0,017	9,8	40,2

Таблица Б.4 – Статистические данные физико-механических характеристик грунтов для ИГЭ 1 с

	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	n	e	W	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$\phi$ , град	C, МПа	E, МПа	$E_{упр}$ , МПа
<b>Среднее</b>	<b>2,69</b>	<b>1,79</b>	<b>1,60</b>	<b>41</b>	<b>0,686</b>	<b>0,12</b>	<b>0,28</b>	<b>0,22</b>	<b>5</b>	<b>27,4</b>	<b>0,019</b>	<b>8,9</b>	<b>36,7</b>
<b>n</b>	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
<b>Ст. отклон. S</b>	0,004	0,059	0,041	1,645	0,044	0,046	0,063	0,057	1,418	1,993	0,004	0,882	3,794
<b>v</b>	0,002	0,033	0,026	0,040	0,064	0,372	0,228	0,254	0,259	0,073	0,195	0,098	0,103
<b>min</b>	<b>2,69</b>	<b>1,70</b>	<b>1,50</b>	<b>37</b>	<b>0,596</b>	<b>0,04</b>	<b>0,20</b>	<b>0,17</b>	<b>3</b>	<b>24,6</b>	<b>0,013</b>	<b>7,3</b>	<b>28,5</b>
<b>max</b>	<b>2,70</b>	<b>1,98</b>	<b>1,69</b>	<b>44</b>	<b>0,793</b>	<b>0,25</b>	<b>0,43</b>	<b>0,37</b>	<b>7</b>	<b>30,5</b>	<b>0,026</b>	<b>11,2</b>	<b>45,9</b>

Таблица Б.5 – Физико-механические характеристики грунтов по ИГЭ 1р

Адрес участка, км.	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести	Раскалывания			Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$I_L$	$\phi$	C	E	$E_{упр}$
20	Ш-1	1,2	2,69	1,72	1,45	46	0,861	0,19	0,76	0,25	0,24	1	< 0	26,6	0,012	4,8	19,2
20	Ш-2	1,2	2,69	1,79	1,49	45	0,803	0,20	0,95	0,21	0,18	3	0,67	27,2	0,013	4,9	19,1
303	Ш-2	1,0	2,70	1,70	1,44	47	0,875	0,18	0,62	0,29	0,22	7	< 0	22,5	0,019	3,3	13,2
327	Ш-1	1,0	2,69	1,71	1,44	46	0,868	0,19	0,66	0,29	0,22	7	< 0	26,6	0,019	3,0	12,0
327	Ш-2	1,0	2,69	1,75	1,48	45	0,818	0,18	0,67	0,27	0,21	6	< 0	27,0	0,012	3,3	12,9
334	Ш-2	1,0	2,69	1,77	1,45	46	0,854	0,22	0,79	0,28	0,22	6	0	24,2	0,011	3,2	12,8

Таблица Б.6 – Статистические данные физико-механических характеристик грунтов для ИГЭ 1р

	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	n	e	W	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$\phi$ , град	C, МПа	E, МПа	$E_{упр}$ , МПа
<b>Среднее</b>	<b>2,69</b>	<b>1,74</b>	<b>1,46</b>	<b>46</b>	<b>0,847</b>	<b>0,19</b>	<b>0,27</b>	<b>0,22</b>	<b>5</b>	<b>25,7</b>	<b>0,014</b>	<b>3,8</b>	<b>14,9</b>
<b>n</b>	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>Ст. отклон. S</b>	0,004	0,036	0,021	0,753	0,029	0,015	0,031	0,020	2,449	1,899	0,004	0,859	3,342
<b>v</b>	0,002	0,021	0,015	0,016	0,034	0,078	0,116	0,092	0,490	0,074	0,256	0,229	0,225
<b>min</b>	<b>2,69</b>	<b>1,70</b>	<b>1,44</b>	<b>45</b>	<b>0,803</b>	<b>0,18</b>	<b>0,21</b>	<b>0,18</b>	<b>1</b>	<b>22,5</b>	<b>0,011</b>	<b>3,0</b>	<b>12,0</b>
<b>max</b>	<b>2,70</b>	<b>1,79</b>	<b>1,49</b>	<b>47</b>	<b>0,875</b>	<b>0,22</b>	<b>0,29</b>	<b>0,24</b>	<b>7</b>	<b>27,2</b>	<b>0,019</b>	<b>4,9</b>	<b>19,2</b>

Таблица Б.7 – Физико-механические характеристики грунтов по ИГЭ 2п

№	Адрес участка, км.	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Физические свойства грунтов в естественном состоянии					Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
					Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести			Раскагивания	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$I_L$	$\phi$	C	E	$E_{упр}$
44	Ш-1	0,2	2,70	1,96	1,70	37	0,588	0,15	0,45	0,33	0,23	10	< 0	26,2	0,024	10,9	44,7
44	Ш-1	0,5	2,70	1,95	1,68	38	0,607	0,16	0,50	0,32	0,23	9	< 0	26,0	0,024	9,5	38,0
44	Ш-2	0,2	2,70	1,93	1,68	38	0,607	0,15	0,50	0,30	0,21	9	< 0	26,3	0,027	10,0	40,0
44	Ш-2	0,5	2,70	1,89	1,66	39	0,627	0,14	0,48	0,29	0,21	8	< 0	26,1	0,027	9,5	38,0
44	Ш-3	0,2	2,69	1,90	1,70	37	0,582	0,12	0,43	0,28	0,20	8	< 0	26,5	0,028	9,6	39,4
156	Ш-1	0,1	2,73	1,86	1,68	38	0,625	0,11	0,31	0,32	0,21	11	< 0	25,0	0,031	9,9	39,6
156	Ш-1	0,7	2,73	1,86	1,66	39	0,645	0,12	0,33	0,32	0,21	11	< 0	24,8	0,030	9,6	38,4
156	Ш-3	1,7	2,70	1,87	1,64	39	0,646	0,14	0,50	0,28	0,19	9	< 0	24,8	0,026	9,6	38,4
171	Ш-1	0,2	2,71	1,94	1,69	38	0,604	0,15	0,33	0,40	0,29	11	< 0	25,2	0,032	10,9	44,7
171	Ш-2	0,2	2,71	1,90	1,68	38	0,613	0,13	0,35	0,32	0,21	11	< 0	25,1	0,032	10,9	44,7
171	Ш-3	0,2	2,70	1,89	1,70	37	0,588	0,11	0,42	0,26	0,18	8	< 0	26,5	0,028	9,2	37,7
171	Ш-4	0,2	2,70	1,88	1,69	37	0,598	0,11	0,39	0,28	0,19	9	< 0	26,4	0,028	10,9	44,7
171	Ш-4	0,8	2,70	1,89	1,66	39	0,627	0,14	0,48	0,29	0,19	10	< 0	26,0	0,027	10,0	40,0
180	Ш-3	1,4	2,70	1,92	1,64	39	0,646	0,17	0,59	0,29	0,19	10	< 0	24,8	0,026	9,6	38,4
182	Ш-1	0,1	2,70	1,93	1,68	38	0,607	0,15	0,34	0,44	0,36	8	< 0	26,3	0,028	9,6	38,4
182	Ш-2	0,1	2,71	1,93	1,68	38	0,613	0,15	0,39	0,38	0,27	11	< 0	26,3	0,028	10,0	40,0
201	Ш-1	0,2	2,70	1,92	1,67	38	0,617	0,15	0,48	0,31	0,23	8	< 0	26,2	0,019	9,6	38,4
201	Ш-2	0,2	2,70	1,92	1,68	38	0,607	0,14	0,31	0,45	0,35	10	< 0	26,3	0,028	10,8	43,2
201	Ш-3	1,0	2,70	1,98	1,66	39	0,627	0,19	0,70	0,27	0,19	8	< 0	26,0	0,027	10,2	40,8
201	Ш-3	1,5	2,70	1,98	1,64	39	0,646	0,21	0,66	0,32	0,22	10	< 0	25,8	0,026	10,0	40,0
201	Ш-4	0,5	2,69	1,99	1,63	39	0,650	0,22	0,69	0,32	0,23	9	< 0	25,8	0,026	9,6	38,4

Продолжение таблицы Б.7

№	Адрес участка, км.	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Физические свойства грунтов в естественном состоянии					Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
					Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести			Раскагивания	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$I_L$	$\phi$	C	E	$E_{упр}$
205	Ш-2	0,1	2,71	1,97	1,71	37	0,585	0,15	0,38	0,39	0,28	11	< 0	26,5	0,028	10,1	41,4
226	Ш-4	1,0	2,70	1,92	1,64	39	0,646	0,17	0,55	0,31	0,22	9	< 0	25,8	0,026	9,6	38,4
228	Ш-2	0,1	2,70	1,88	1,69	37	0,598	0,11	0,37	0,30	0,22	8	< 0	26,4	0,028	10,6	43,5
289	Ш-1	0,1	2,70	1,85	1,67	38	0,617	0,11	0,38	0,29	0,21	8	< 0	26,2	0,027	10,6	42,4
327	Ш-3	0,5	2,70	1,86	1,65	39	0,636	0,13	0,43	0,30	0,22	8	< 0	25,9	0,027	9,4	37,6

Таблица Б.8 – Статистические данные физико-механических характеристик грунтов для ИГЭ 2п

	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	n	e	W	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$\phi$ , град	C, МПа	E, МПа	$E_{упр}$ , МПа
<b>Среднее</b>	<b>2,70</b>	<b>1,91</b>	<b>1,67</b>	<b>38</b>	<b>0,617</b>	<b>0,15</b>	<b>0,32</b>	<b>0,23</b>	<b>9</b>	<b>25,89</b>	<b>0,027</b>	<b>10,0</b>	<b>40,4</b>
<b>n</b>	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
<b>Ст. отклон. S</b>	0,009	0,041	0,022	0,784	0,021	0,029	0,049	0,046	1,192	0,571	0,003	0,545	2,477
<b>v</b>	0,003	0,021	0,013	0,021	0,034	0,201	0,155	0,202	0,128	0,022	0,095	0,055	0,061
<b>min</b>	<b>2,69</b>	<b>1,85</b>	<b>1,63</b>	<b>37</b>	<b>0,582</b>	<b>0,11</b>	<b>0,26</b>	<b>0,18</b>	<b>8</b>	<b>24,8</b>	<b>0,019</b>	<b>9,2</b>	<b>37,6</b>
<b>max</b>	<b>2,73</b>	<b>1,99</b>	<b>1,71</b>	<b>39</b>	<b>0,650</b>	<b>0,22</b>	<b>0,45</b>	<b>0,36</b>	<b>11</b>	<b>26,5</b>	<b>0,032</b>	<b>10,9</b>	<b>44,7</b>

Таблица Б.9 – Физико-механические характеристики грунтов по ИГЭ 2с

№	Адрес участка, км.	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Физические свойства грунтов в естественном состоянии					Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
					Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести			Раскагивания	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$I_L$	$\phi$	C	E	$E_{упр}$
20	Ш-4	1,2	2,70	1,78	1,60	41	0,688	0,11	0,41	0,27	0,18	9	< 0	24,2	0,027	11,2	43,7
20	Ш-4	1,9	2,71	1,74	1,55	43	0,744	0,12	0,38	0,31	0,20	11	< 0	23,5	0,026	8,5	34,0
44	Ш-1	1,0	2,73	1,86	1,58	42	0,728	0,18	0,50	0,33	0,22	11	< 0	24,9	0,025	8,2	32,8
44	Ш-1	2,0	2,71	1,81	1,51	44	0,795	0,20	0,53	0,32	0,21	11	< 0	23,7	0,022	7,3	29,9
44	Ш-1	2,5	2,71	1,86	1,56	42	0,737	0,19	0,56	0,34	0,23	11	< 0	24,9	0,023	7,8	31,2
44	Ш-2	1,0	2,71	1,83	1,56	42	0,737	0,17	0,50	0,33	0,22	11	< 0	24,8	0,024	8,7	34,8
44	Ш-2	2,5	2,71	1,82	1,53	44	0,771	0,19	0,61	0,31	0,21	10	< 0	24,1	0,022	7,0	28,7
44	Ш-3	1,0	2,71	1,81	1,63	40	0,663	0,11	0,33	0,33	0,22	11	< 0	25,6	0,025	9,5	37,1
44	Ш-3	1,5	2,70	1,84	1,60	41	0,688	0,15	0,47	0,32	0,22	10	< 0	25,3	0,025	9,1	35,5
44	Ш-3	2,0	2,71	1,89	1,60	41	0,694	0,18	0,56	0,32	0,21	11	< 0	25,1	0,024	9,3	36,3
44	Ш-3	2,5	2,70	1,76	1,54	43	0,753	0,14	0,44	0,32	0,22	10	< 0	24,6	0,023	7,2	29,5
44	Ш-4	1,0	2,70	1,87	1,63	40	0,656	0,15	0,50	0,30	0,21	9	< 0	25,8	0,026	9,6	37,4
44	Ш-4	1,5	2,70	1,87	1,60	41	0,688	0,17	0,53	0,32	0,22	10	< 0	25,3	0,025	9,1	35,5
44	Ш-4	2,0	2,71	1,86	1,60	41	0,694	0,16	0,50	0,32	0,21	11	< 0	25,2	0,024	10,6	41,3
44	Ш-4	2,5	2,70	1,80	1,55	43	0,742	0,16	0,53	0,30	0,20	10	< 0	24,7	0,025	7,8	31,2
72	Ш-2	2,7	2,70	1,81	1,55	43	0,742	0,17	0,61	0,28	0,19	9	< 0	24,7	0,023	7,8	31,2
72	Ш-2	3,2	2,70	1,83	1,55	43	0,742	0,18	0,62	0,29	0,19	10	< 0	24,6	0,024	8,3	33,2
72	Ш-3	1,7	2,70	1,86	1,58	41	0,709	0,18	0,67	0,27	0,19	8	< 0	25,1	0,024	7,6	30,4
72	Ш-3	2,2	2,70	1,85	1,58	41	0,709	0,17	0,63	0,27	0,19	8	< 0	25,2	0,023	7,2	28,8
72	Ш-3	2,7	2,70	1,86	1,59	41	0,698	0,17	0,61	0,28	0,18	10	< 0	24,6	0,023	8,3	32,4
72	Ш-3	3,2	2,70	1,87	1,59	41	0,702	0,18	0,64	0,28	0,19	9	< 0	24,7	0,024	8,7	34,8

Продолжение таблицы Б.9

№	Адрес участка, км.	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Физические свойства грунтов в естественном состоянии					Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
					Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести			Раскагивания	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	W <sub>отн</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	I <sub>L</sub>	$\phi$	C	E	E <sub>упр</sub>
72	Ш-4	2,2	2,70	1,80	1,55	43	0,742	0,16	0,59	0,27	0,19	8	< 0	24,8	0,023	7,2	28,8
72	Ш-4	2,7	2,70	1,80	1,54	43	0,753	0,17	0,61	0,28	0,18	10	< 0	24,7	0,023	7,8	32,0
72	Ш-4	3,2	2,70	1,79	1,54	43	0,753	0,16	0,57	0,28	0,18	10	< 0	24,6	0,024	7,4	30,3
156	Ш-1	1,2	2,73	1,86	1,56	43	0,750	0,19	0,54	0,31	0,20	11	< 0	22,6	0,026	7,5	30,0
156	Ш-1	2,7	2,72	1,81	1,53	44	0,778	0,18	0,51	0,32	0,21	11	< 0	23,3	0,025	7,9	32,4
156	Ш-2	2,7	2,70	1,79	1,52	44	0,776	0,18	0,64	0,28	0,18	10	< 0	24,0	0,022	7,6	31,2
156	Ш-3	2,2	2,71	1,87	1,63	40	0,663	0,15	0,52	0,29	0,19	10	< 0	24,7	0,026	9,1	35,5
156	Ш-3	2,7	2,71	1,79	1,53	44	0,771	0,17	0,57	0,29	0,18	11	< 0	24,2	0,022	7,4	30,3
156	Ш-4	1,7	2,70	1,81	1,59	41	0,698	0,14	0,54	0,26	0,18	8	< 0	25,2	0,024	9,6	37,4
156	Ш-4	2,2	2,70	1,81	1,60	41	0,688	0,13	0,45	0,29	0,19	10	< 0	25,3	0,024	10,7	41,7
156	Ш-4	2,7	2,70	1,74	1,55	42	0,738	0,12	0,43	0,28	0,19	9	< 0	24,6	0,022	7,8	31,2
171	Ш-1	0,8	2,73	1,83	1,58	42	0,728	0,16	0,46	0,32	0,21	11	< 0	23,8	0,027	9,3	37,2
171	Ш-1	1,7	2,71	1,85	1,54	43	0,760	0,20	0,65	0,30	0,19	11	< 0	24,4	0,022	7,8	32,0
171	Ш-2	0,8	2,74	1,77	1,55	43	0,768	0,14	0,41	0,31	0,20	11	< 0	23,4	0,026	7,4	30,3
171	Ш-2	1,2	2,71	1,80	1,51	44	0,795	0,19	0,63	0,30	0,19	11	< 0	23,7	0,022	7,5	30,8
171	Ш-2	1,7	2,70	1,86	1,58	41	0,709	0,18	0,62	0,29	0,19	10	< 0	25,1	0,024	8,3	33,2
171	Ш-3	0,8	2,70	1,91	1,63	40	0,656	0,17	0,59	0,29	0,19	10	< 0	25,7	0,026	10,0	39,0
171	Ш-3	1,2	2,71	1,90	1,60	41	0,694	0,19	0,61	0,31	0,20	11	< 0	25,2	0,024	9,7	37,8
171	Ш-3	1,7	2,70	1,88	1,59	41	0,698	0,18	0,60	0,30	0,20	10	< 0	25,1	0,024	9,1	35,5
171	Ш-4	1,2	2,71	1,89	1,64	39	0,652	0,15	0,48	0,30	0,19	11	< 0	25,8	0,026	9,6	37,4
171	Ш-4	1,7	2,70	1,78	1,55	43	0,742	0,15	0,50	0,30	0,20	10	< 0	24,7	0,022	7,8	31,2

Продолжение таблицы Б.9

№	Шурф	Н	$\rho_s$	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести	Раскагивания			Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	W <sub>отн</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	I <sub>L</sub>	$\phi$	C	E	E <sub>упр</sub>
180	Ш-1	1,9	2,73	1,88	1,53	44	0,784	0,23	0,56	0,37	0,26	11	< 0	23,2	0,025	7,9	32,4
180	Ш-2	0,9	2,70	1,79	1,52	44	0,776	0,18	0,62	0,29	0,19	10	< 0	24,1	0,022	7,9	32,4
180	Ш-2	1,4	2,71	1,80	1,54	43	0,760	0,17	0,57	0,30	0,19	11	< 0	24,5	0,022	7,4	30,3
180	Ш-2	1,9	2,72	1,84	1,56	43	0,744	0,18	0,56	0,30	0,19	11	< 0	23,7	0,027	7,8	31,2
180	Ш-3	1,9	2,70	1,88	1,57	42	0,720	0,20	0,69	0,29	0,20	9	< 0	25,0	0,023	7,8	31,2
180	Ш-4	1,4	2,70	1,81	1,57	42	0,720	0,15	0,54	0,28	0,19	9	< 0	25,0	0,023	8,3	33,2
180	Ш-4	1,9	2,70	1,85	1,54	43	0,753	0,20	0,67	0,30	0,20	10	< 0	24,6	0,022	7,4	30,3
182	Ш-1	1,5	2,70	1,90	1,53	43	0,765	0,24	0,65	0,37	0,27	10	< 0	24,2	0,022	7,6	31,2
182	Ш-2	0,5	2,71	1,86	1,58	42	0,715	0,18	0,47	0,36	0,26	10	< 0	25,0	0,023	7,9	31,6
182	Ш-2	1,5	2,70	1,96	1,58	41	0,709	0,24	0,63	0,38	0,28	10	< 0	25,0	0,024	8,3	33,2
182	Ш-3	0,1	2,69	1,99	1,59	41	0,690	0,25	0,60	0,42	0,34	8	< 0	26,3	0,028	9,6	37,4
182	Ш-3	1,0	2,70	1,99	1,58	42	0,710	0,26	0,72	0,36	0,27	9	< 0	25,6	0,025	9,8	39,2
182	Ш-3	1,5	2,70	1,98	1,57	42	0,718	0,26	0,72	0,36	0,26	10	< 0	25,2	0,024	9,2	36,8
182	Ш-4	1,5	2,71	1,85	1,54	43	0,760	0,20	0,51	0,37	0,27	10	< 0	24,4	0,022	7,4	30,3
201	Ш-1	0,5	2,70	1,89	1,55	43	0,742	0,22	0,50	0,44	0,34	10	< 0	24,7	0,023	7,8	31,2
201	Ш-1	2,0	2,72	1,85	1,52	44	0,789	0,22	0,56	0,39	0,28	11	< 0	23,9	0,022	7,4	30,3
201	Ш-1	2,5	2,72	1,89	1,54	43	0,766	0,23	0,58	0,39	0,28	11	< 0	24,2	0,022	7,4	30,3
201	Ш-2	0,5	2,72	1,81	1,55	43	0,755	0,17	0,49	0,33	0,22	11	< 0	23,5	0,026	7,4	30,3
201	Ш-2	2,0	2,74	1,90	1,53	44	0,791	0,24	0,57	0,38	0,27	11	< 0	23,2	0,026	7,5	30,8
201	Ш-2	2,5	2,72	1,86	1,54	43	0,766	0,21	0,53	0,38	0,27	11	< 0	23,5	0,026	7,0	28,7
201	Ш-3	2,0	2,70	1,91	1,59	41	0,698	0,20	0,59	0,34	0,23	11	< 0	24,8	0,024	9,7	37,8

Продолжение таблицы Б.9

№	Адрес участка, км.	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Физические свойства грунтов в естественном состоянии					Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
					Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести			Раскагивания	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$I_L$	$\phi$	C	E	$E_{упр}$
201	Ш-3	2,5	2,70	1,88	1,55	43	0,742	0,21	0,62	0,34	0,24	10	< 0	23,7	0,023	7,4	29,6
201	Ш-4	1,0	2,71	1,98	1,61	41	0,683	0,23	0,66	0,34	0,23	11	< 0	25,4	0,025	10,0	39,0
201	Ш-4	1,5	2,70	1,96	1,61	40	0,677	0,22	0,61	0,36	0,26	10	< 0	25,5	0,025	9,9	38,6
201	Ш-4	2,0	2,70	1,91	1,55	43	0,742	0,23	0,64	0,36	0,25	11	< 0	24,7	0,022	7,8	31,2
201	Ш-4	2,5	2,71	1,92	1,55	43	0,748	0,24	0,67	0,35	0,24	11	< 0	24,6	0,022	7,4	29,6
205	Ш-1	1,5	2,70	1,90	1,52	44	0,776	0,25	0,68	0,37	0,27	10	< 0	24,1	0,022	7,9	32,4
205	Ш-2	0,5	2,71	1,93	1,57	42	0,726	0,23	0,59	0,39	0,28	11	< 0	24,8	0,023	8,3	33,2
205	Ш-2	1,0	2,73	1,84	1,52	44	0,796	0,21	0,51	0,37	0,26	11	< 0	23,0	0,025	7,0	28,7
205	Ш-2	1,5	2,70	1,94	1,55	43	0,742	0,25	0,64	0,39	0,29	10	< 0	24,7	0,023	7,8	31,2
205	Ш-3	1,0	2,70	1,96	1,57	42	0,722	0,25	0,69	0,36	0,27	9	< 0	25,3	0,024	8,7	34,8
205	Ш-3	1,5	2,70	1,89	1,56	42	0,731	0,21	0,55	0,38	0,28	10	< 0	24,8	0,023	8,3	33,2
205	Ш-4	1,5	2,71	1,88	1,53	44	0,771	0,23	0,61	0,37	0,26	11	< 0	24,2	0,023	7,6	31,2
226	Ш-1	1,0	2,71	1,78	1,51	44	0,795	0,18	0,56	0,32	0,22	10	< 0	23,7	0,022	7,0	28,7
226	Ш-1	1,5	2,70	1,90	1,60	41	0,688	0,19	0,59	0,32	0,23	9	< 0	25,3	0,024	9,4	36,7
226	Ш-2	0,5	2,70	1,80	1,59	41	0,698	0,13	0,43	0,30	0,22	8	< 0	25,2	0,024	9,2	35,9
226	Ш-2	1,5	2,70	1,86	1,59	41	0,698	0,17	0,53	0,32	0,22	10	< 0	25,2	0,024	11,0	42,9
226	Ш-3	1,0	2,70	1,85	1,61	40	0,677	0,15	0,52	0,29	0,21	8	< 0	25,4	0,025	9,4	36,7
226	Ш-3	1,5	2,70	1,87	1,60	41	0,688	0,17	0,52	0,33	0,23	10	< 0	25,3	0,024	9,1	35,5
226	Ш-4	1,5	2,70	1,92	1,60	41	0,688	0,20	0,63	0,32	0,22	10	< 0	25,3	0,025	9,7	37,8
228	Ш-1	1,5	2,70	1,84	1,55	43	0,742	0,19	0,59	0,32	0,23	9	< 0	24,7	0,023	7,8	31,2
228	Ш-3	1,0	2,70	1,89	1,60	41	0,688	0,18	0,60	0,30	0,22	8	< 0	25,3	0,024	9,2	35,9

Продолжение таблицы Б.9

№	Адрес участка, км.	Номер выработки	Глубина отбора проб, м	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Физические свойства грунтов в естественном состоянии					Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
					Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести			Раскагивания	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	W <sub>отн</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	I <sub>L</sub>	$\phi$	C	E	E <sub>упр</sub>
228	Ш-3	1,5	2,70	1,80	1,51	44	0,788	0,19	0,61	0,31	0,21	10	< 0	25,9	0,022	7,9	32,4
228	Ш-4	1,0	2,70	1,81	1,62	40	0,667	0,12	0,41	0,29	0,21	8	< 0	25,6	0,025	9,2	35,9
228	Ш-4	1,5	2,70	1,79	1,56	42	0,731	0,15	0,48	0,31	0,22	9	< 0	24,8	0,023	8,3	33,2
289	Ш-1	1,5	2,70	1,86	1,55	43	0,742	0,20	0,61	0,33	0,23	10	< 0	24,7	0,023	7,8	31,2
289	Ш-3	1,0	2,70	1,89	1,60	41	0,688	0,18	0,58	0,31	0,22	9	< 0	25,3	0,025	8,7	33,9
289	Ш-3	1,5	2,70	1,80	1,51	44	0,788	0,19	0,66	0,29	0,21	8	< 0	23,9	0,022	7,4	30,3
289	Ш-4	1,5	2,70	1,86	1,55	43	0,742	0,20	0,67	0,30	0,22	8	< 0	24,7	0,023	8,2	32,8
303	Ш-1	1,0	2,70	1,77	1,51	44	0,788	0,17	0,55	0,31	0,22	9	< 0	23,9	0,022	7,9	32,4
303	Ш-1	1,5	2,70	1,91	1,58	41	0,709	0,21	0,64	0,33	0,23	10	< 0	25,1	0,024	8,3	33,2
303	Ш-2	1,5	2,70	1,84	1,55	43	0,742	0,19	0,63	0,30	0,22	8	< 0	24,7	0,023	7,2	28,8
303	Ш-3	1,0	2,70	1,89	1,60	41	0,688	0,18	0,62	0,29	0,21	8	< 0	25,3	0,025	9,2	35,9
303	Ш-3	1,5	2,70	1,86	1,55	43	0,742	0,20	0,67	0,30	0,22	8	< 0	24,7	0,023	7,2	28,8
303	Ш-4	1,0	2,70	1,88	1,61	40	0,677	0,17	0,55	0,31	0,23	8	< 0	25,4	0,025	9,4	36,7
303	Ш-4	1,5	2,70	1,90	1,58	41	0,709	0,20	0,65	0,31	0,22	9	< 0	25,1	0,023	8,3	33,2
327	Ш-1	1,5	2,70	1,76	1,53	43	0,765	0,15	0,47	0,32	0,23	9	< 0	24,2	0,022	7,0	28,7
327	Ш-2	1,5	2,69	1,80	1,55	42	0,735	0,16	0,53	0,30	0,22	8	< 0	24,7	0,023	7,6	30,4
327	Ш-3	1,0	2,70	1,92	1,61	40	0,677	0,19	0,61	0,31	0,23	8	< 0	25,4	0,025	9,2	35,9
327	Ш-3	1,5	2,70	1,83	1,55	43	0,742	0,18	0,60	0,30	0,22	8	< 0	24,7	0,023	7,2	28,8
327	Ш-4	1,0	2,70	1,85	1,58	41	0,709	0,17	0,57	0,30	0,22	8	< 0	25,1	0,024	8,0	32,0
327	Ш-4	1,5	2,70	1,82	1,54	43	0,753	0,18	0,58	0,31	0,21	10	< 0	24,6	0,022	7,4	30,3
334	Ш-2	1,5	2,70	1,77	1,53	43	0,765	0,16	0,53	0,30	0,22	8	< 0	26,2	0,022	7,5	30,8

Продолжение таблицы Б.9

№	Шурф	Н	$\rho_s$	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести	Раскагивания			Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	W <sub>отн</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	I <sub>L</sub>	$\phi$	C	E	E <sub>упр</sub>
334	Ш-3	1,5	2,70	1,77	1,54	43	0,753	0,15	0,48	0,31	0,23	8	< 0	24,6	0,022	8,8	36,1
334	Ш-4	1,5	2,70	1,86	1,59	41	0,698	0,17	0,55	0,31	0,22	9	< 0	25,2	0,024	10,3	40,2

Таблица Б.10 – Статистические данные физико-механических характеристик грунтов для ИГЭ 2с

	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	n	e	W	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	$\phi$ , град	C, МПа	E, МПа	E <sub>упр</sub> , МПа
<b>Среднее</b>	<b>2,71</b>	<b>1,87</b>	<b>1,56</b>	<b>42</b>	<b>0,729</b>	<b>0,18</b>	<b>0,32</b>	<b>0,22</b>	<b>10</b>	<b>24,7</b>	<b>0,024</b>	<b>8,3</b>	<b>33,3</b>
<b>n</b>	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
<b>Ст. отклон. S</b>	0,009	0,056	0,032	1,285	0,037	0,033	0,035	0,033	1,091	0,706	0,001	1,004	3,479
<b>v</b>	0,004	0,030	0,021	0,030	0,051	0,182	0,111	0,147	0,111	0,029	0,061	0,120	0,105
<b>min</b>	<b>2,69</b>	<b>1,74</b>	<b>1,51</b>	<b>39</b>	<b>0,652</b>	<b>0,11</b>	<b>0,26</b>	<b>0,18</b>	<b>8</b>	<b>22,6</b>	<b>0,022</b>	<b>7,0</b>	<b>28,7</b>
<b>max</b>	<b>2,74</b>	<b>1,99</b>	<b>1,64</b>	<b>44</b>	<b>0,796</b>	<b>0,26</b>	<b>0,44</b>	<b>0,34</b>	<b>11</b>	<b>26,3</b>	<b>0,028</b>	<b>11,2</b>	<b>43,7</b>

Таблица Б.11 – Физико-механические характеристики грунтов по ИГЭ 2р

№	Шурф	Н	$\rho_s$	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость	Коэффициент пористости	Влажность	Влажность относительная	Текучести	Раскагивания			Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа
№	Шурф	Н	$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	W <sub>отн</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	I <sub>L</sub>	$\phi$	C	E	E <sub>упр</sub>
44	Ш-1	1,5	2,73	1,91	1,48	46	0,844	0,29	0,78	0,33	0,22	11	0,47	22,8	0,020	5,9	23,0
44	Ш-2	1,5	2,70	1,83	1,46	46	0,844	0,25	0,78	0,32	0,23	9	0,22	22,8	0,020	6,5	25,4
44	Ш-2	2,0	2,71	1,84	1,50	45	0,812	0,23	0,74	0,31	0,21	10	0,20	23,6	0,022	6,4	25,0
72	Ш-1	1,7	2,70	1,86	1,49	45	0,815	0,25	0,83	0,30	0,20	10	0,50	23,5	0,021	6,5	25,4
72	Ш-1	2,2	2,69	1,82	1,49	45	0,803	0,22	0,79	0,28	0,20	8	0,25	23,6	0,025	6,0	23,4
72	Ш-2	1,7	2,70	1,76	1,44	47	0,872	0,22	0,81	0,27	0,19	8	0,38	22,6	0,019	4,8	19,2
72	Ш-2	2,2	2,70	1,85	1,48	45	0,824	0,25	0,89	0,28	0,20	8	0,63	23,2	0,021	5,2	20,3
156	Ш-1	1,7	2,73	1,76	1,44	47	0,892	0,22	0,63	0,31	0,20	11	< 0	22,1	0,024	4,8	19,2
156	Ш-1	2,2	2,71	1,86	1,48	46	0,836	0,26	0,76	0,34	0,23	11	0,27	22,5	0,023	5,2	20,3
156	Ш-2	1,7	2,70	1,80	1,45	46	0,860	0,24	0,83	0,29	0,20	9	0,44	22,7	0,020	5,6	22,4
156	Ш-2	2,2	2,70	1,82	1,49	45	0,810	0,22	0,81	0,27	0,19	8	0,38	23,5	0,022	4,8	18,7
171	Ш-1	1,2	2,70	1,78	1,45	46	0,866	0,23	0,77	0,30	0,20	10	0,30	22,7	0,020	5,6	22,4
180	Ш-1	0,9	2,71	1,90	1,46	46	0,854	0,30	0,77	0,38	0,27	11	0,25	23,3	0,021	6,5	25,4
180	Ш-1	1,4	2,71	1,92	1,47	46	0,849	0,31	0,79	0,37	0,27	10	0,33	23,2	0,021	6,1	23,8
182	Ш-1	1,0	2,71	1,95	1,48	45	0,834	0,32	0,82	0,37	0,27	10	0,42	23,2	0,021	6,5	25,4
182	Ш-2	1,0	2,73	1,92	1,50	45	0,820	0,28	0,68	0,37	0,26	11	0,13	22,8	0,028	5,2	20,3
201	Ш-1	1,0	2,71	1,85	1,47	46	0,846	0,26	0,74	0,34	0,23	11	0,25	23,0	0,021	6,5	25,4
201	Ш-1	1,5	2,71	1,79	1,40	48	0,938	0,28	0,78	0,33	0,23	11	0,38	22,8	0,025	6,9	26,9
201	Ш-2	1,0	2,72	1,90	1,45	47	0,875	0,31	0,82	0,36	0,25	11	0,46	22,0	0,024	5,6	22,4
201	Ш-2	1,5	2,73	1,94	1,48	46	0,843	0,31	0,72	0,38	0,27	11	0,25	22,5	0,025	6,1	23,8
205	Ш-1	1,0	2,71	1,90	1,46	46	0,854	0,30	0,77	0,38	0,27	11	0,25	22,7	0,020	6,5	26,0

Продолжение таблицы Б.11

№	Шурф	Н	$\rho_s$	Физические свойства грунтов в естественном состоянии						Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Механические свойства грунтов			
				$\rho$	$\rho_d$	n	e	W	$W_{отн}$	$W_L$	$W_P$			$\phi$	C	E	$E_{упр}$
226	Ш-2	1,0	2,70	1,88	1,50	44	0,795	0,25	0,81	0,31	0,22	9	0,32	23,7	0,022	5,6	21,8
228	Ш-1	1,0	2,71	1,86	1,48	46	0,836	0,26	0,84	0,31	0,22	9	0,44	23,2	0,021	6,5	25,4
228	Ш-2	1,0	2,70	1,89	1,50	44	0,800	0,26	0,87	0,30	0,21	9	0,56	22,7	0,020	5,6	22,4
228	Ш-2	1,5	2,70	1,81	1,47	45	0,835	0,23	0,77	0,30	0,20	10	0,30	23,7	0,022	6,9	26,9
289	Ш-1	1,0	2,70	1,83	1,49	45	0,815	0,23	0,74	0,31	0,22	9	0,11	23,5	0,021	6,5	25,4
289	Ш-2	1,0	2,70	1,86	1,50	44	0,800	0,24	0,83	0,29	0,21	8	0,38	23,7	0,022	6,4	25,0
289	Ш-2	1,5	2,70	1,86	1,50	44	0,800	0,24	0,80	0,30	0,22	8	0,25	23,9	0,020	6,0	23,4

Таблица Б.12 – Статистические данные физико-механических характеристик грунтов для ИГЭ 2р

	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	n	e	W	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$\phi$ , град	C, МПа	E, МПа	$E_{упр}$ , МПа
<b>Среднее</b>	<b>2,71</b>	<b>1,86</b>	<b>1,47</b>	<b>46</b>	<b>0,838</b>	<b>0,26</b>	<b>0,32</b>	<b>0,23</b>	<b>10</b>	<b>23,1</b>	<b>0,022</b>	<b>5,9</b>	<b>23,4</b>
<b>n</b>	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
<b>Ст. отклон. S</b>	0,011	0,052	0,024	0,997	0,032	0,032	0,035	0,027	1,182	0,506	0,002	0,637	2,416
<b>v</b>	0,004	0,028	0,016	0,022	0,038	0,123	0,109	0,120	0,122	0,022	0,095	0,107	0,103
<b>min</b>	<b>2,69</b>	<b>1,76</b>	<b>1,40</b>	<b>44</b>	<b>0,795</b>	<b>0,22</b>	<b>0,27</b>	<b>0,19</b>	<b>8</b>	<b>22,0</b>	<b>0,019</b>	<b>4,8</b>	<b>18,7</b>
<b>max</b>	<b>2,73</b>	<b>1,95</b>	<b>1,50</b>	<b>48</b>	<b>0,938</b>	<b>0,32</b>	<b>0,38</b>	<b>0,27</b>	<b>11</b>	<b>23,9</b>	<b>0,028</b>	<b>6,9</b>	<b>26,9</b>

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ**  
**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ В ЗОНЕ**  
**РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ**

*Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускной трубы на км 20 а/д «К-17р»*

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и плотности грунта*

Таблица В.1 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 20 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	r	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	14	1,86	30,8	0,019	8,4
2	Ш -1	15	1,71	28,8	0,016	6,1
3	Ш -1	12	1,58	26,6	0,012	4,8
4	Ш -1	10	1,7	28,2	0,015	5,9
5	Ш -2	17	1,89	31	0,019	8,5
6	Ш -2	25	1,74	28,9	0,016	6,6
7	Ш -2	22	1,64	27,2	0,013	4,9
8	Ш -2	20	1,7	29,2	0,016	6,9
9	Ш -3	14	1,86	30,6	0,018	8,5
10	Ш -3	15	1,77	30,3	0,017	7,1
11	Ш -3	12	1,72	29	0,016	6,7
12	Ш -3	10	1,75	30,1	0,017	6,9
13	Ш -4	17	1,89	29,9	0,015	6,8
14	Ш -4	25	1,8	30,5	0,018	6,4
15	Ш -4	22	1,78	30,2	0,017	7
16	Ш -4	20	1,69	27,5	0,013	5,5

Установить регрессионную зависимость	$r=f(E)$ ; $E=f(r)$ ; $r=f(E, \rho, \varphi, C)$ ; $E=f(\rho)$ ; $E=f(\varphi)$ ; $E=f(C)$ ; $E=f(r, \rho, \varphi, C)$ ; $\rho=f(r)$ ; $\varphi=f(r)$ ; $C=f(r)$ ; $E=f(\rho, \varphi, C)$ ; $C=f(\varphi, \rho)$ .
--------------------------------------	--

Таблица В.2 – Матрица парных коэффициентов корреляции

Коэффициенты корреляции					
	r	$\rho$	$\phi$	C	E
r	1				
$\rho$	0,039519	1			
$\phi$	0,058163	0,97332	1		
C	0,030665	0,974896	0,995367	1	
E	0,035951	0,964065	0,989916	0,978308	1

Таблица В.3 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,964065
Коэффициент детерминации	0,929422
Нормированный R-квадрат	0,917659
Стандартная ошибка	0,402153
Наблюдения	8

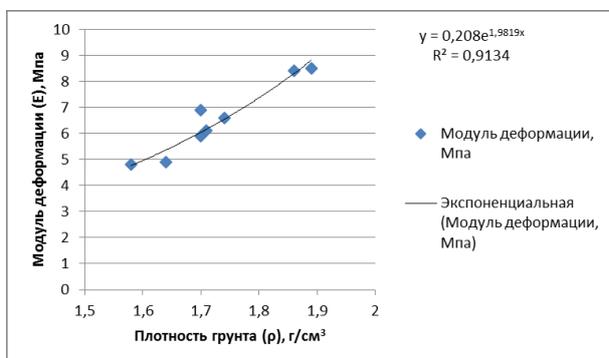
Таблица В.4 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	12,77839	12,77839	79,01212	0,000113
Остаток	6	0,970362	0,161727		
Итого	7	13,74875			

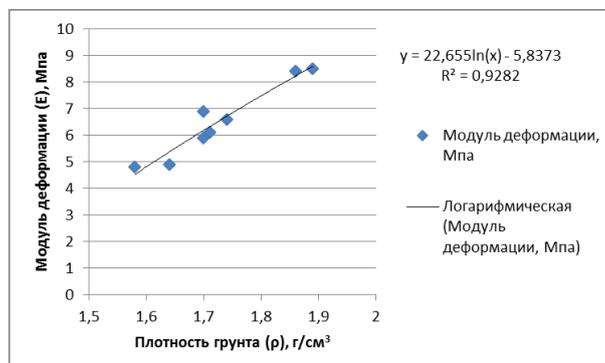
Таблица В.5 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-15,984	2,534848	-6,30569	0,000742	-22,1865	-9,78143	-22,1865	-9,78143
Плотность грунта $\rho$	13,02256	1,46504	8,888876	0,000113	9,437737	16,60739	9,437737	16,60739

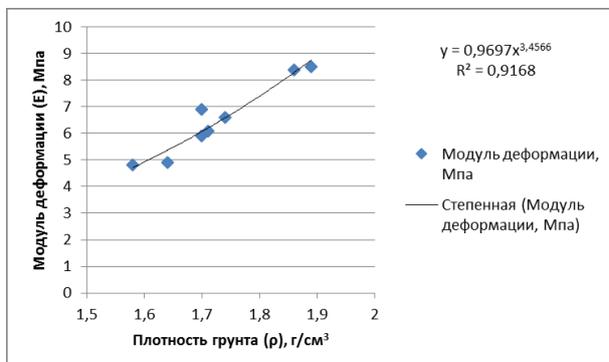
На рисунке В.1 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



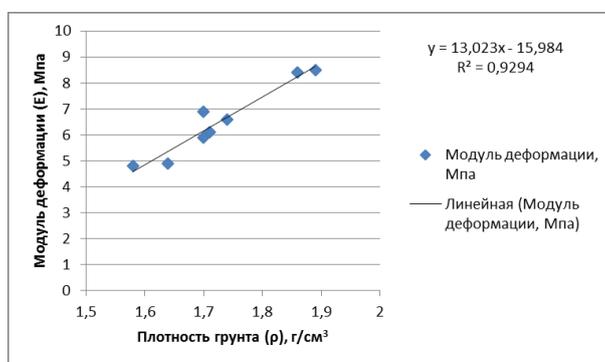
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.1 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.6 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,989916
Коэффициент детерминации	0,979933
Нормированный R-квадрат	0,976588
Стандартная ошибка	0,214436
Наблюдения	8

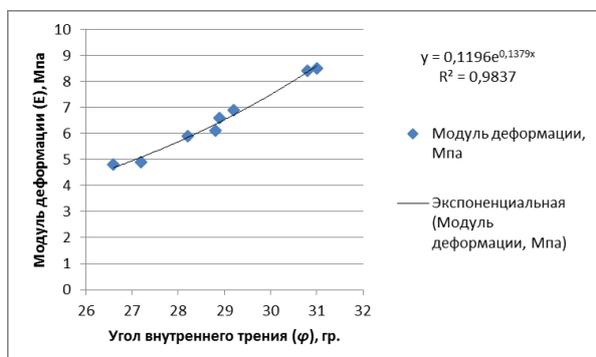
Таблица В.7 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	13,47285	13,47285	292,9983	2,54E-06
Остаток	6	0,275896	0,045983		
Итого	7	13,74875			

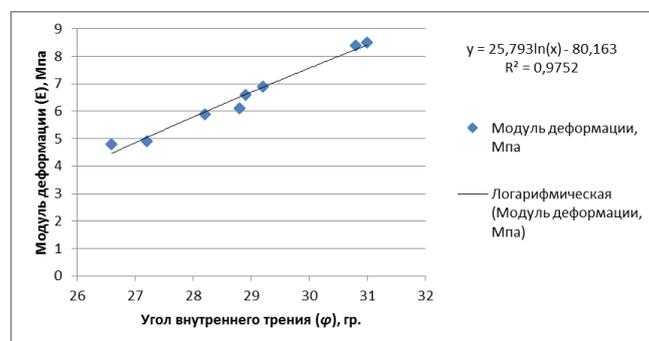
Таблица В.8 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-19,3438	1,512448	-12,7897	1,4E-05	-23,0446	-15,643	-23,0446	-15,643
Угол внутреннего трения φ	0,896621	0,052381	17,11719	2,54E-06	0,768449	1,024794	0,768449	1,024794

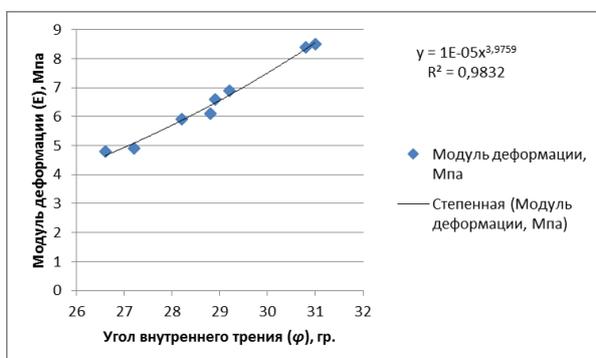
На рисунке В.2 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



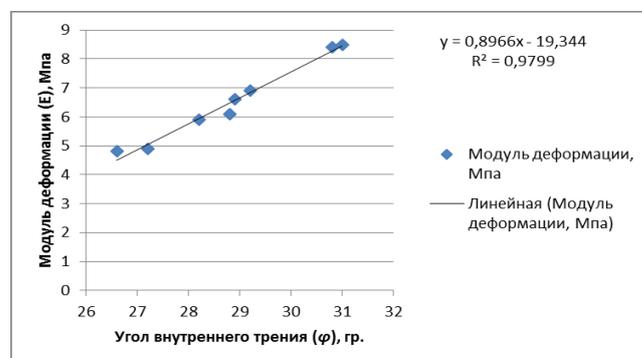
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.2 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.9 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,978308
R-квадрат	0,957087
Нормированный R-квадрат	0,949935
Стандартная ошибка	0,313581
Наблюдения	8

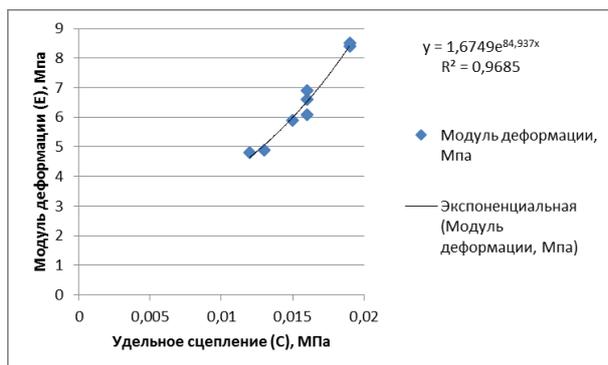
Таблица В.10 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	13,15875	13,15875	133,8178	2,51E-05
Остаток	6	0,59	0,098333		
Итого	7	13,74875			

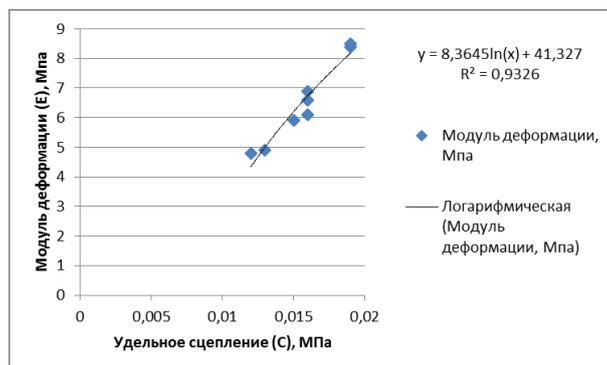
Таблица В.11 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-2,15	0,756998	-2,84017	0,029561	-4,00231	-0,29769	-4,00231	-0,29769
Удельное сцепление C	550	47,5451	11,56796	2,51E-05	433,6613	666,3387	433,6613	666,3387

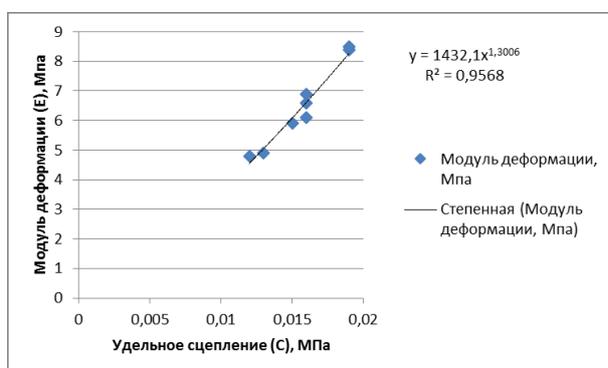
На рисунке В.3 приведены графики зависимости модуля деформации от удельного сцепления, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



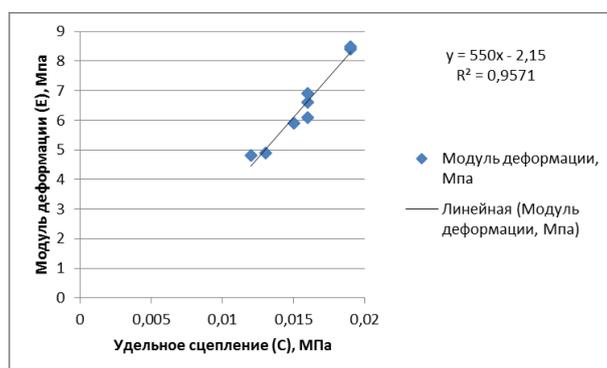
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.3 – Зависимости модуля деформации от удельного сцепления в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 44 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.12 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 44 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	г	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	10	1,96	26,2	0,024	7
2	Ш-1	13	1,95	26	0,024	6,9
3	Ш-1	15	1,86	24,9	0,025	6,3
4	Ш-1	14	1,76	22,8	0,02	5,1
5	Ш-1	10	1,81	23,7	0,022	4,1
6	Ш-1	11	1,86	24,9	0,023	6,2
7	Ш-2	8	1,93	26,3	0,027	7,3
8	Ш-2	6	1,89	26,1	0,027	7,1
9	Ш-2	10	1,83	24,8	0,024	6,2
10	Ш-2	12	1,72	22,8	0,02	4,1
11	Ш-2	15	1,8	23,6	0,022	4,9
12	Ш-2	10	1,82	24,1	0,022	5,5
13	Ш-3	9	1,9	26,5	0,028	7,5
14	Ш-3	12	1,9	26,4	0,028	7,4
15	Ш-3	16	1,81	25,6	0,025	6,7
16	Ш-3	12	1,84	25,3	0,025	6,5
17	Ш-3	10	1,89	25,1	0,024	6,3
18	Ш-3	11	1,76	24,6	0,023	6
19	Ш-4	10	1,9	26,4	0,028	7,4
20	Ш-4	14	1,86	26,1	0,027	7,2
21	Ш-4	17	1,87	25,8	0,026	6,9
22	Ш-4	16	1,87	25,3	0,025	6,5
23	Ш-4	13	1,86	25,2	0,024	6,5
24	Ш-4	12	1,8	24,7	0,025	6,5

Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$
--------------------------------------	--

Таблица В.13 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,844215	1		
C	0,665517	0,913481	1	
E	0,761262	0,949532	0,892915	

Таблица В.14 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,88445
Коэффициент детерминации	0,782253
Нормированный R-квадрат	0,760478
Стандартная ошибка	0,556629
Наблюдения	12

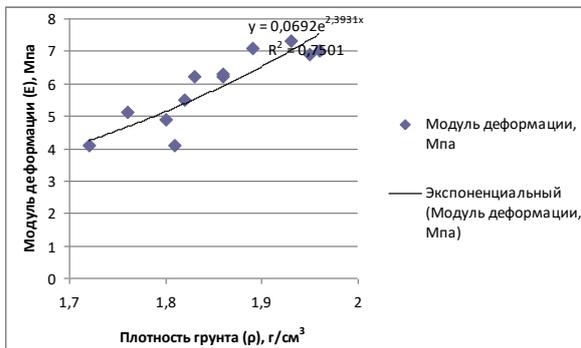
Таблица В.15 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	11,1308	11,1308	35,92478	0,000133
Остаток	10	3,098363	0,309836		
Итого	11	14,22917			

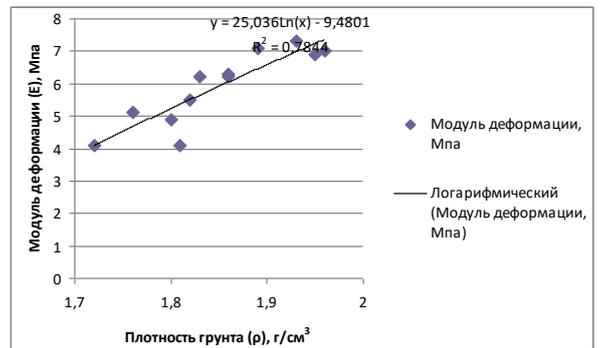
Таблица В.16 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-19,1507	4,181178	-4,58021	0,00101	-28,4669	-9,83442	-28,4669	-9,83442
Плотность грунта $\rho$	13,5425	2,259444	5,993729	0,000133	8,508141	18,57685	8,508141	18,57685

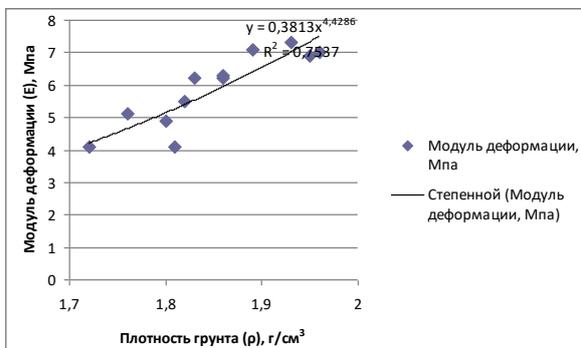
На рисунке В.4 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



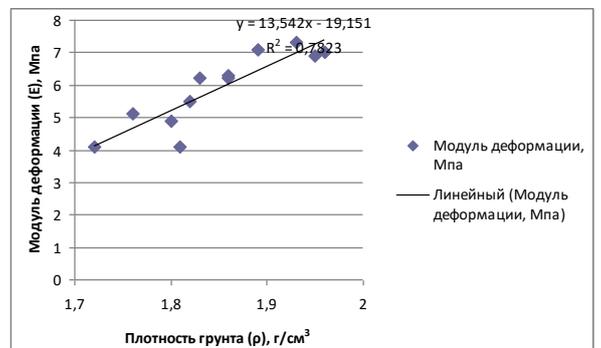
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.4 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.17 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,935953
Коэффициент детерминации	0,876008
Нормированный R-квадрат	0,863609
Стандартная ошибка	0,420036
Наблюдения	12

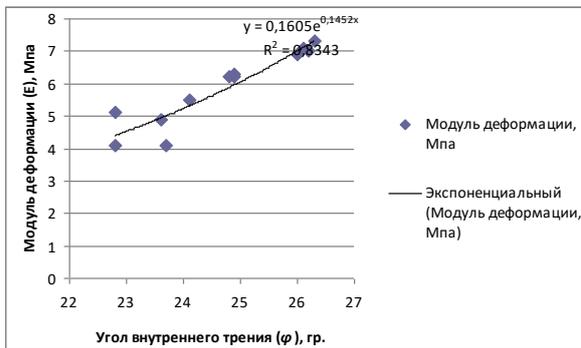
Таблица В.18 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	12,46486	12,46486	70,65024	7,62E-06
Остаток	10	1,764306	0,176431		
Итого	11	14,22917			

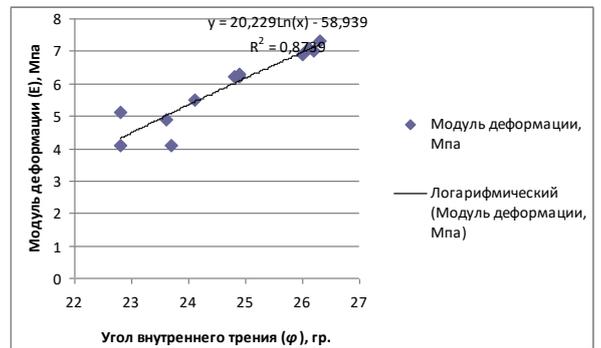
Таблица В.19 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-14,4594	2,424233	-5,96453	0,000139	-19,8609	-9,05788	-19,8609	-9,05788
Угол внутреннего трения φ	0,824486	0,09809	8,40537	7,62E-06	0,605927	1,043046	0,605927	1,043046

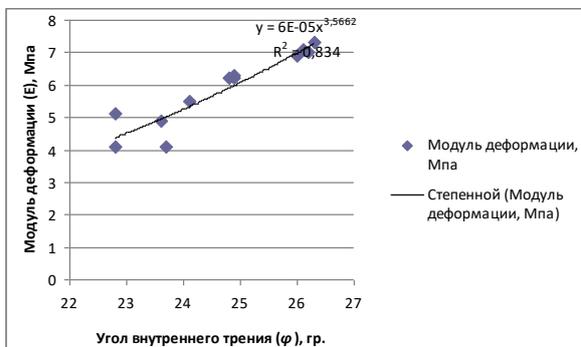
На рисунке В.5 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



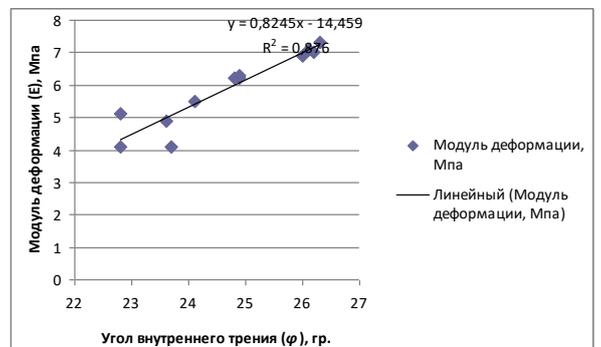
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.5 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.20 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,852585
R-квадрат	0,726901
Нормированный R-квадрат	0,699592
Стандартная ошибка	0,623375
Наблюдения	12

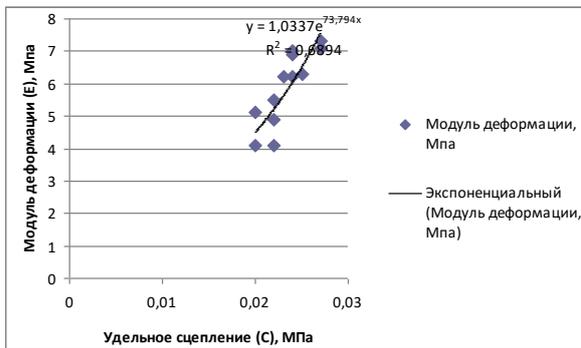
Таблица В.21 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	10,3432	10,3432	26,61681	0,000426
Остаток	10	3,885966	0,388597		
Итого	11	14,22917			

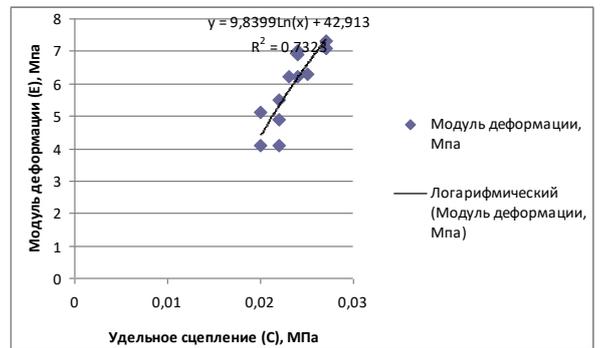
Таблица В.22 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-3,90568	1,907532	-2,04751	0,067791	-8,15593	0,344564	-8,15593	0,344564
Удельное сцепление C	419,8864	81,38677	5,159148	0,000426	238,5454	601,2274	238,5454	601,2274

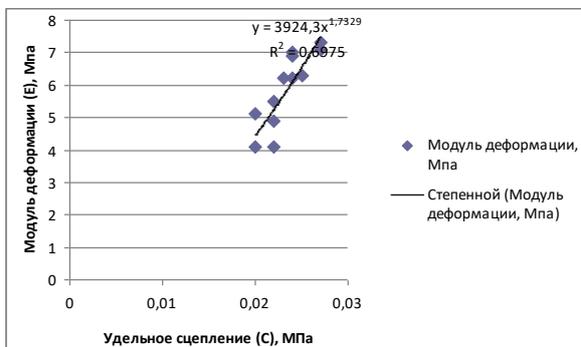
На рисунке В.6 приведены графики зависимости модуля деформации от удельного сцепления, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



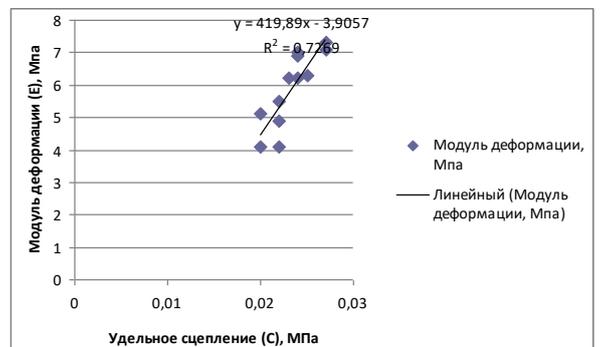
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.6 – Зависимости модуля деформации от удельного сцепления в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 72 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.23 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 72 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	г	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	20	1,94	31,5	0,02	7,9
2	Ш-1	24	1,94	31,3	0,019	7,7
3	Ш-1	28	1,81	27,6	0,021	6,4
4	Ш-1	20	1,76	23,5	0,021	4,8
5	Ш-1	18	1,79	29,6	0,015	6,4
6	Ш-1	16	1,8	28,7	0,016	6,5
7	Ш-1	12	1,83	30,2	0,018	6,8
8	Ш-2	15	1,92	31,4	0,018	7,6
9	Ш-2	13	1,89	31	0,018	7,5
10	Ш-2	15	1,77	28,6	0,015	6,4
11	Ш-2	15	1,67	22,6	0,019	3,7
12	Ш-2	12	1,7	23,2	0,021	4,5
13	Ш-2	14	1,81	24,7	0,023	6,1
14	Ш-2	12	1,83	29,6	0,024	6,2
15	Ш-3	15	1,9	31,4	0,019	7,8
16	Ш-3	15	1,89	31,1	0,019	7,3
17	Ш-3	17	1,85	30	0,018	7
18	Ш-3	16	1,86	25,1	0,024	6,3
19	Ш-3	14	1,85	25,2	0,023	6,2
20	Ш-3	15	1,86	24,6	0,023	6
21	Ш-3	15	1,87	24,7	0,024	6,1
22	Ш-4	14	1,9	31,5	0,019	7,9
23	Ш-4	13	1,86	31,1	0,018	7,7
24	Ш-4	12	1,85	29,9	0,017	7
25	Ш-4	16	1,84	28,8	0,024	6,8
26	Ш-4	25	1,8	24,8	0,023	6,1
27	Ш-4	18	1,8	24,7	0,023	6
28	Ш-4	14	1,79	24,6	0,024	6,2

Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$
--------------------------------------	--

Таблица В.24 – Матрица парных коэффициентов корреляции

Коэффициенты корреляции					
	r	$\rho$	$\varphi$	C	E
r	1				
$\rho$	0,861581	1			
$\varphi$	-0,01604	-0,35167	1		
C	0,944141	0,937675	-0,23693	1	
E					1

Таблица В.25 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,944141
Коэффициент детерминации	0,891402
Нормированный R-квадрат	0,882352
Стандартная ошибка	0,428232
Наблюдения	14

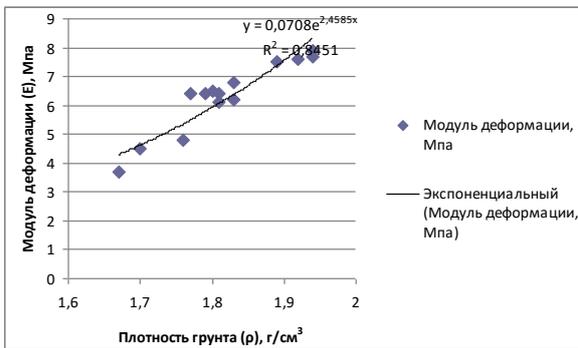
Таблица В.26 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	18,06298	18,06298	98,4991	3,89E-07
Остаток	12	2,200587	0,183382		
Итого	13	20,26357			

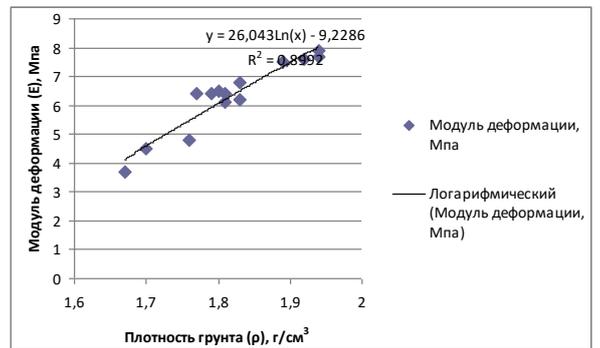
Таблица В.27 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-19,6783	2,622208	-7,50449	7,19E-06	-25,3916	-13,965	-25,3916	-13,965
Плотность грунта $\rho$	14,2968	1,440531	9,924671	3,89E-07	11,15815	17,43545	11,15815	17,43545

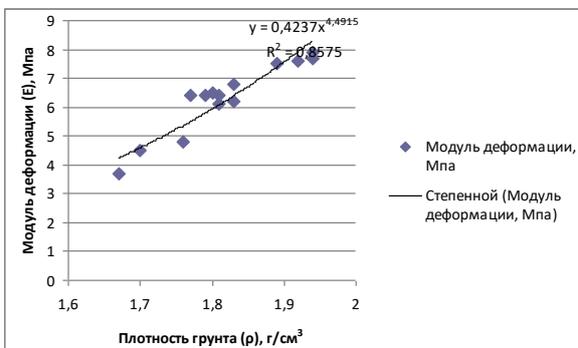
На рисунке В.7 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



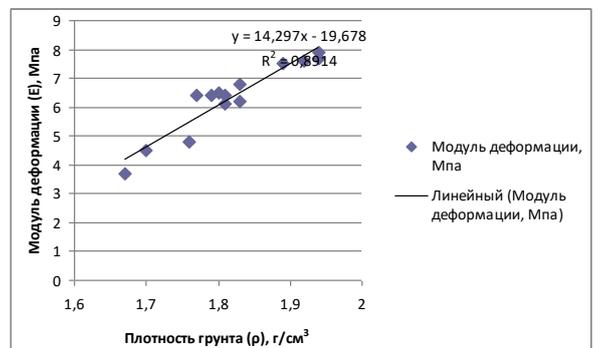
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.7 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.28 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,937675
Коэффициент детерминации	0,879234
Нормированный R-квадрат	0,86917
Стандартная ошибка	0,451585
Наблюдения	14

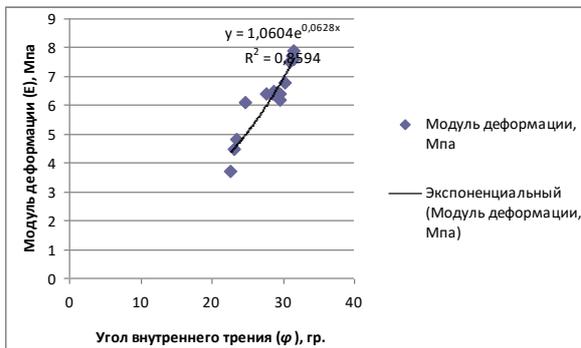
Таблица В.29 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	17,81642	17,81642	87,3658	7,39E-07
Остаток	12	2,447148	0,203929		
Итого	13	20,26357			

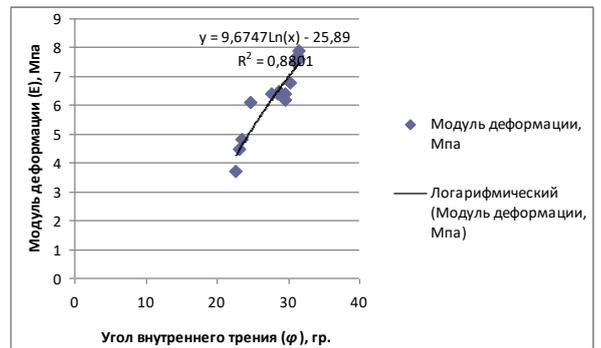
Таблица В.30 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-3,7833	1,087787	-3,47798	0,004563	-6,15338	-1,41322	-6,15338	-1,41322
Угол внутреннего трения φ	0,359508	0,038462	9,346968	7,39E-07	0,275705	0,44331	0,275705	0,44331

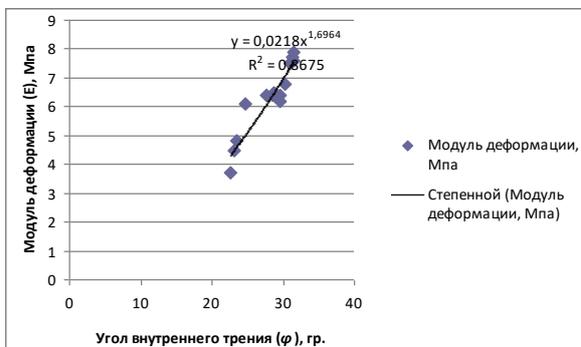
На рисунке В.8 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



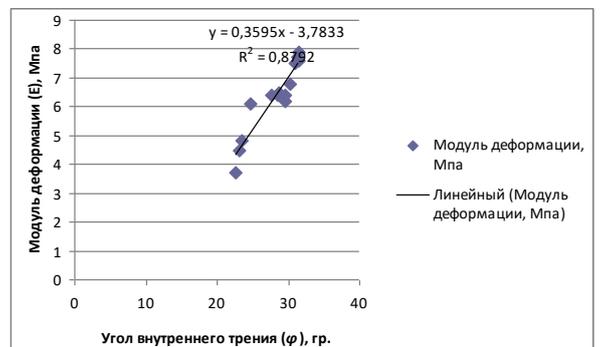
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.8 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.31 – Итоги регрессионной статистик

Показатель	Число
Множественный R	0,236931
R-квадрат	0,056136
Нормированный R-квадрат	-0,02252
Стандартная ошибка	1,262473
Наблюдения	14

Таблица В.32 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	1,137519	1,137519	0,713698	0,414745
Остаток	12	19,12605	1,593838		
Итого	13	20,26357			

Таблица В.33 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	8,386842	2,468009	3,398221	0,005287	3,009512	13,76417	3,009512	13,76417
Удельное сцепление C	-107,895	127,7153	-0,84481	0,414745	-386,163	170,3731	-386,163	170,3731

Уравнение регрессии общего вида:  $y = -107,895 \cdot C + 8,387$ .

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 156 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.34 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 156 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	г	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	3	1,86	25	0,031	7,1
2	Ш-1	7	1,86	24,8	0,03	7
3	Ш-1	4	1,86	23,6	0,026	5,6
4	Ш-1	4	1,75	22,1	0,024	3,4
5	Ш-1	2	1,75	22,5	0,023	3,9
6	Ш-1	3	1,81	23,3	0,025	4,9
7	Ш-2	4	1,87	31,2	0,019	7,7
8	Ш-2	6	1,88	30,8	0,018	7,5
9	Ш-2	4	1,77	24,6	0,022	6
10	Ш-2	3	1,71	22,7	0,02	3,7
11	Ш-2	5	1,77	23,5	0,022	4,7
12	Ш-2	2	1,79	24	0,022	5,3
13	Ш-3	4	1,88	31,4	0,019	7,8
14	Ш-3	5	1,88	31,4	0,019	7,8
15	Ш-3	5	1,89	31	0,019	7,6
16	Ш-3	6	1,87	25,8	0,026	6,9
17	Ш-3	4	1,87	25,7	0,026	6,8
18	Ш-3	5	1,79	24,2	0,022	5,6
19	Ш-4	3	1,88	31,4	0,019	7,8
20	Ш-4	5	1,87	31,2	0,019	7,7
21	Ш-4	4	1,85	30,3	0,018	7,1
22	Ш-4	5	1,81	25,2	0,024	6,4
23	Ш-4	5	1,81	25,3	0,024	6,5
24	Ш-4	4	1,72	24,6	0,022	6

Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$
--------------------------------------	--

Таблица В.35 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,70056	1		
C	0,262998	-0,41297	1	
E	0,888687	0,825653	0,105007	1

Таблица В.36 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,888687
Коэффициент детерминации	0,789765
Нормированный R-квадрат	0,768742
Стандартная ошибка	0,726518
Наблюдения	12

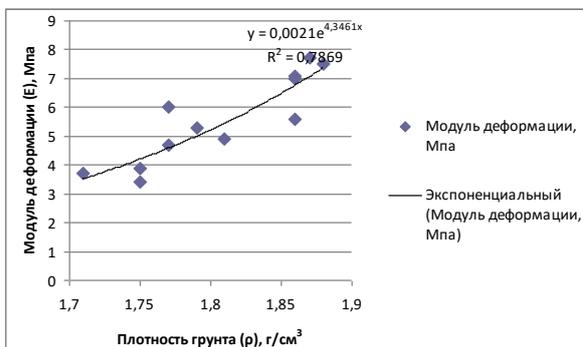
Таблица В.37 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	19,82838	19,82838	37,5659	0,000111
Остаток	10	5,278291	0,527829		
Итого	11	25,10667			

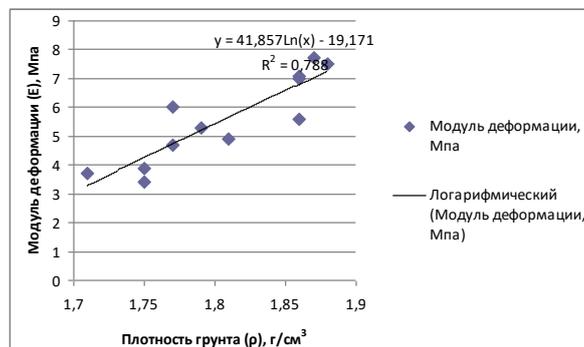
Таблица В.38 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-36,4465	6,857916	-5,31452	0,00034	-51,7269	-21,1662	-51,7269	-21,1662
Плотность грунта $\rho$	23,25455	3,794119	6,129103	0,000111	14,80072	31,70837	14,80072	31,70837

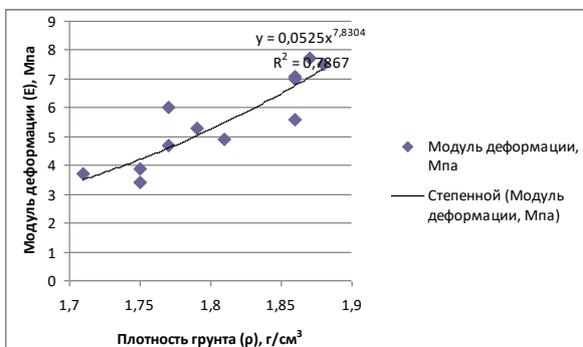
На рисунке В.9 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



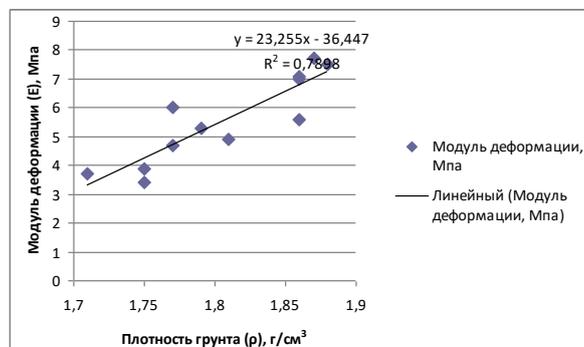
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.9 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.39 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,825653
Коэффициент детерминации	0,681703
Нормированный R-квадрат	0,649873
Стандартная ошибка	0,893945
Наблюдения	12

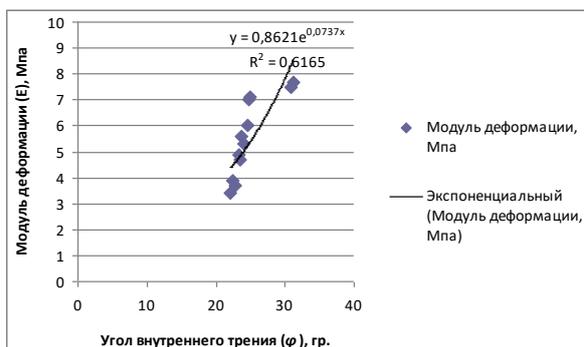
Таблица В.40 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	17,11529	17,11529	21,41721	0,000939
Остаток	10	7,991373	0,799137		
Итого	11	25,10667			

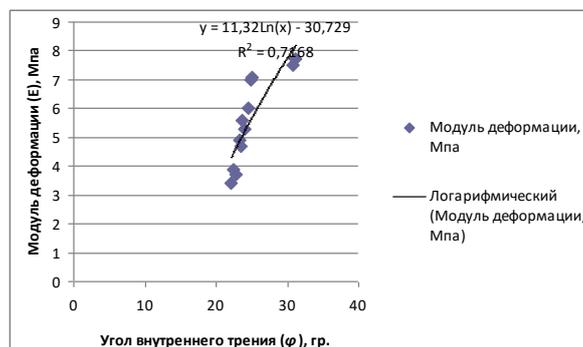
Таблица В.41 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-4,70899	2,23533	-2,10662	0,06139	-9,68962	0,271636	-9,68962	0,271636
Угол внутреннего трения φ	0,413646	0,089381	4,627873	0,000939	0,214492	0,6128	0,214492	0,6128

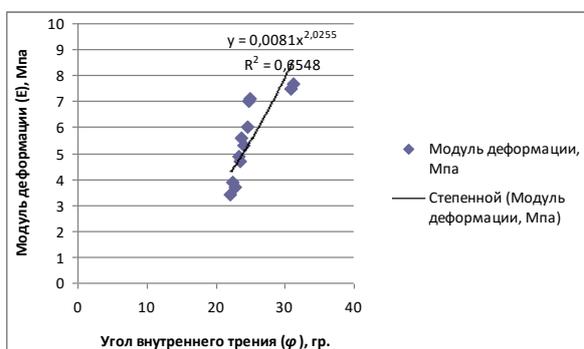
На рисунке В.10 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



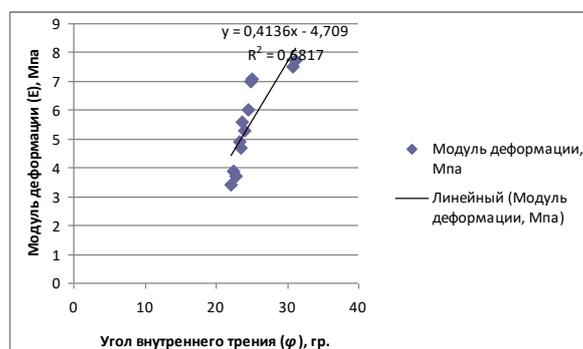
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.10 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.42 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,105007
R-квадрат	0,011026
Нормированный R-квадрат	-0,08787
Стандартная ошибка	1,575748
Наблюдения	12

Таблица В.43 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	0,276836	0,276836	0,111493	0,745347
Остаток	10	24,82983	2,482983		
Итого	11	25,10667			

Таблица В.44 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	4,637288	2,820277	1,644267	0,131148	-1,64668	10,92126	-1,64668	10,92126
Удельное сцепление C	39,54802	118,4405	0,333906	0,745347	-224,354	303,4499	-224,354	303,4499

Уравнение регрессии общего вида:  $y=39,548 \cdot C+4,637$ .

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 171 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.45 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 171 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	r	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	1	1,94	25,2	0,032	7,2
2	Ш-1	4	1,83	23,8	0,027	5,9
3	Ш-1	2	1,71	22,7	0,02	3,7
4	Ш-1	3	1,85	24,4	0,022	5,8
5	Ш-2	3	1,9	25,1	0,032	7,2
6	Ш-2	2	1,77	23,4	0,026	5,2
7	Ш-2	3	1,8	23,7	0,022	4,9
8	Ш-2	2	1,86	25,1	0,024	6,3
9	Ш-3	4	1,89	26,5	0,028	7,5
10	Ш-3	5	1,91	25,7	0,026	6,8
11	Ш-3	4	1,9	25,2	0,024	6,4
12	Ш-3	3	1,88	25,1	0,024	6,3
13	Ш-4	2	1,88	26,4	0,028	7,4
14	Ш-4	4	1,89	26	0,027	7,1
15	Ш-4	3	1,89	25,8	0,026	6,9
16	Ш-4	2	1,78	24,7	0,022	6,1

Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$
--------------------------------------	--

Таблица В.46 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,951421	1		
C	0,773168	0,660216	1	
E	0,967616	0,937449	0,854836	1

Таблица В.47 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,967616
Коэффициент детерминации	0,93628
Нормированный R-квадрат	0,92566
Стандартная ошибка	0,321866
Наблюдения	8

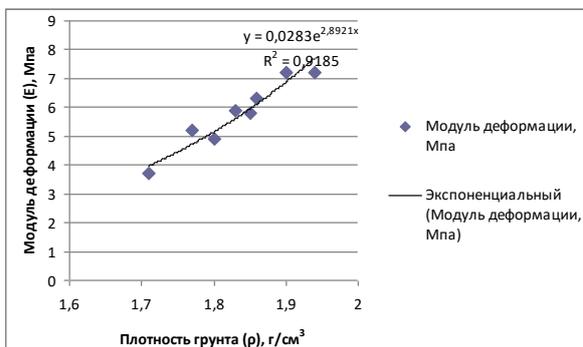
Таблица В.48 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	9,133412	9,133412	88,16203	8,29E-05
Остаток	6	0,621588	0,103598		
Итого	7	9,755			

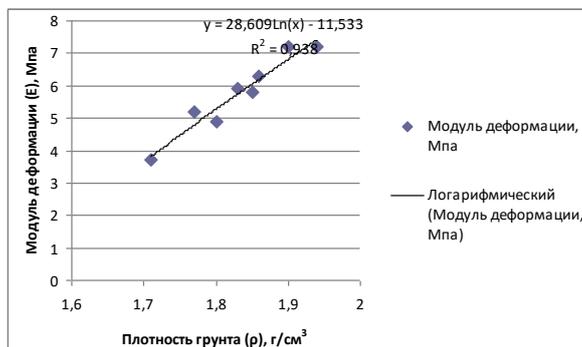
Таблица В.49 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-22,958	3,062248	-7,49711	0,000291	-30,4511	-15,465	-30,4511	-15,465
Плотность грунта $\rho$	15,67968	1,669923	9,389464	8,29E-05	11,59352	19,76583	11,59352	19,76583

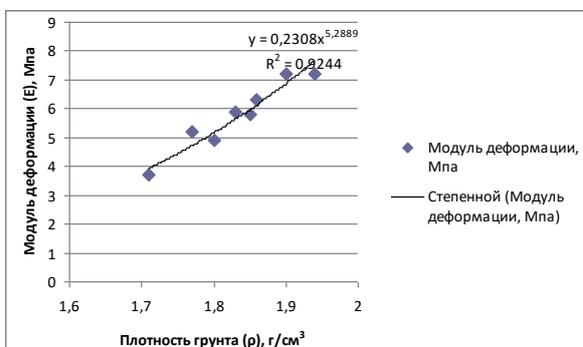
На рисунке В.11 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



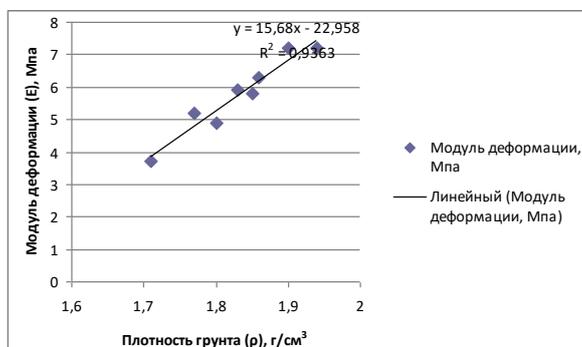
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.11 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.50 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,937449
Коэффициент детерминации	0,878811
Нормированный R-квадрат	0,858613
Стандартная ошибка	0,443884
Наблюдения	8

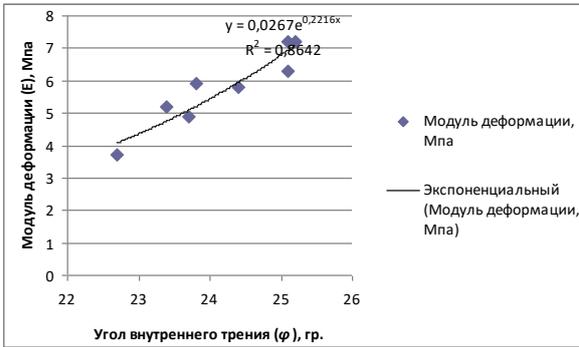
Таблица В.51 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	8,5728	8,5728	43,5094	0,000583
Остаток	6	1,1822	0,197033		
Итого	7	9,755			

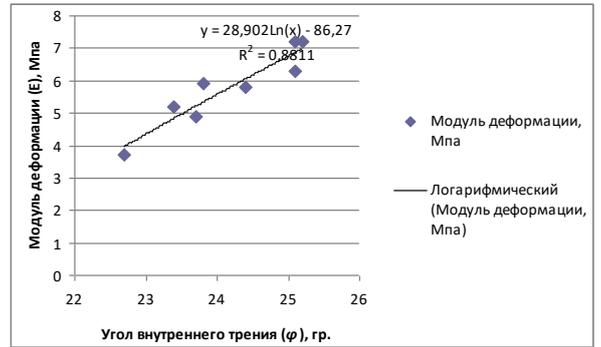
Таблица В.52 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-23,2309	4,400194	-5,27953	0,001866	-33,9978	-12,4641	-33,9978	-12,4641
Угол внутреннего трения φ	1,199832	0,181898	6,596165	0,000583	0,754743	1,644921	0,754743	1,644921

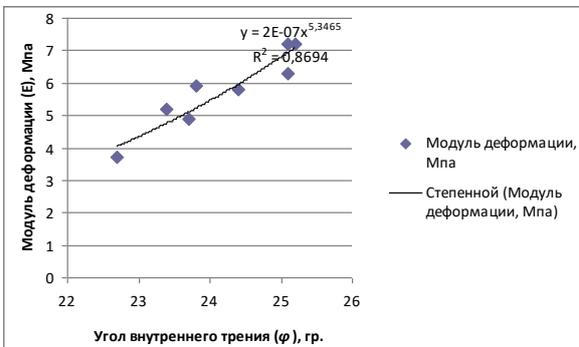
На рисунке В.12 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



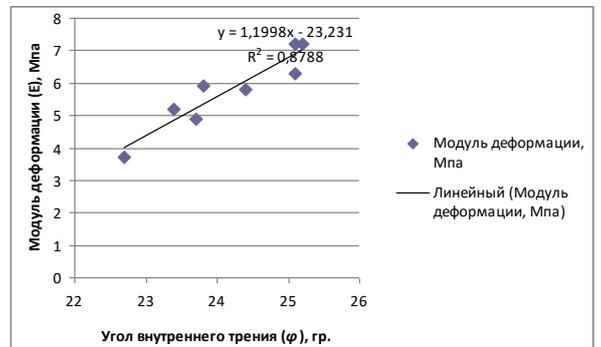
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.12 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.53 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,854836
R-квадрат	0,730745
Нормированный R-квадрат	0,685869
Стандартная ошибка	0,661638
Наблюдения	8

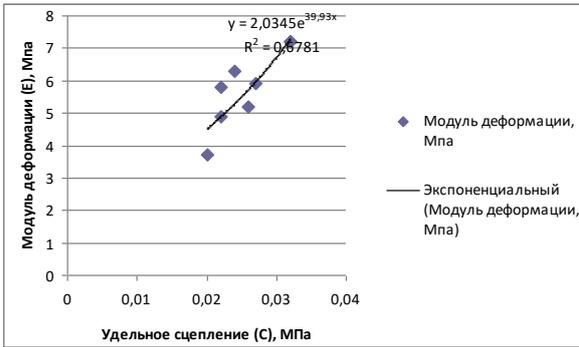
Таблица В.54 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	7,128414	7,128414	16,28368	0,006839
Остаток	6	2,626586	0,437764		
Итого	7	9,755			

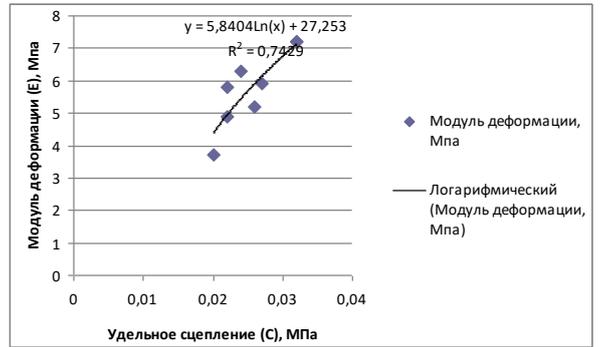
Таблица В.55 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	0,071156	1,432711	0,049665	0,962001	-3,43456	3,576874	-3,43456	3,576874
Удельное сцепление С	222,5891	55,16041	4,035305	0,006839	87,61639	357,5617	87,61639	357,5617

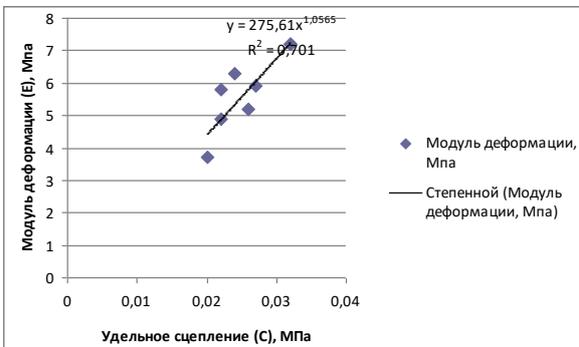
На рисунке В.13 приведены графики зависимости модуля деформации от удельного сцепления, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



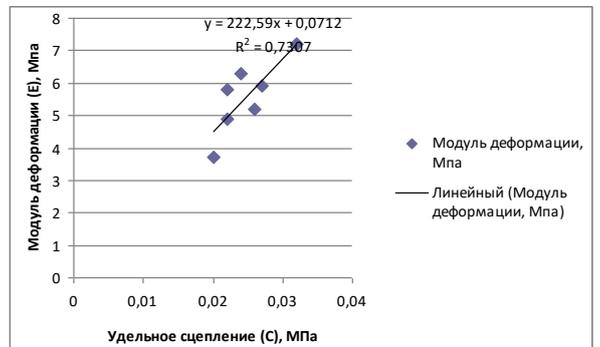
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.13 – Зависимости модуля деформации от удельного сцепления в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 180 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.56 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 180 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	г	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	12	1,92	26,3	0,028	7,3
2	Ш-1	15	1,75	24,7	0,023	6,1
3	Ш-1	13	1,74	23,3	0,021	4,5
4	Ш-1	15	1,79	23,2	0,021	4,2
5	Ш-1	14	1,88	23,2	0,025	5
6	Ш-2	8	1,9	31,9	0,02	8,2
7	Ш-2	10	1,81	30	0,017	7
8	Ш-2	12	1,79	24,1	0,022	5,4
9	Ш-2	10	1,8	24,5	0,022	5,5
10	Ш-2	8	1,84	23,7	0,027	5,7
11	Ш-3	10	1,92	31,8	0,02	8,2
12	Ш-3	12	1,92	31,4	0,019	7,8
13	Ш-3	14	1,89	25,9	0,027	7
14	Ш-3	13	1,92	25,8	0,026	6,9
15	Ш-3	11	1,88	25	0,023	6,2
16	Ш-4	15	1,87	31,2	0,019	7,7
17	Ш-4	20	1,8	30,3	0,018	7,1
18	Ш-4	28	1,81	29,8	0,017	6,9
19	Ш-4	24	1,81	25	0,023	6,2
20	Ш-4	20	1,85	24,6	0,022	6

Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$
--------------------------------------	--

Таблица В.57 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,435603	1		
C	0,436537	-0,4687	1	
E	0,606509	0,888613	-0,0538	1

Таблица В.58 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,606509
Коэффициент детерминации	0,367853
Нормированный R-квадрат	0,288835
Стандартная ошибка	1,074421
Наблюдения	10

Таблица В.59 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	5,373965	5,373965	4,655285	0,063024
Остаток	8	9,235035	1,154379		
Итого	9	14,609			

Таблица В.60 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-17,0299	10,62823	-1,60232	0,147752	-41,5386	7,478878	-41,5386	7,478878
Плотность грунта $\rho$	12,57951	5,830294	2,157611	0,063024	-0,86518	26,02419	-0,86518	26,02419

Уравнение общего вида:  $y=12,580*\rho-17,030$ .

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.61 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,888613
Коэффициент детерминации	0,789633
Нормированный R-квадрат	0,763337
Стандартная ошибка	0,619804
Наблюдения	10

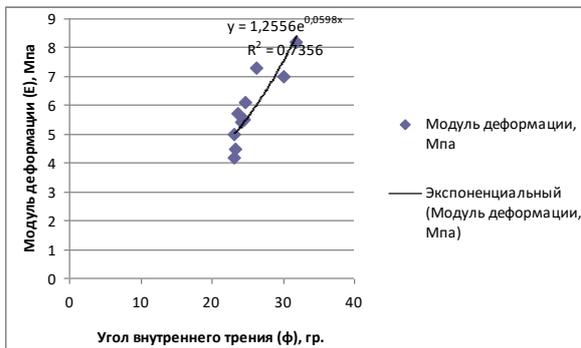
Таблица В.62 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	11,53575	11,53575	30,02877	0,000588
Остаток	8	3,073252	0,384157		
Итого	9	14,609			

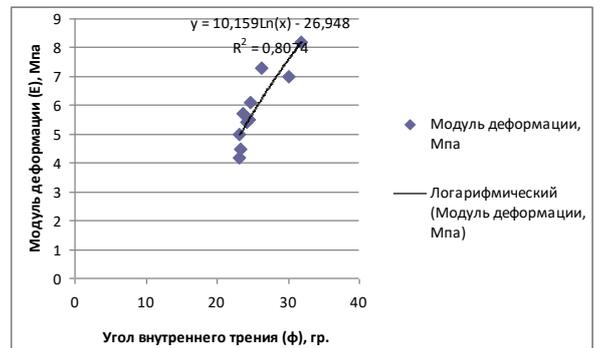
Таблица В.63 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-3,54999	1,733787	-2,04753	0,074794	-7,54811	0,44813	-7,54811	0,44813
Угол внутреннего трения φ	0,370341	0,067582	5,479851	0,000588	0,214496	0,526186	0,214496	0,526186

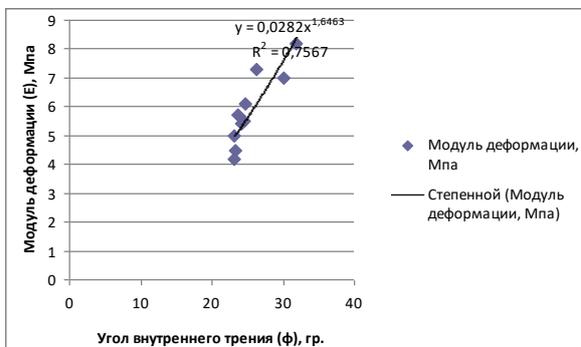
На рисунке В.14 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



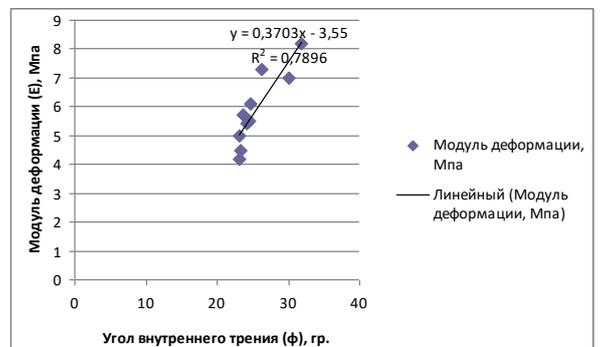
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.14 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.64 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,053805
R-квадрат	0,002895
Нормированный R-квадрат	-0,12174
Стандартная ошибка	1,349384
Наблюдения	10

Таблица В.65 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	0,042293	0,042293	0,023227	0,882642
Остаток	8	14,56671	1,820838		
Итого	9	14,609			

Таблица В.66 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	6,358537	3,103775	2,048646	0,074665	-0,79878	13,51585	-0,79878	13,51585
Удельное сцепление C	-20,7317	136,0311	-0,1524	0,882642	-334,42	292,9565	-334,42	292,9565

Уравнение общего вида:  $y = -20,732 \cdot C + 6,359$ .

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 182 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.67 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 182 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	г	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	10	1,93	26,3	0,028	7,3
2	Ш-1	20	1,82	24,6	0,022	6
3	Ш-1	25	1,79	23,2	0,021	4,2
4	Ш-1	12	1,9	24,2	0,022	5,6
5	Ш-2	12	1,93	26,3	0,028	7,3
6	Ш-2	14	1,86	25	0,023	6,2
7	Ш-2	11	1,85	22,8	0,024	4,3
8	Ш-2	10	1,96	25	0,024	6,3
9	Ш-3	9	2,09	26,3	0,028	7,3
10	Ш-3	12	2,05	25,9	0,026	7
11	Ш-3	8	2,04	25,6	0,025	7,1
12	Ш-3	10	2	25,2	0,024	6,4
13	Ш-4	10	1,89	31,6	0,019	7,9
14	Ш-4	15	1,91	31	0,019	7,6
15	Ш-4	14	1,81	25,3	0,025	6,5
16	Ш-4	10	1,85	24,4	0,022	5,8

Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$
--------------------------------------	--

Таблица В.68 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,687887	1		
C	0,69148	0,761813	1	
E	0,723052	0,989229	0,743919	1

Таблица В.69 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,723052
Коэффициент детерминации	0,522804
Нормированный R-квадрат	0,443271
Стандартная ошибка	0,879237
Наблюдения	8

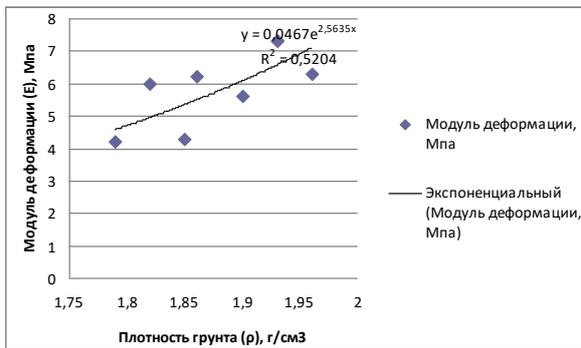
Таблица В.70 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	5,081653	5,081653	6,573445	0,042686
Остаток	6	4,638347	0,773058		
Итого	7	9,72			

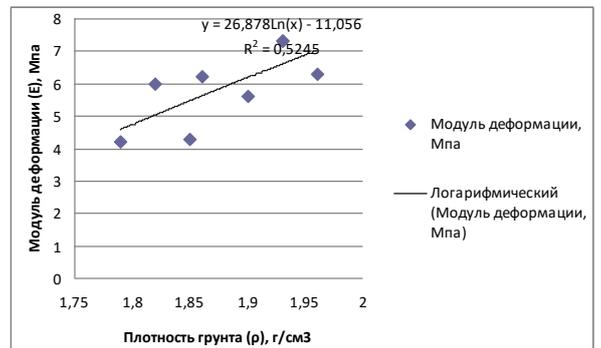
Таблица В.71 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-21,0113	10,50094	-2,0009	0,092312	-46,7062	4,683595	-46,7062	4,683595
Плотность грунта $\rho$	14,31452	5,583161	2,563873	0,042686	0,653014	27,97602	0,653014	27,97602

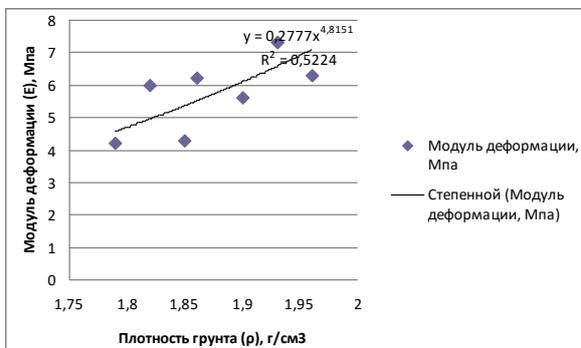
На рисунке В.15 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



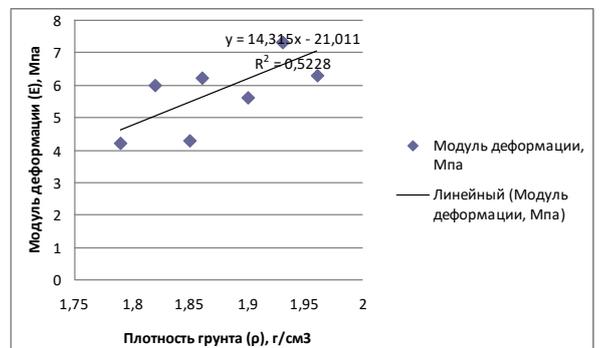
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.15 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.72 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,989229
Коэффициент детерминации	0,978573
Нормированный R-квадрат	0,975002
Стандартная ошибка	0,186311
Наблюдения	8

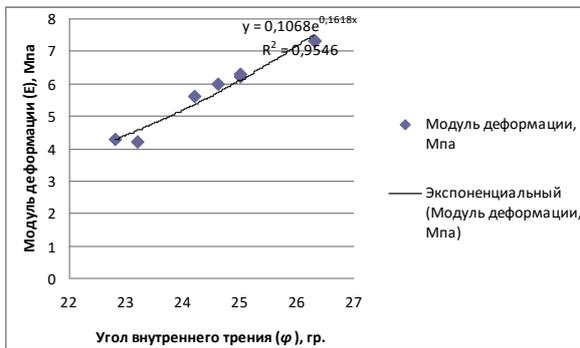
Таблица В.73 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	9,51173	9,51173	274,0214	3,1E-06
Остаток	6	0,20827	0,034712		
Итого	7	9,72			

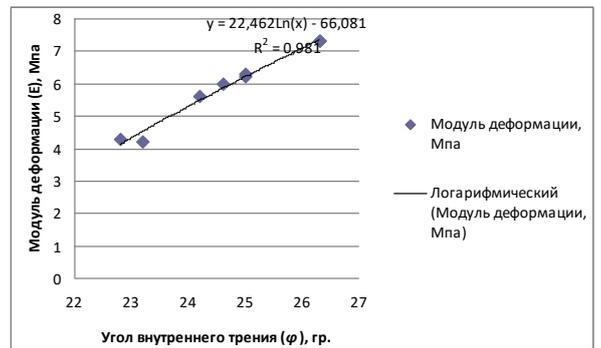
Таблица В.74 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-16,6242	1,362276	-12,2032	1,84E-05	-19,9575	-13,2908	-19,9575	-13,2908
Угол внутреннего трения φ	0,912834	0,055144	16,55359	3,1E-06	0,777901	1,047767	0,777901	1,047767

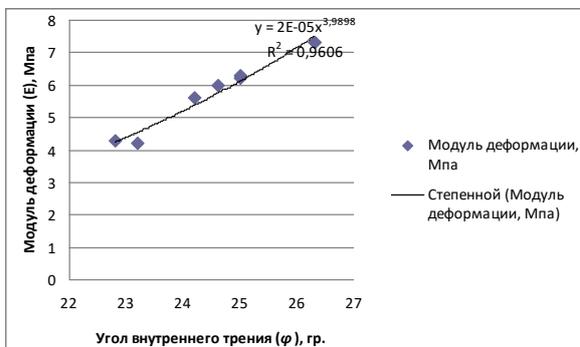
На рисунке В.16 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



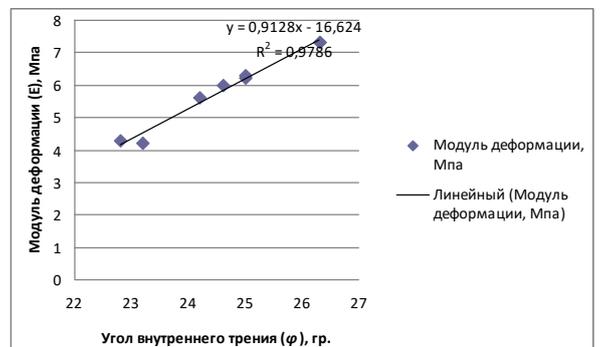
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.16 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.75 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,743919
R-квадрат	0,553416
Нормированный R-квадрат	0,478985
Стандартная ошибка	0,850568
Наблюдения	8

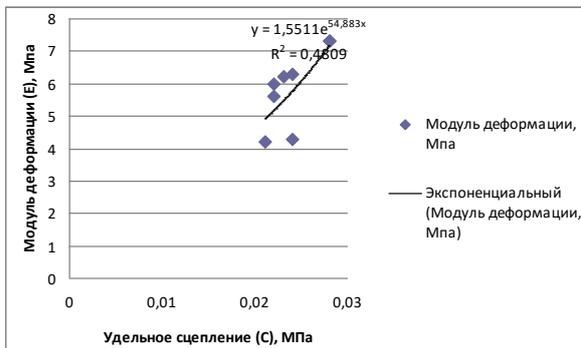
Таблица В.76 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	5,3792	5,3792	7,435311	0,034333
Остаток	6	4,3408	0,723467		
Итого	7	9,72			

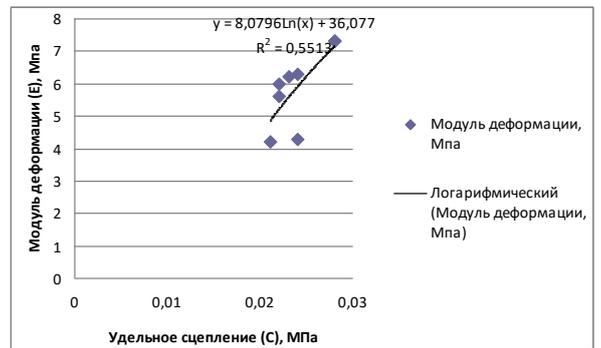
Таблица В.77 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-1,972	2,902545	-0,6794	0,522214	-9,07427	5,130273	-9,07427	5,130273
Удельное сцепление С	328	120,2885	2,726777	0,034333	33,66454	622,3355	33,66454	622,3355

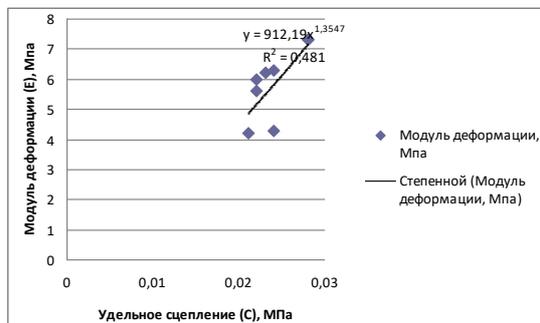
На рисунке В.17 приведены графики зависимости модуля деформации от удельного сцепления, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



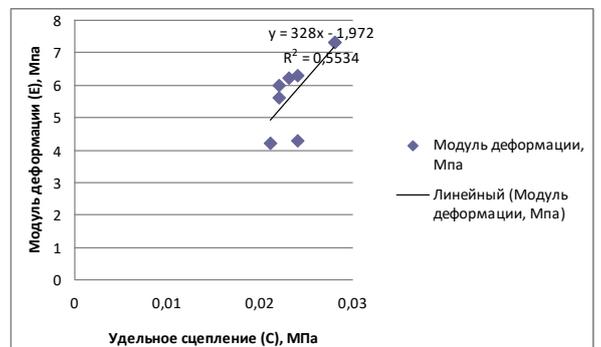
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.17 – Зависимости модуля деформации от удельного сцепления в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы на км 201 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.78 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 201 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	г	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	10	1,92	26,2	0,019	7,6
2	Ш-1	11	1,89	24,7	0,023	6,1
3	Ш-1	12	1,72	23	0,021	4
4	Ш-1	14	1,76	22,8	0,025	4,3
5	Ш-1	11	1,85	23,9	0,022	5,1
6	Ш-1	10	1,89	24,2	0,022	5,6
7	Ш-2	5	1,92	26,3	0,028	7,3
8	Ш-2	7	1,81	23,5	0,026	5,4
9	Ш-2	12	1,75	22	0,024	3,4
10	Ш-2	10	1,81	22,5	0,025	3,9
11	Ш-2	9	1,9	23,2	0,026	4,8
12	Ш-2	8	1,86	23,5	0,026	5,5
13	Ш-3	10	1,93	31,9	0,019	8,2
14	Ш-3	12	1,97	31,4	0,019	7,8
15	Ш-3	14	1,98	26	0,027	7,1
16	Ш-3	18	1,98	25,8	0,026	6,9
17	Ш-3	11	1,91	25,2	0,024	6,4
18	Ш-3	9	1,88	24,7	0,023	6,1
19	Ш-4	8	1,93	26,4	0,028	7,4
20	Ш-4	13	1,99	25,8	0,026	6,9
21	Ш-4	15	1,98	25,4	0,025	6,6
22	Ш-4	14	1,96	25,5	0,025	6,6
23	Ш-4	9	1,91	24,7	0,022	6,1
24	Ш-4	8	1,92	24,6	0,022	6

Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$
--------------------------------------	--

Таблица В.79 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,780045	1		
C	0,051062	-0,16153	1	
E	0,826208	0,974718	-0,09371	1

Таблица В.80 - Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,826208
Коэффициент детерминации	0,68262
Нормированный R-квадрат	0,650882
Стандартная ошибка	0,768121
Наблюдения	12

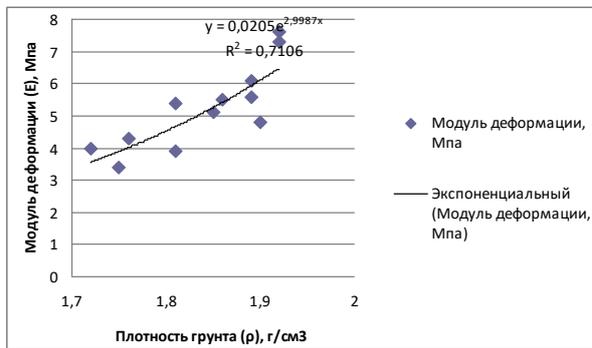
Таблица В.81 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	12,6899	12,6899	21,50797	0,000925
Остаток	10	5,900095	0,59001		
Итого	11	18,59			

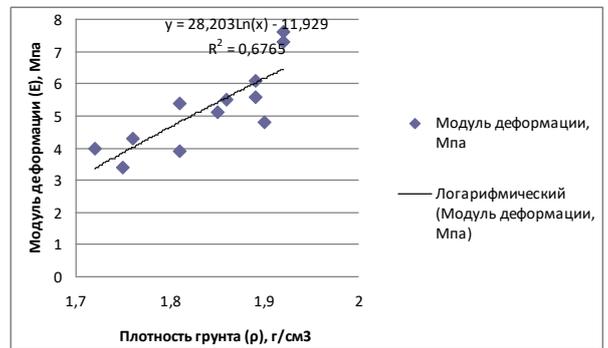
Таблица В.82 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-23,3295	6,166453	-3,78329	0,003583	-37,0692	-9,58975	-37,0692	-9,58975
Плотность грунта $\rho$	15,53232	3,349166	4,637668	0,000925	8,069913	22,99473	8,069913	22,99473

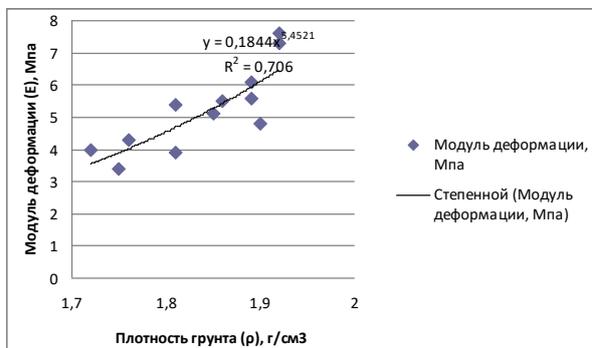
На рисунке В.18 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



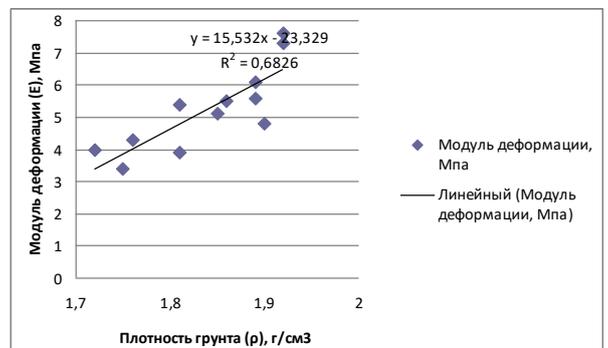
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.18 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.83 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,974718
Коэффициент детерминации	0,950076
Нормированный R-квадрат	0,945084
Стандартная ошибка	0,304645
Наблюдения	12

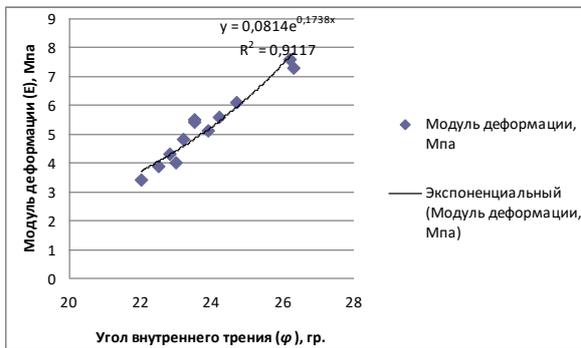
Таблица В.84 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	17,66191	17,66191	190,3047	7,8E-08
Остаток	10	0,928086	0,092809		
Итого	11	18,59			

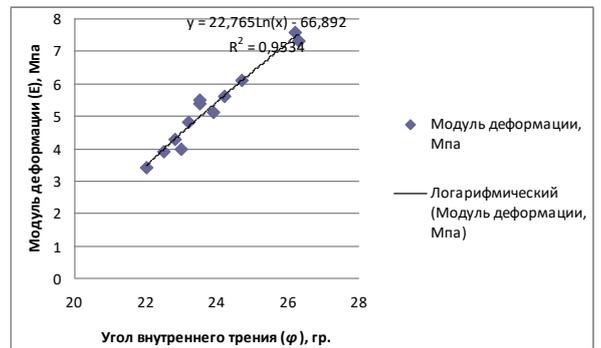
Таблица В.85 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-17,0774	1,620889	-10,5358	9,83E-07	-20,6889	-13,4658	-20,6889	-13,4658
Угол внутреннего трения φ	0,937469	0,067957	13,7951	7,8E-08	0,786052	1,088886	0,786052	1,088886

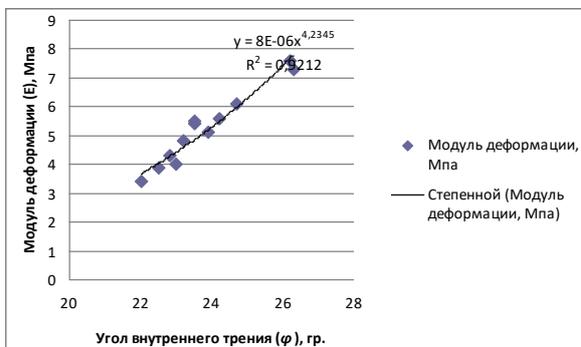
На рисунке В.19 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



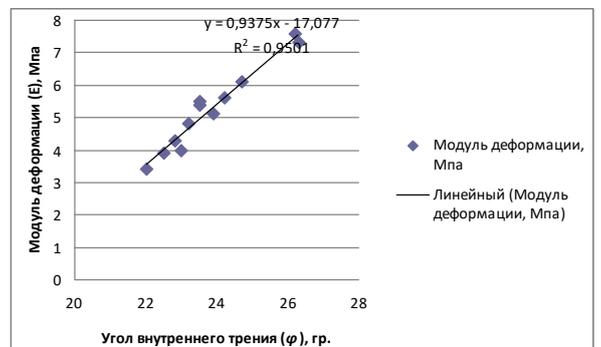
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.19 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.86 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,093706
R-квадрат	0,008781
Нормированный R-квадрат	-0,09034
Стандартная ошибка	1,357452
Наблюдения	12

Таблица В.87 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	0,163234	0,163234	0,088585	0,772075
Остаток	10	18,42677	1,842677		
Итого	11	18,59			

Таблица В.88 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	6,3816	3,822138	1,669641	0,125947	-2,13465	14,89785	-2,13465	14,89785
Удельное сцепление C	-47,3143	158,9685	-0,29763	0,772075	-401,518	306,8897	-401,518	306,8897

Уравнение общего вида:  $y = -47,314 \cdot C + 6,382$ .

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 205 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.89 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 205 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	г	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	21	1,93	26,3	0,028	7,3
2	Ш-1	25	1,84	24,7	0,022	6,1
3	Ш-1	30	1,8	22,7	0,02	3,7
4	Ш-1	20	1,9	24,1	0,022	5,3
5	Ш-2	10	1,97	26,5	0,028	7,5
6	Ш-2	15	1,93	24,8	0,023	6,2
7	Ш-2	17	1,84	23	0,025	4,6
8	Ш-2	10	1,94	24,7	0,023	6,1
9	Ш-3	12	1,97	26,8	0,029	7,7
10	Ш-3	15	2	26,4	0,028	7,4
11	Ш-3	20	2	25,3	0,024	6,5
12	Ш-3	14	1,89	24,8	0,023	6,2
13	Ш-4	15	1,94	31,6	0,019	7,9
14	Ш-4	22	1,94	31	0,019	7,6
15	Ш-4	18	1,94	25,4	0,025	6,6
16	Ш-4	15	1,88	24,2	0,023	5,6
Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$					

Таблица В.90 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,828988	1		
C	0,643605	0,756038	1	
E	0,842292	0,986167	0,757047	1

Таблица В.91 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,842292
Коэффициент детерминации	0,709455
Нормированный R-квадрат	0,661031
Стандартная ошибка	0,748187
Наблюдения	8

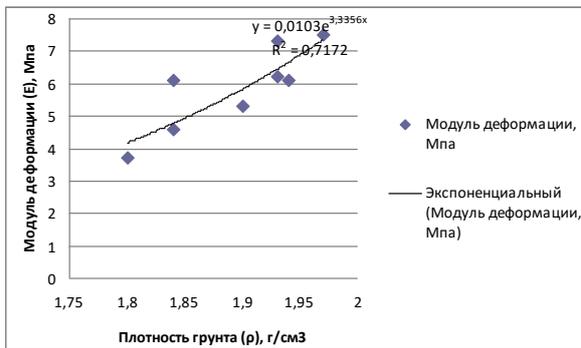
Таблица В.92 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	8,2013	8,2013	14,65085	0,008683
Остаток	6	3,3587	0,559783		
Итого	7	11,56			

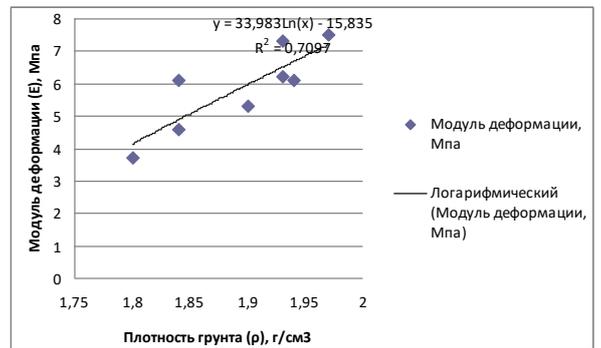
Таблица В.93 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-28,3221	8,931628	-3,17099	0,019295	-50,177	-6,46718	-50,177	-6,46718
Плотность грунта $\rho$	18,04467	4,714302	3,827643	0,008683	6,509183	29,58015	6,509183	29,58015

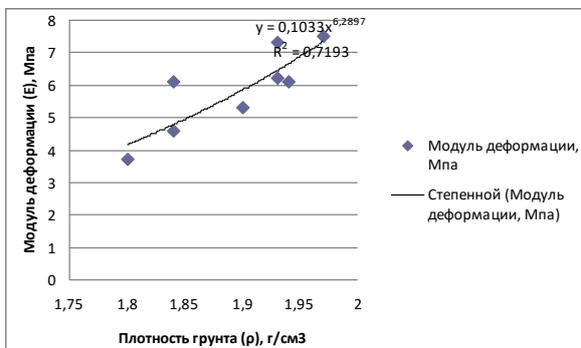
На рисунке В.20 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



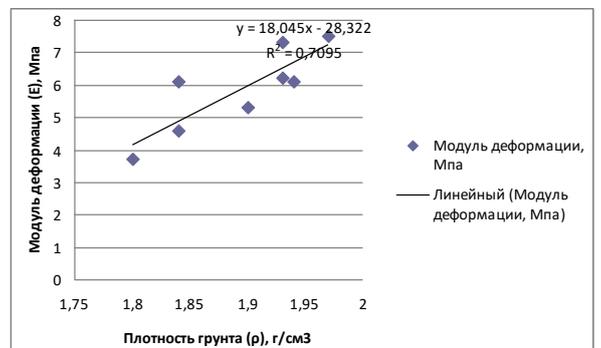
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.20 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.94 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,986167
Коэффициент детерминации	0,972526
Нормированный R-квадрат	0,967947
Стандартная ошибка	0,230071
Наблюдения	8

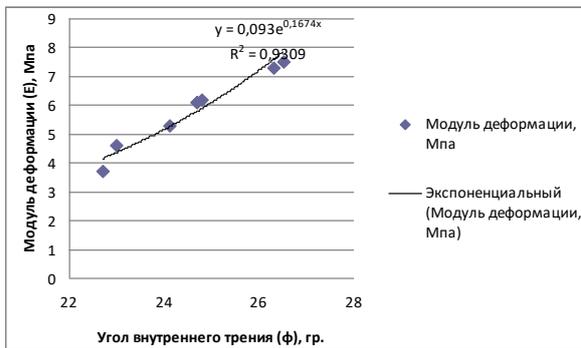
Таблица В.95 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	11,2424	11,2424	212,3905	6,55E-06
Остаток	6	0,317596	0,052933		
Итого	7	11,56			

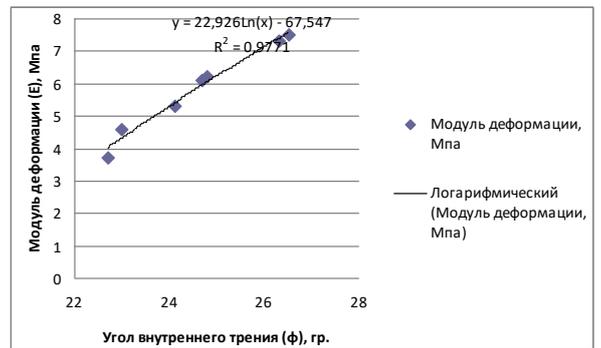
Таблица В.96 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-17,0443	1,573045	-10,8352	3,66E-05	-20,8934	-13,1952	-20,8934	-13,1952
Угол внутреннего трения φ	0,930663	0,063859	14,57362	6,55E-06	0,774404	1,086921	0,774404	1,086921

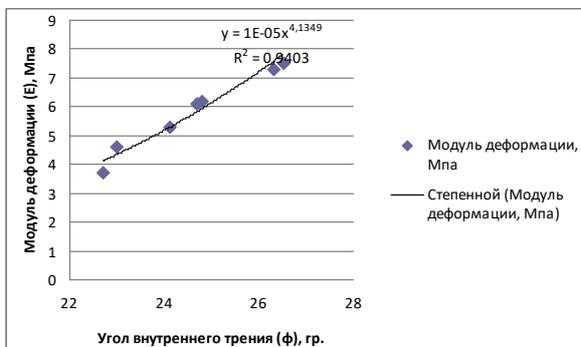
На рисунке В.21 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



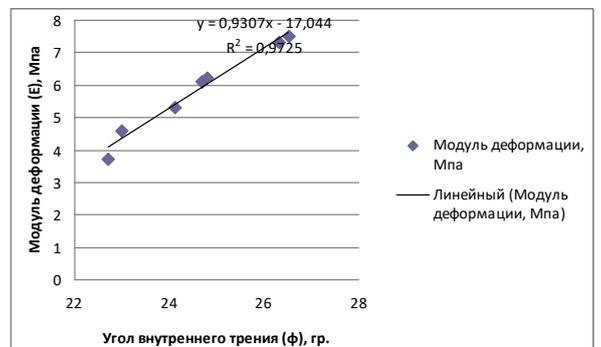
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.21 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.97 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,757047
R-квадрат	0,57312
Нормированный R-квадрат	0,501973
Стандартная ошибка	0,906893
Наблюдения	8

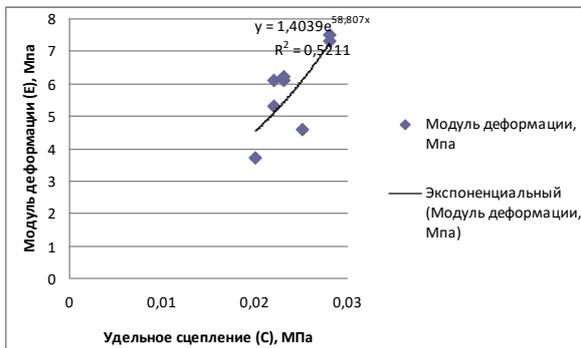
Таблица В.98 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	6,625265	6,625265	8,055467	0,029636
Остаток	6	4,934735	0,822456		
Итого	7	11,56			

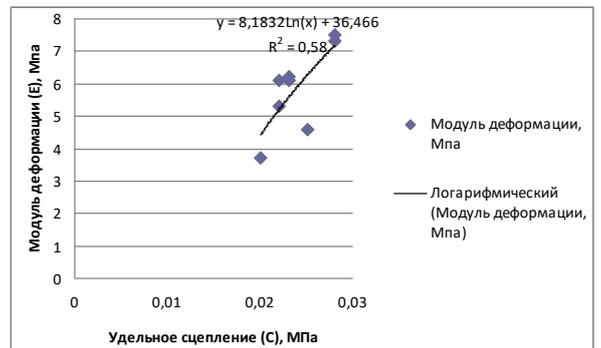
Таблица В.99 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-2,15902	2,84001	-0,76022	0,475926	-9,10828	4,79023	-9,10828	4,79023
Удельное сцепление С	335,4565	118,1927	2,838215	0,029636	46,24925	624,6637	46,24925	624,6637

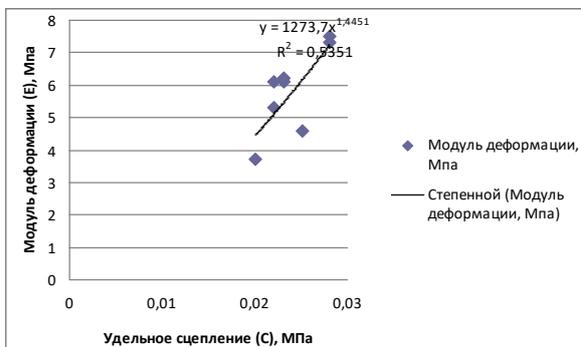
На рисунке В.22 приведены графики зависимости модуля деформации от удельного сцепления, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



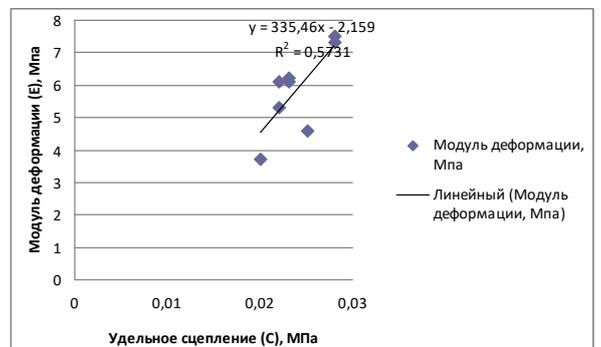
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.22 – Зависимости модуля деформации от удельного сцепления в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 226 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.100 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 226 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	r	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	9	1,92	31,6	0,019	7,9
2	Ш-1	10	1,84	25,3	0,025	6,5
3	Ш-1	10	1,78	23,7	0,022	4,9
4	Ш-1	7	1,9	25,3	0,024	6,5
5	Ш-2	8	1,88	26,4	0,028	7,4
6	Ш-2	10	1,8	25,2	0,024	6,4
7	Ш-2	12	1,73	23,7	0,022	4,9
8	Ш-2	7	1,86	25,2	0,024	6,4
9	Ш-3	10	1,9	26,6	0,028	7,6
10	Ш-3	12	1,85	30,9	0,019	7,4
11	Ш-3	15	1,85	25,4	0,025	6,6
12	Ш-3	12	1,87	25,3	0,024	6,5
13	Ш-4	10	1,88	31,6	0,019	7,9
14	Ш-4	12	1,89	31	0,019	7,6
15	Ш-4	13	1,92	25,8	0,026	6,9
16	Ш-4	11	1,92	25,3	0,025	6,5
Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$					

Таблица В.101 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,728183	1		
C	0,080124	-0,40672	1	
E	0,882385	0,838518	0,126955	1

Таблица В.102 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,882385
Коэффициент детерминации	0,778603
Нормированный R-квадрат	0,741704
Стандартная ошибка	0,535064
Наблюдения	8

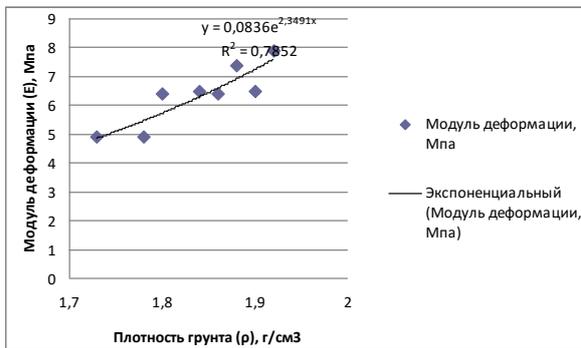
Таблица В.103 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	6,040986	6,040986	21,10064	0,003717
Остаток	6	1,717764	0,286294		
Итого	7	7,75875			

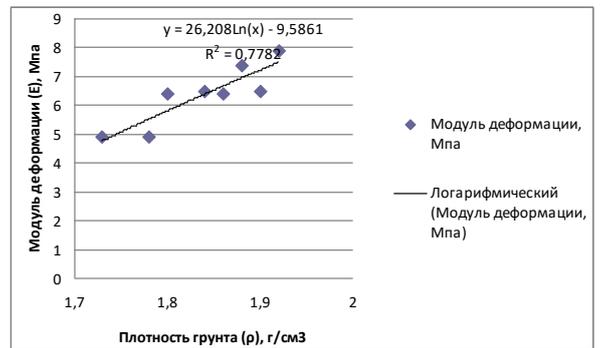
Таблица В.104 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-20,0455	5,752049	-3,48493	0,013064	-34,1203	-5,97074	-34,1203	-5,97074
Плотность грунта $\rho$	14,36193	3,126547	4,593544	0,003717	6,711545	22,01231	6,711545	22,01231

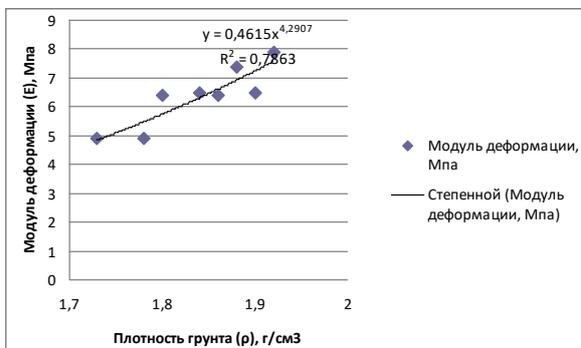
На рисунке В.23 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



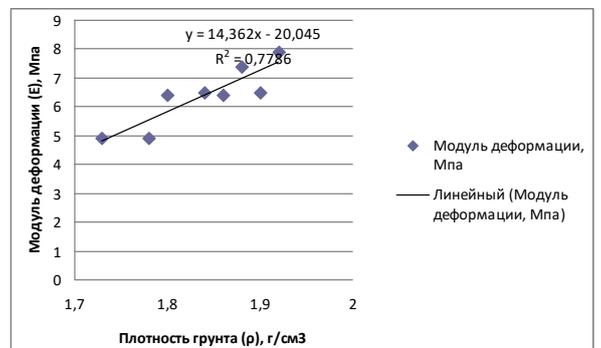
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.23 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.105 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,838518
Коэффициент детерминации	0,703112
Нормированный R-квадрат	0,65363
Стандартная ошибка	0,619608
Наблюдения	8

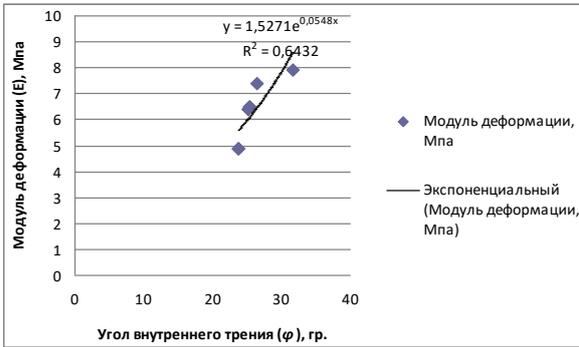
Таблица В.106 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	5,455268	5,455268	14,20962	0,009293
Остаток	6	2,303482	0,383914		
Итого	7	7,75875			

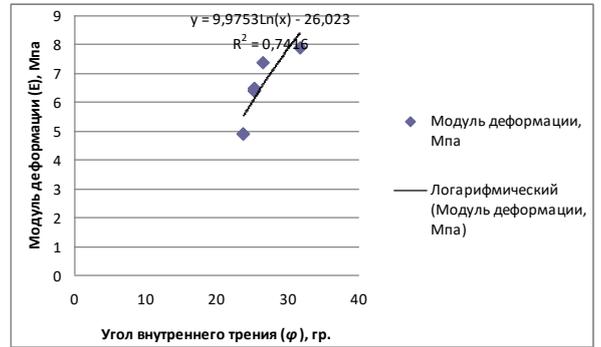
Таблица В.107 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-2,71788	2,418808	-1,12365	0,304101	-8,63649	3,200727	-8,63649	3,200727
Угол внутреннего трения φ	0,351953	0,093367	3,769565	0,009293	0,123492	0,580413	0,123492	0,580413

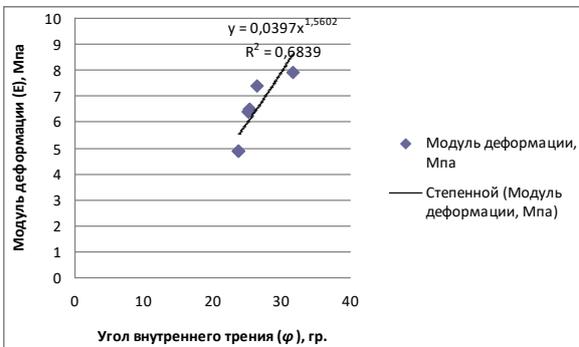
На рисунке В.24 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.24 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.108 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,126955
R-квадрат	0,016118
Нормированный R-квадрат	-0,14786
Стандартная ошибка	1,127955
Наблюдения	8

Таблица В.109 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	0,125052	0,125052	0,09829	0,764505
Остаток	6	7,633698	1,272283		
Итого	7	7,75875			

Таблица В.110 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	5,163021	3,846676	1,342203	0,228086	-4,24946	14,5755	-4,24946	14,5755
Удельное сцепление C	51,04167	162,8063	0,313512	0,764505	-347,331	449,4144	-347,331	449,4144

Уравнение общего вида:  $y=51,042 \cdot C+5,163$ .

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 228 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.111 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов  
на км 228 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	г	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	17	1,86	31,4	0,019	7,8
2	Ш-1	20	1,75	29,2	0,016	6,6
3	Ш-1	24	1,75	23,2	0,021	4,2
4	Ш-1	16	1,84	24,7	0,023	6,1
5	Ш-2	10	1,88	26,4	0,028	7,4
6	Ш-2	14	1,72	24,7	0,023	6,1
7	Ш-2	15	1,68	22,7	0,02	3,7
8	Ш-2	10	1,76	23,7	0,022	4,9
9	Ш-3	11	1,9	26,2	0,027	7,2
10	Ш-3	15	1,85	25,8	0,026	6,9
11	Ш-3	13	1,89	25,3	0,024	6,5
12	Ш-3	12	1,8	25,9	0,022	5,1
13	Ш-4	12	1,89	31,4	0,019	7,8
14	Ш-4	15	1,84	30,5	0,018	7,2
15	Ш-4	14	1,81	25,6	0,025	6,7
16	Ш-4	12	1,79	24,8	0,023	6,2
Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$					

Таблица В.112 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,541982	1		
C	0,438834	-0,35978	1	
E	0,776947	0,844873	0,149652	1

Таблица В.113 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,776947
Коэффициент детерминации	0,603647
Нормированный R-квадрат	0,537588
Стандартная ошибка	1,000065
Наблюдения	8

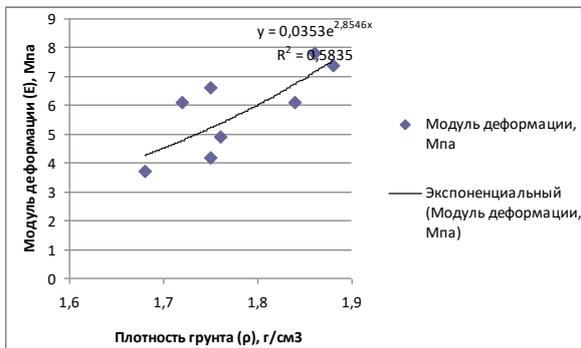
Таблица В.114 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	9,139218	9,139218	9,138027	0,023309
Остаток	6	6,000782	1,00013		
Итого	7	15,14			

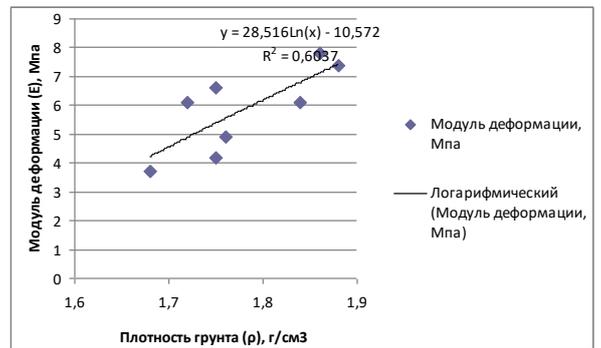
Таблица В.115 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-22,5902	9,414847	-2,39943	0,053337	-45,6275	0,447078	-45,6275	0,447078
Плотность грунта $\rho$	15,97765	5,285509	3,022917	0,023309	3,04448	28,91083	3,04448	28,91083

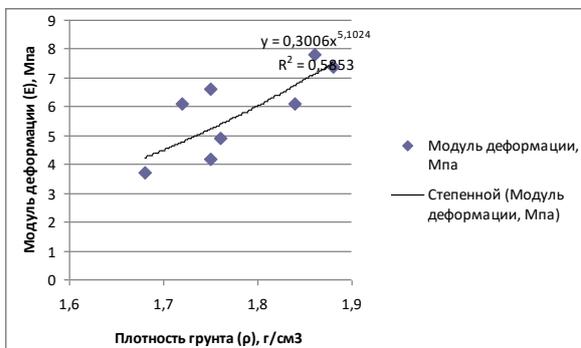
На рисунке В.25 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



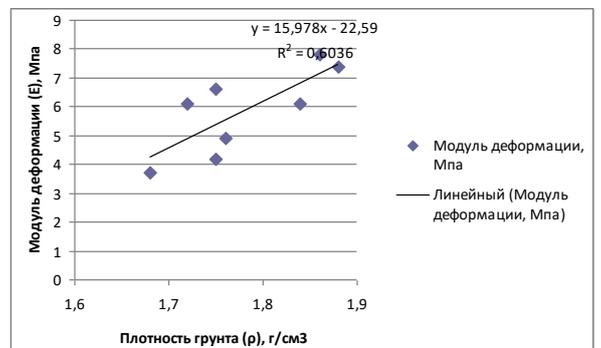
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.25 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.116 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,844873
Коэффициент детерминации	0,713811
Нормированный R-квадрат	0,666113
Стандартная ошибка	0,849794
Наблюдения	8

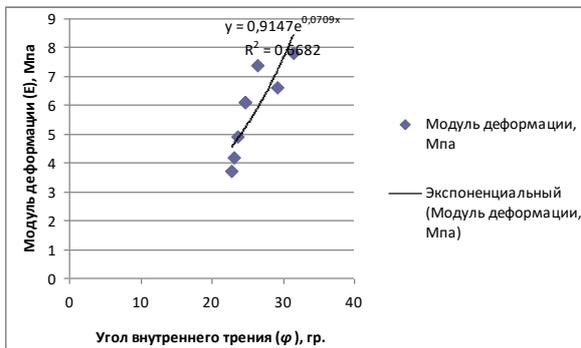
Таблица В.117 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	10,8071	10,8071	14,96518	0,00828
Остаток	6	4,332898	0,72215		
Итого	7	15,14			

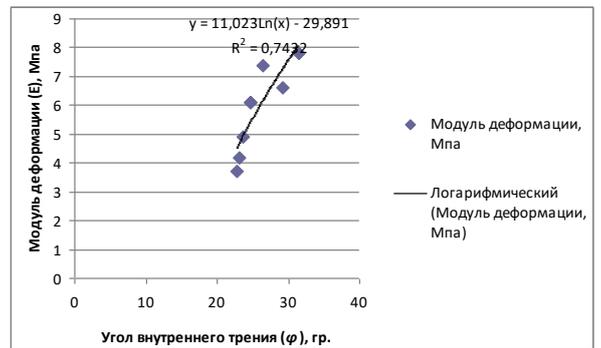
Таблица В.118 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-4,53369	2,700937	-1,67856	0,144244	-11,1426	2,075265	-11,1426	2,075265
Угол внутреннего трения φ	0,40325	0,10424	3,868486	0,00828	0,148185	0,658316	0,148185	0,658316

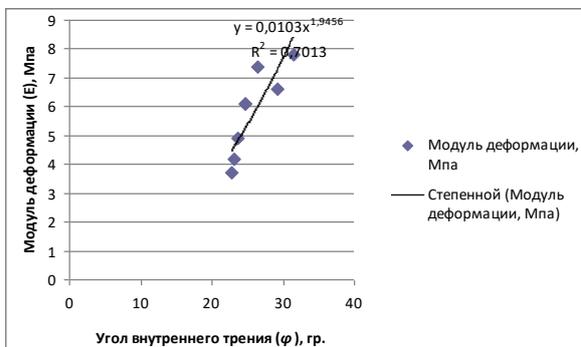
На рисунке В.26 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



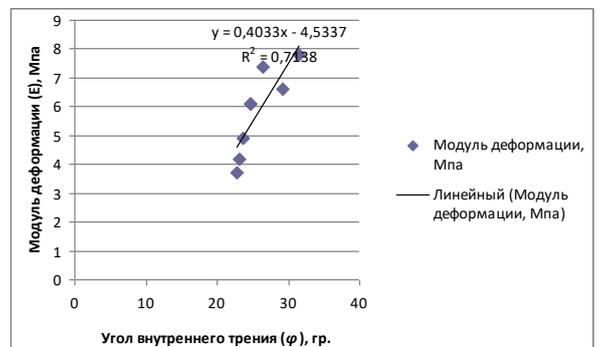
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.26 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.119 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,149652
R-квадрат	0,022396
Нормированный R-квадрат	-0,14054
Стандартная ошибка	1,570612
Наблюдения	8

Таблица В.120 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	0,33907	0,33907	0,137452	0,723564
Остаток	6	14,80093	2,466822		
Итого	7	15,14			

Таблица В.121 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	4,5	3,683411	1,221694	0,267641	-4,51298	13,51298	-4,51298	13,51298
Удельное сцепление C	62,7907	169,3634	0,370745	0,723564	-351,627	477,2081	-351,627	477,2081

Уравнение общего вида:  $y=62,791 \cdot C+4,500$ .

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 289 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.122 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 289 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	r	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	12	1,85	26,2	0,027	7,2
2	Ш-1	14	1,77	25	0,023	6,2
3	Ш-1	15	1,73	23,5	0,021	4,7
4	Ш-1	11	1,86	24,7	0,023	6,1
5	Ш-2	12	1,86	31,4	0,019	7,8
6	Ш-2	15	1,78	28,8	0,016	6,5
7	Ш-2	12	1,79	23,7	0,022	4,9
8	Ш-2	9	1,8	23,7	0,022	4,9
9	Ш-3	10	1,89	31,6	0,019	7,9
10	Ш-3	14	1,87	30,7	0,018	7,3
11	Ш-3	16	1,89	25,3	0,025	6,5
12	Ш-3	12	1,8	23,9	0,022	5,1
13	Ш-4	12	1,9	31,4	0,019	7,8
14	Ш-4	16	1,87	30,5	0,018	7,2
15	Ш-4	17	1,87	25,4	0,025	6,6
16	Ш-4	11	1,86	24,7	0,023	6,1
Установить регрессионную зависимость		$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$				

Таблица В.123 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,458548	1		
C	0,286208	-0,50519	1	
E	0,682526	0,856072	-0,02691	1

Таблица В.124 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,682526
Коэффициент детерминации	0,465841
Нормированный R-квадрат	0,376815
Стандартная ошибка	0,899027
Наблюдения	8

Таблица В.125 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	4,229256	4,229256	5,232616	0,062158
Остаток	6	4,849494	0,808249		
Итого	7	9,07875			

Таблица В.126 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-23,4937	12,91376	-1,81927	0,11874	-55,0925	8,10517	-55,0925	8,10517
Плотность грунта $\rho$	16,36076	7,152272	2,287491	0,062158	-1,14022	33,86174	-1,14022	33,86174

Уравнение общего вида:  $y=16,361*\rho-23,494$ .

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.127 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,856072
Коэффициент детерминации	0,73286
Нормированный R-квадрат	0,688336
Стандартная ошибка	0,63578
Наблюдения	8

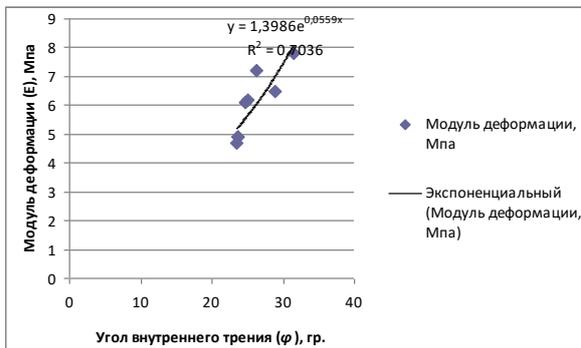
Таблица В.128 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	6,653451	6,653451	16,46012	0,006672
Остаток	6	2,425299	0,404217		
Итого	7	9,07875			

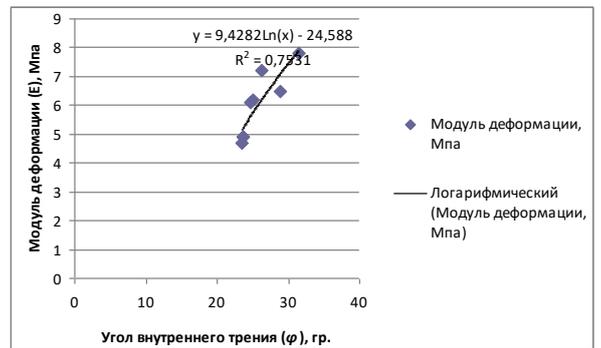
Таблица В.129 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-2,84693	2,20135	-1,29327	0,243477	-8,23344	2,53958	-8,23344	2,53958
Угол внутреннего трения φ	0,34336	0,084632	4,057107	0,006672	0,136273	0,550446	0,136273	0,550446

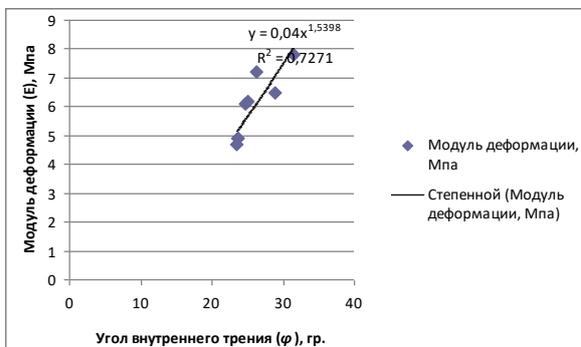
На рисунке В.27 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



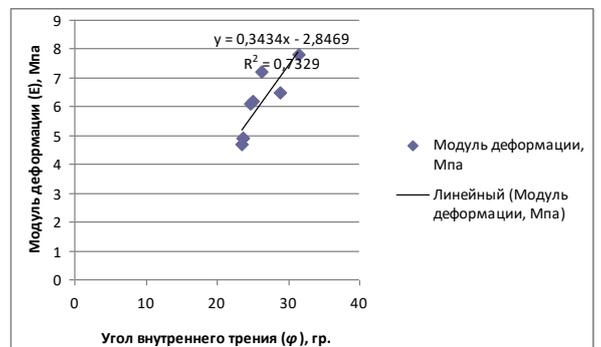
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.27 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.130 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,026914
R-квадрат	0,000724
Нормированный R-квадрат	-0,16582
Стандартная ошибка	1,229646
Наблюдения	8

Таблица В.131 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	0,006576	0,006576	0,004349	0,949561
Остаток	6	9,072174	1,512029		
Итого	7	9,07875			

Таблица В.132 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	6,244348	3,1665	1,972003	0,096083	-1,5038	13,9925	-1,5038	13,9925
Удельное сцепление C	-9,56522	145,0411	-0,06595	0,949561	-364,468	345,3376	-364,468	345,3376

Уравнение общего вида:  $y = -9,565 \cdot C + 6,244$ .

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 303 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.133 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 303 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	r	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	2	1,89	31,6	0,019	7,9
2	Ш-1	4	1,81	25,3	0,024	6,5
3	Ш-1	5	1,77	23,9	0,022	5,1
4	Ш-1	2	1,91	25,1	0,024	6,3
5	Ш-2	4	1,88	31,4	0,019	7,8
6	Ш-2	6	1,78	29,2	0,016	6,6
7	Ш-2	5	1,7	22,5	0,019	3,6
8	Ш-2	3	1,84	24,7	0,023	6,1
9	Ш-3	3	1,85	31,2	0,019	7,7
10	Ш-3	6	1,83	30,3	0,018	7,1
11	Ш-3	5	1,89	25,3	0,025	6,5
12	Ш-3	2	1,86	24,7	0,023	6,1
13	Ш-4	1	1,9	31,4	0,019	7,8
14	Ш-4	4	1,87	30,5	0,018	7,2
15	Ш-4	7	1,88	25,4	0,025	6,6
16	Ш-4	3	1,9	25,1	0,023	6,3
Установить регрессионную зависимость	$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$					

Таблица В.134 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,570045	1		
C	0,285345	-0,54515	1	
E	0,816319	0,886478	-0,12005	1

Таблица В.135 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,816319
Коэффициент детерминации	0,666377
Нормированный R-квадрат	0,610773
Стандартная ошибка	0,872119
Наблюдения	8

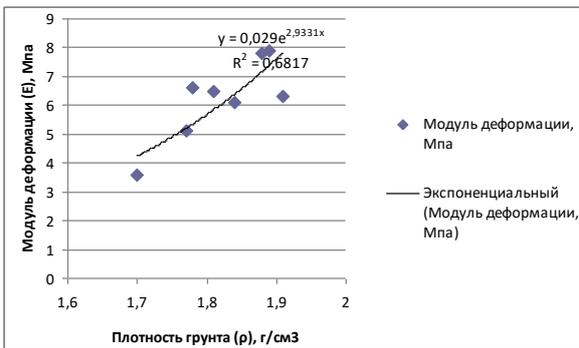
Таблица В.136 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	9,115206	9,115206	11,98438	0,013437
Остаток	6	4,563544	0,760591		
Итого	7	13,67875			

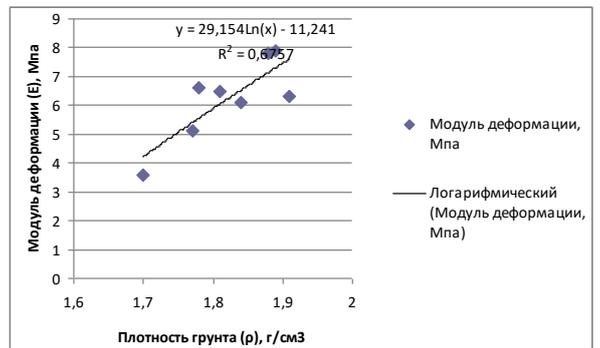
Таблица В.137 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-22,9456	8,435553	-2,7201	0,034638	-43,5866	-2,30451	-43,5866	-2,30451
Плотность грунта $\rho$	16,01266	4,625468	3,461846	0,013437	4,694545	27,33077	4,694545	27,33077

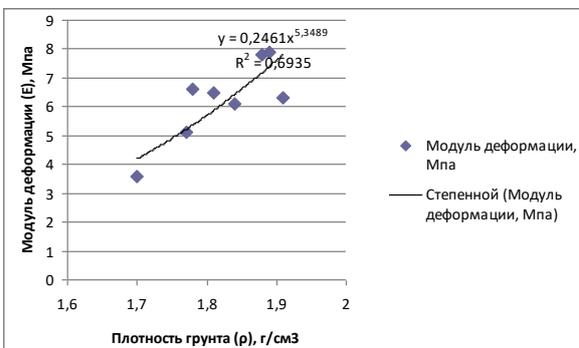
На рисунке В.28 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



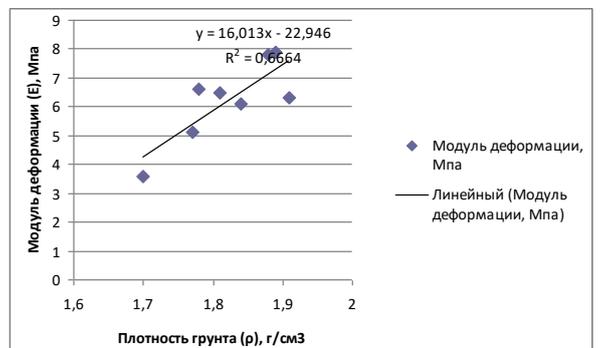
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.28 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.138 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,886478
Коэффициент детерминации	0,785843
Нормированный R-квадрат	0,75015
Стандартная ошибка	0,698738
Наблюдения	8

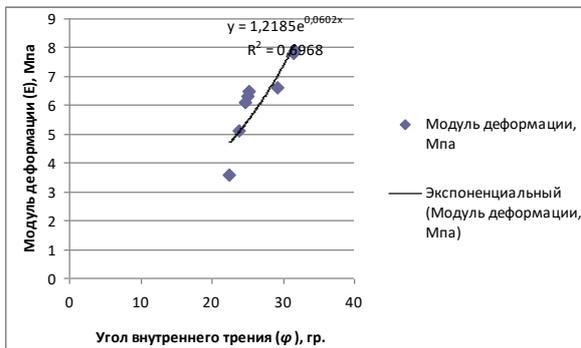
Таблица В.139 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	10,74934	10,74934	22,01677	0,003353
Остаток	6	2,929406	0,488234		
Итого	7	13,67875			

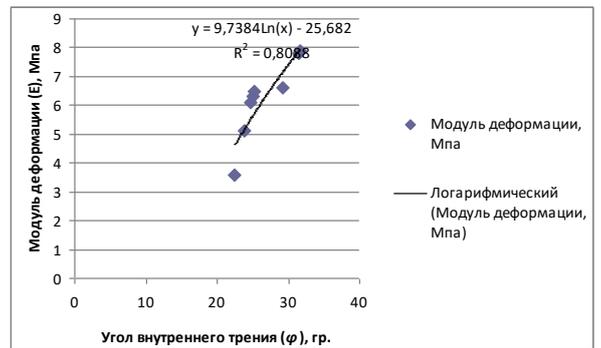
Таблица В.140 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-3,18742	2,023768	-1,57499	0,166327	-8,1394	1,764566	-8,1394	1,764566
Угол внутреннего трения φ	0,352828	0,075195	4,692203	0,003353	0,168834	0,536822	0,168834	0,536822

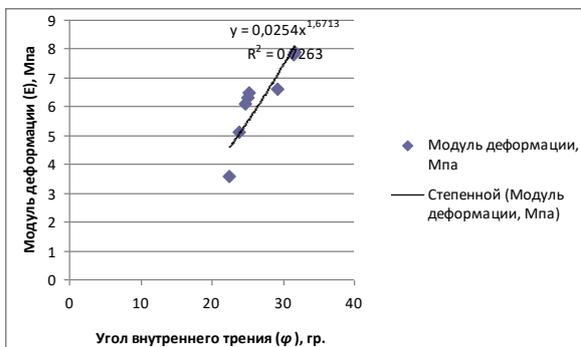
На рисунке В.29 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



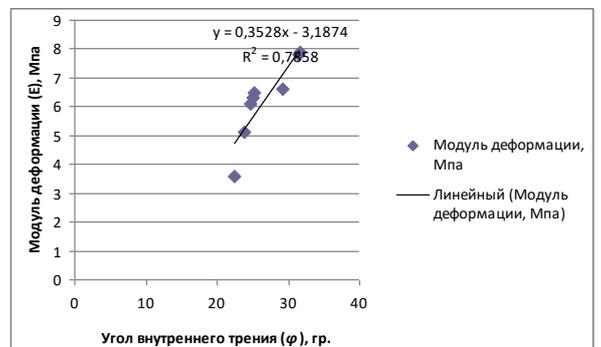
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.29 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.141 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,120055
R-квадрат	0,014413
Нормированный R-квадрат	-0,14985
Стандартная ошибка	1,498977
Наблюдения	8

Таблица В.142 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	0,197153	0,197153	0,087743	0,777051
Остаток	6	13,4816	2,246933		
Итого	7	13,67875			

Таблица В.143 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	7,431933	4,066995	1,827377	0,117414	-2,51964	17,38351	-2,51964	17,38351
Удельное сцепление C	-57,563	194,3285	-0,29622	0,777051	-533,068	417,9417	-533,068	417,9417

Уравнение общего вида:  $y = -57,563 \cdot C + 7,432$ .

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 327 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.144 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов  
на км 327 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	г	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	3	1,88	26,4	0,028	7,4
2	Ш-1	7	1,79	29,4	0,017	6,7
3	Ш-1	4	1,71	22,6	0,019	3,6
4	Ш-1	4	1,76	24,2	0,022	5,6
5	Ш-2	4	1,89	31,8	0,019	8
6	Ш-2	8	1,75	29,2	0,016	6,6
7	Ш-2	6	1,75	27	0,012	5,2
8	Ш-2	3	1,8	24,7	0,023	6,1
9	Ш-3	2	1,89	26,5	0,029	7,5
10	Ш-3	6	1,86	25,9	0,027	7
11	Ш-3	5	1,92	25,4	0,025	6,7
12	Ш-3	3	1,83	24,7	0,023	6,1
13	Ш-4	7	1,86	31,4	0,019	7,8
14	Ш-4	4	1,85	30,7	0,018	7,3
15	Ш-4	5	1,85	25,1	0,024	6,3
16	Ш-4	2	1,82	24,6	0,022	6
Установить регрессионную зависимость		$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$				

Таблица В.145 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,544655	1		
C	0,529275	-0,32425	1	
E	0,873464	0,787355	0,290535	1

Таблица В.146 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,873464
Коэффициент детерминации	0,76294
Нормированный R-квадрат	0,72343
Стандартная ошибка	0,722172
Наблюдения	8

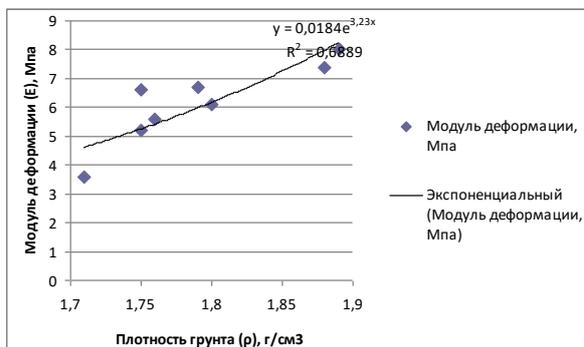
Таблица В.147 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	10,07081	10,07081	19,31003	0,004596
Остаток	6	3,129194	0,521532		
Итого	7	13,2			

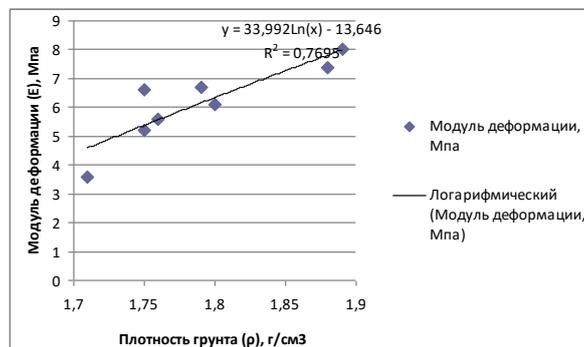
Таблица В.148 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-27,4115	7,641753	-3,58708	0,011544	-46,1102	-8,71285	-46,1102	-8,71285
Плотность грунта $\rho$	18,73638	4,263775	4,394318	0,004596	8,303302	29,16946	8,303302	29,16946

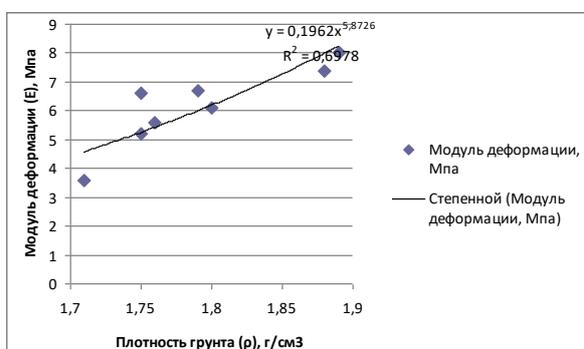
На рисунке В.30 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



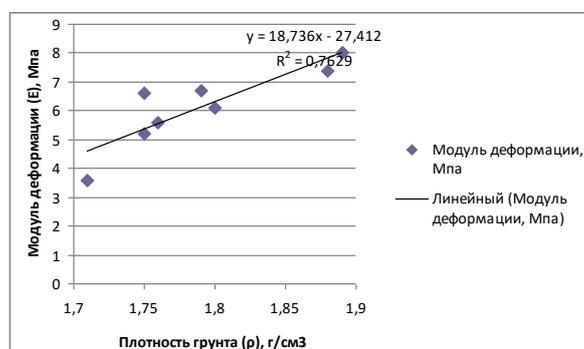
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.30 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.149 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,787355
Коэффициент детерминации	0,619927
Нормированный R-квадрат	0,556582
Стандартная ошибка	0,914418
Наблюдения	8

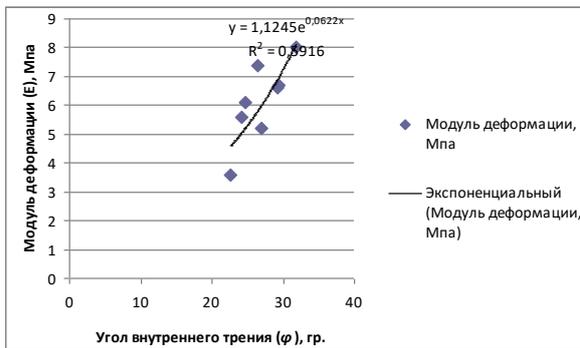
Таблица В.150 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	8,183042	8,183042	9,786457	0,020368
Остаток	6	5,016958	0,83616		
Итого	7	13,2			

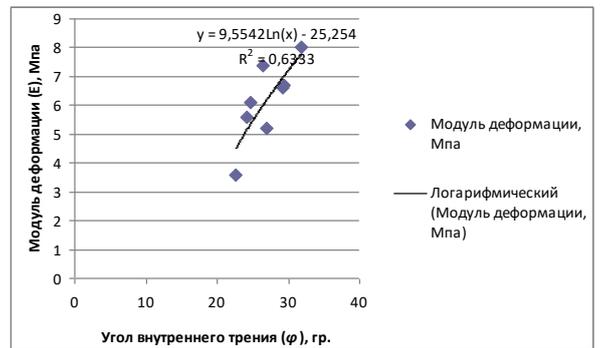
Таблица В.151 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-3,29568	3,036659	-1,0853	0,319459	-10,7261	4,134753	-10,7261	4,134753
Угол внутреннего трения φ	0,350978	0,112193	3,128331	0,020368	0,076451	0,625504	0,076451	0,625504

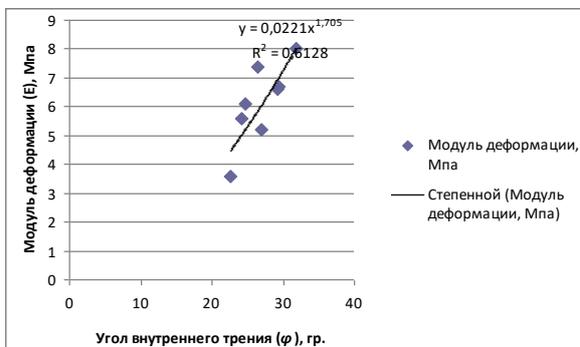
На рисунке В.31 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



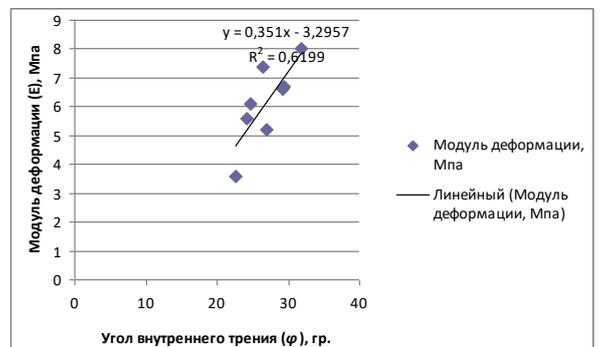
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.31 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.152 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,290535
R-квадрат	0,08441
Нормированный R-квадрат	-0,06819
Стандартная ошибка	1,419259
Наблюдения	8

Таблица В.153 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	1,114217	1,114217	0,553154	0,485126
Остаток	6	12,08578	2,014297		
Итого	7	13,2			

Таблица В.154 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	4,55241	2,20587	2,063771	0,084614	-0,84516	9,949979	-0,84516	9,949979
Удельное сцепление C	81,92771	110,1559	0,743743	0,485126	-187,614	351,4695	-187,614	351,4695

Уравнение общего вида:  $y=81,928 \cdot C+4,552$ .

**Корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик  
грунтов в зоне расположения водопропускной трубы  
на км 334 а/д «К-17р»**

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
плотности грунта*

Таблица В.155 – Исходные данные физико-механических характеристик грунтов на км 334 а/д «К-17р»

№ п/п	№ выработки	Глубина просадки (просвета), мм	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
№	Шурф	r	$\rho$	$\varphi$	C	E
1	Ш-1	6	1,88	31,6	0,02	7,9
2	Ш-1	12	1,81	29,8	0,017	6,9
3	Ш-1	8	1,73	27,6	0,013	5,7
4	Ш-1	7	1,8	25,1	0,023	6,3
5	Ш-2	5	1,85	31,2	0,019	7,7
6	Ш-2	11	1,71	28,6	0,015	6,4
7	Ш-2	12	1,62	26,2	0,011	4,5
8	Ш-2	6	1,77	24,2	0,022	5,6
9	Ш-3	8	1,85	31,2	0,019	7,7
10	Ш-3	14	1,84	30,7	0,018	7,3
11	Ш-3	12	1,82	30	0,017	7
12	Ш-3	6	1,77	24,6	0,022	6
13	Ш-4	8	1,88	31,4	0,019	7,8
14	Ш-4	10	1,86	30,5	0,018	7,2
15	Ш-4	11	1,84	30	0,017	7
16	Ш-4	7	1,86	25,2	0,024	6,4
Установить регрессионную зависимость		$E = f(\rho); E = f(\varphi); E = f(C); E = f(\rho, \varphi, C); E = f(\rho, \varphi); E = f(\rho, C); E = f(\varphi, C); C = f(E); C = f(\rho); C = f(\varphi); C = f(\rho, \varphi, E); C = f(\rho, \varphi); C = f(\rho, E); C = f(\varphi, E); \varphi = f(E); \varphi = f(\rho); \varphi = f(C); \varphi = f(\rho, C, E); \varphi = f(\rho, C); \varphi = f(\rho, E); \varphi = f(C, E); \rho = f(E); \rho = f(C); \rho = f(\varphi); \rho = f(C, \varphi, E); \rho = f(C, \varphi); \rho = f(C, E); \rho = f(\varphi, E).$				

Таблица В.156 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	$\rho$	$\varphi$	C	E
$\rho$	1			
$\varphi$	0,55174	1		
C	0,739065	-0,09891	1	
E	0,908557	0,803771	0,496772	1

Таблица В.157 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,908557
Коэффициент детерминации	0,825475
Нормированный R-квадрат	0,796388
Стандартная ошибка	0,5098
Наблюдения	8

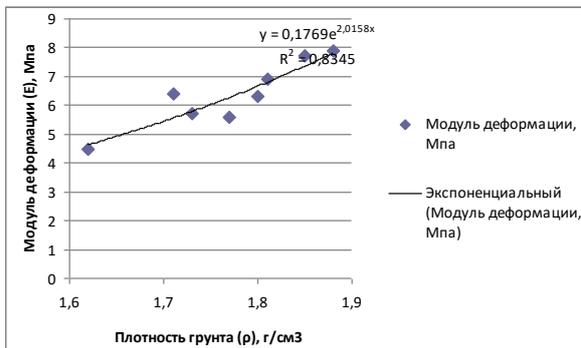
Таблица В.158 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	7,375621	7,375621	28,37908	0,001783
Остаток	6	1,559379	0,259896		
Итого	7	8,935			

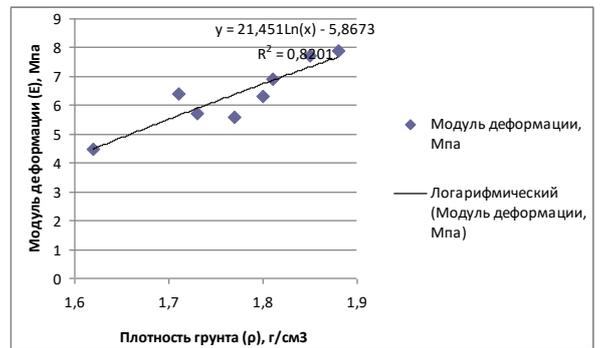
Таблица В.159 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-15,4257	4,096303	-3,76576	0,009335	-25,449	-5,40241	-25,449	-5,40241
Плотность грунта $\rho$	12,30809	2,310423	5,327202	0,001783	6,654687	17,96149	6,654687	17,96149

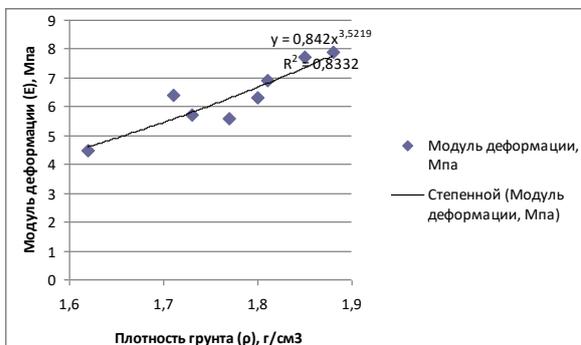
На рисунке В.32 приведены графики зависимости модуля деформации от плотности грунта, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



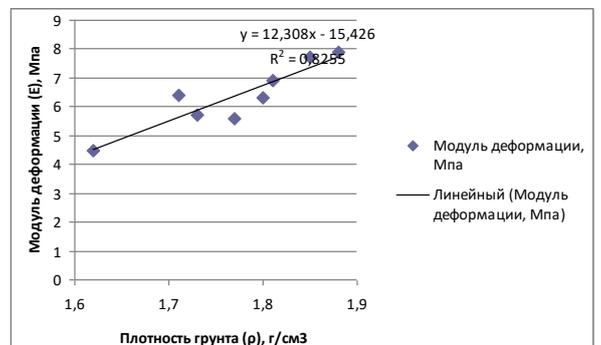
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.32 – Зависимость модуля деформации от плотности грунта в затрубном пространстве водопропускной трубы:

а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;

в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.160 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Коэффициент корреляции	0,803771
Коэффициент детерминации	0,646047
Нормированный R-квадрат	0,587055
Стандартная ошибка	0,726013
Наблюдения	8

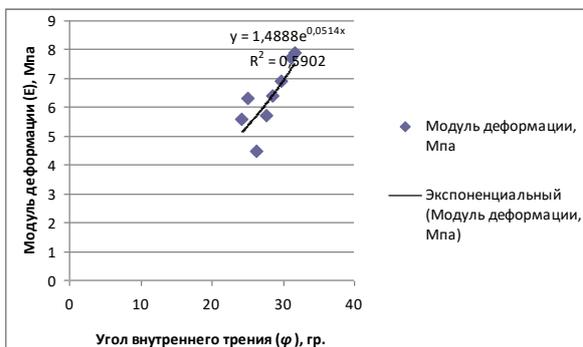
Таблица В.161 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	5,772431	5,772431	10,95141	0,016219
Остаток	6	3,162569	0,527095		
Итого	7	8,935			

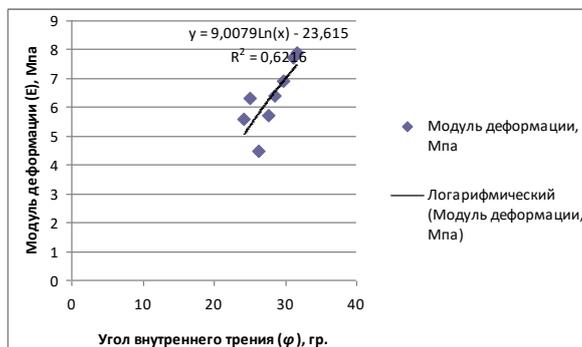
Таблица В.162 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	-2,87458	2,806795	-1,02415	0,34527	-9,74256	3,993401	-9,74256	3,993401
Угол внутреннего трения φ	0,3299	0,099689	3,309291	0,016219	0,08597	0,573831	0,08597	0,573831

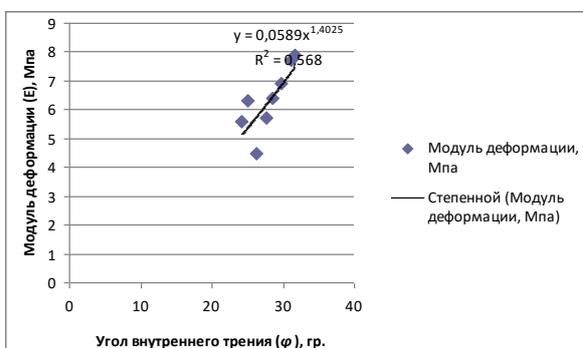
На рисунке В.33 приведены графики зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации.



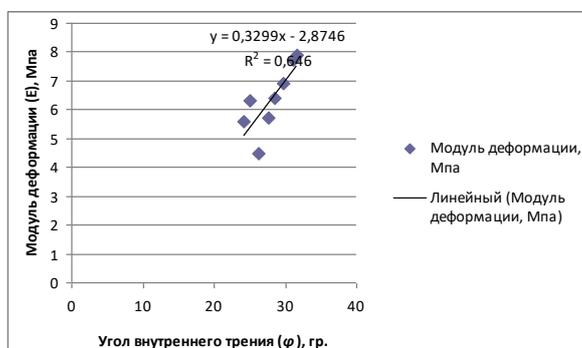
а) Экспоненциальная зависимость



б) Логарифмическая зависимость



в) Степенная зависимость



г) Линейная зависимость

Рисунок В.33 – Зависимости модуля деформации от угла внутреннего трения в затрубном пространстве водопропускной трубы:

- а) экспоненциальная зависимость; б) логарифмическая зависимость;  
в) степенная зависимость; г) линейная зависимость

*Парный регрессионный анализ статистической связи модуля деформации и  
удельного сцепления*

Таблица В.163 – Итоги регрессионной статистики

Показатель	Число
Множественный R	0,496772
R-квадрат	0,246782
Нормированный R-квадрат	0,121246
Стандартная ошибка	1,059088
Наблюдения	8

Таблица В.164 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	2,205	2,205	1,965825	0,210451
Остаток	6	6,73	1,121667		
Итого	7	8,935			

Таблица В.165 – Значения статистических показателей

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t- статистика	P- Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y- пересечение	4,078125	1,680441	2,426818	0,051384	-0,03377	8,190017	-0,03377	8,190017
Удельное сцепление C	131,25	93,61101	1,402079	0,210451	-97,8079	360,3079	-97,8079	360,3079

Уравнение общего вида:  $y=131,250 \cdot C+4,078$ .

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**  
**РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ**  
**ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ**

Таблица Г.1 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 20 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	20	$y = 0,208e^{1,9819x}$	0,91	$y = 0,1196e^{0,1379x}$	0,98	$y = 1,6749e^{84,937x}$	0,97
		$y = 22,655\ln(x) - 5,8373$	0,93	$y = 25,793\ln(x) - 80,163$	0,98	$y = 8,3645\ln(x) + 41,327$	0,93
		$y = 0,9697x^{3,4566}$	0,92	$y = 1E-05x^{3,9759}$	0,98	$y = 1432,1x^{1,3006}$	0,96
		$y = 13,023x - 15,984$	0,93	$y = 0,8966x - 19,344$	0,98	$y = 550x - 2,15$	0,96
<b>Парные уравнения регрессии по двум шурфам на удалении <math>\pm 30</math> м от водопропускных труб</b>							
2	20	$y = 0,9074e^{1,1315x}$	0,40	$y = 0,4793e^{0,0892x}$	0,59	$y = 2,8947e^{52,325x}$	0,54
		$y = 13,964\ln(x) - 1,2006$	0,40	$y = 16,99\ln(x) - 50,78$	0,53	$y = 5,399\ln(x) + 29,09$	0,50
		$y = 2,0907x^{2,0475}$	0,41	$y = 0,001x^{2,5901}$	0,59	$y = 196,09x^{0,8158}$	0,55
		$y = 7,7258x - 6,9088$	0,39	$y = 0,5859x - 10,576$	0,53	$y = 347,8x + 1,1673$	0,50
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
3	20	$y = 0,3475e^{1,6773x}$	0,76	$y = 0,2175e^{0,1165x}$	0,85	$y = 1,9631e^{75,461x}$	0,83
		$y = 19,189\ln(x) - 4,0822$	0,75	$y = 21,549\ln(x) - 66,074$	0,81	$y = 7,4462\ln(x) + 37,512$	0,80
		$y = 1,2603x^{2,9492}$	0,76	$y = 8E-05x^{3,3615}$	0,85	$y = 797,8x^{1,1584}$	0,83
		$y = 10,941x - 12,514$	0,75	$y = 0,748x - 15,229$	0,81	$y = 488,35x - 1,1567$	0,81

Таблица Г.2 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 44 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	44	$y = 0,0692e^{2,3931x}$	0,75	$y = 0,1605e^{0,1452x}$	0,83	$y = 1,0337e^{73,794x}$	0,69
		$y = 25,036\ln(x) - 9,4801$	0,78	$y = 20,229\ln(x) - 58,939$	0,87	$y = 9,8399\ln(x) + 42,913$	0,73
		$y = 0,3813x^{4,4286}$	0,75	$y = 6E-05x^{3,5662}$	0,83	$y = 3924,3x^{1,7329}$	0,70
		$y = 13,542x - 19,151$	0,78	$y = 0,8245x - 14,459$	0,88	$y = 419,89x - 3,9057$	0,73
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	44	$y = 0,1248e^{2,1134x}$	0,56	$y = 0,1699e^{0,1435x}$	0,86	$y = 1,3216e^{63,459x}$	0,75
		$y = 22,747\ln(x) - 7,6704$	0,59	$y = 20,638\ln(x) - 60,185$	0,90	$y = 9,041\ln(x) + 39,911$	0,81
		$y = 0,5614x^{3,915}$	0,56	$y = 7E-05x^{3,5518}$	0,86	$y = 1933,9x^{1,544}$	0,76
		$y = 12,291x - 16,427$	0,58	$y = 0,8351x - 14,651$	0,90	$y = 372,98x - 2,8006$	0,80

Таблица Г.3 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 72 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	72	$y = 0,0708e^{2,4585x}$	0,85	$y = 1,0604e^{0,0628x}$	0,86	$y = -107,895 \cdot C + 8,387$	0
		$y = 26,043\ln(x) - 9,2286$	0,90	$y = 9,6747\ln(x) - 25,89$	0,88		
		$y = 0,4237x^{4,4915}$	0,86	$y = 0,0218x^{1,6964}$	0,87		
		$y = 14,297x - 19,678$	0,89	$y = 0,3595x - 3,7833$	0,88		
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	72	$y = 0,0802e^{2,3906x}$	0,78	$y = 1,7071e^{0,0476x}$	0,72	$y = -108,034 \cdot C + 8,716$	0
		$y = 25,676\ln(x) - 9,0389$	0,80	$y = 7,9462\ln(x) - 19,867$	0,79		
		$y = 0,4574x^{4,3622}$	0,79	$y = 0,0826x^{1,3115}$	0,74		
		$y = 14,115x - 19,369$	0,80	$y = 0,2899x - 1,5549$	0,78		

Таблица Г.4 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 156 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	156	$y = 0,0021e^{4,3461x}$	0,79	$y = 0,8621e^{0,0737x}$	0,62	$y = 39,548 * C + 4,637$	0
		$y = 41,857 \ln(x) - 19,171$	0,79	$y = 11,32 \ln(x) - 30,729$	0,72		
		$y = 0,0525x^{7,8304}$	0,79	$y = 0,0081x^{2,0255}$	0,65		
		$y = 23,255x - 36,447$	0,79	$y = 0,4136x - 4,709$	0,68		
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	156	$y = 0,0074e^{3,6777x}$	0,70	$y = 1,2986e^{0,0585x}$	0,66	$y = -86,068 * C + 8,216$	0
		$y = 37,591 \ln(x) - 16,313$	0,72	$y = 9,4869 \ln(x) - 24,725$	0,77		
		$y = 0,1131x^{6,6385}$	0,70	$y = 0,0303x^{1,6234}$	0,69		
		$y = 20,845x - 31,758$	0,73	$y = 0,3435x - 2,815$	0,74		

Таблица Г.5 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 171 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	171	$y = 0,0283e^{2,8921x}$	0,92	$y = 0,0267e^{0,2216x}$	0,86	$y = 2,0345e^{39,93x}$	0,68
		$y = 28,609 \ln(x) - 11,533$	0,94	$y = 28,902 \ln(x) - 86,27$	0,88	$y = 5,8404 \ln(x) + 27,253$	0,74
		$y = 0,2308x^{5,2889}$	0,92	$y = 2E-07x^{5,3465}$	0,87	$y = 275,61x^{1,0565}$	0,70
		$y = 15,68x - 22,958$	0,94	$y = 1,1998x - 23,231$	0,88	$y = 222,59x + 0,0712$	0,73
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	171	$y = 0,044e^{2,6679x}$	0,79	$y = 0,1311e^{0,1547x}$	0,83	$y = 2,2812e^{39,031x}$	0,52
		$y = 27,138 \ln(x) - 10,46$	0,79	$y = 21,78 \ln(x) - 63,729$	0,87	$y = 6,0031 \ln(x) + 28,34$	0,60
		$y = 0,3031x^{4,8892}$	0,80	$y = 3E-05x^{3,8395}$	0,84	$y = 291,08x^{1,048}$	0,57
		$y = 14,833x - 21,221$	0,79	$y = 0,8798x - 15,636$	0,87	$y = 225,11x + 0,5254$	0,56

Таблица Г.6 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 180 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	180	$y = 12,580 * \rho - 17,030$	0	$y = 1,2556e^{0,0598x}$	0,74	$y = -20,732 * C + 6,359$	0
				$y = 10,159 \ln(x) - 26,948$	0,81		
				$y = 0,0282x^{1,6463}$	0,76		
				$y = 0,3703x - 3,55$	0,79		
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	180	$y = 12,884 * \rho - 17,319$	0	$y = 1,6654e^{0,0499x}$	0,73	$y = -84,135 * C + 8,296$	0
				$y = 8,739 \ln(x) - 22,228$	0,80		
				$y = -0,0517x^2 + 3,1657x - 40,763$	0,85		
				$y = 0,3157x - 2,0118$	0,78		

Таблица Г.7 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 182 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.		
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>									
1	182	$y = 0,0467e^{2,5635x}$	0,52	$y = 0,1068e^{0,1618x}$	0,96	$y = 1,5511e^{54,883x}$	0,48		
				$y = 26,878 \ln(x) - 11,056$	0,52	$y = 22,462 \ln(x) - 66,081$	0,98	$y = 8,0796 \ln(x) + 36,077$	0,55
				$y = 0,2777x^{4,8151}$	0,52	$y = 2E - 05x^{3,9898}$	0,96	$y = 912,19x^{1,3547}$	0,48
				$y = 14,315x - 21,011$	0,52	$y = 0,9128x - 16,624$	0,98	$y = 328x - 1,972$	0,55
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>									
2	182	$y = 6,593 * \rho - 6,217$	0	$y = 1,3708e^{0,0593x}$	0,59	$y = 78,400 * C + 4,563$	0		
				$y = 10,279 \ln(x) - 26,945$	0,70				
				$y = 0,027x^{1,6812}$	0,63				
				$y = 0,3646x - 2,9791$	0,65				

Таблица Г.8 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 201 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	201	$y = 0,0205e^{2,9987x}$	0,71	$y = 0,0814e^{0,1738x}$	0,91	$y = -47,314 * C + 6,382$	0
		$y = 28,203 \ln(x) - 11,929$	0,68	$y = 22,765 \ln(x) - 66,892$	0,95		
		$y = 0,1844x^{5,4521}$	0,71	$y = 8E-06x^{4,2345}$	0,92		
		$y = 15,532x - 23,329$	0,68	$y = 0,9375x - 17,077$	0,95		
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	201	$y = 0,0374e^{2,6744x}$	0,75	$y = 0,7834e^{0,0803x}$	0,66	$y = -54,989 * C + 7,359$	0
		$y = 26,974 \ln(x) - 11,14$	0,72	$y = 12,945 \ln(x) - 35,639$	0,79		
		$y = 0,246x^{4,9864}$	0,75	$y = 0,0045x^{2,2289}$	0,72		
		$y = 14,485x - 21,367$	0,71	$y = 0,4698x - 5,7608$	0,73		

Таблица Г.9 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 205 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	205	$y = 0,0103e^{3,3356x}$	0,72	$y = 0,093e^{0,1674x}$	0,93	$y = 1,4039e^{58,807x}$	0,52
		$y = 33,983 \ln(x) - 15,835$	0,71	$y = 22,926 \ln(x) - 67,547$	0,98	$y = 8,1832 \ln(x) + 36,466$	0,58
		$y = 0,1033x^{6,2897}$	0,72	$y = 1E-05x^{4,1349}$	0,94	$y = 1273,7x^{1,4451}$	0,54
		$y = 18,045x - 28,322$	0,71	$y = 0,9307x - 17,044$	0,97	$y = 335,46x - 2,159$	0,57
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	205	$y = 0,0239e^{2,9022x}$	0,66	$y = 1,1829e^{0,0648x}$	0,60	$y = 121,238 * C + 3,507$	0
		$y = 31,51 \ln(x) - 14,137$	0,65	$y = 11,015 \ln(x) - 29,352$	0,71		
		$y = 0,1681x^{5,5554}$	0,67	$y = 0,0168x^{1,8256}$	0,65		
		$y = 16,48x - 25,237$	0,64	$y = 0,3928x - 3,7284$	0,66		

Таблица Г.10 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 226 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	226	$y = 0,0836e^{2,3491x}$	0,79	$y = 1,5271e^{0,0548x}$	0,64	$y = 51,042 * C + 5,163$	0
		$y = 26,208 \ln(x) - 9,5861$	0,78	$y = 9,9753 \ln(x) - 26,023$	0,74		
		$y = 0,4615x^{4,2907}$	0,79	$y = 0,0397x^{1,5602}$	0,68		
		$y = 14,362x - 20,045$	0,78	$y = 0,352x - 2,7179$	0,70		
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	226	$y = 0,1345e^{2,0978x}$	0,61	$y = 2,2737e^{0,0403x}$	0,61	$y = -43,165 * C + 7,750$	0
		$y = 23,663 \ln(x) - 7,9553$	0,59	$y = 7,5329 \ln(x) - 17,982$	0,70		
		$y = 0,6055x^{3,8653}$	0,62	$y = 0,1538x^{1,1489}$	0,64		
		$y = 12,85x - 17,182$	0,58	$y = 0,2649x - 0,3461$	0,67		

Таблица Г.11 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 228 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	228	$y = 0,0353e^{2,8546x}$	0,58	$y = 0,9147e^{0,0709x}$	0,67	$y = 62,791 * C + 4,500$	0
		$y = 28,516 \ln(x) - 10,572$	0,60	$y = 11,023 \ln(x) - 29,891$	0,74		
		$y = 0,3006x^{5,1024}$	0,59	$y = 0,0103x^{1,9456}$	0,70		
		$y = 15,978x - 22,59$	0,60	$y = 0,4033x - 4,5337$	0,71		
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	228	$y = 0,0605e^{2,5484x}$	0,61	$y = 1,3198e^{0,0584x}$	0,56	$y = 45,509 * C + 5,262$	0
		$y = 25,986 \ln(x) - 9,1715$	0,62	$y = 9,5402 \ln(x) - 24,885$	0,64		
		$y = 0,4002x^{4,5955}$	0,61	$y = 0,0296x^{1,6339}$	0,59		
		$y = 14,432x - 19,892$	0,61	$y = 0,3428x - 2,7549$	0,61		

Таблица Г.12 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 289 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	289	$y = 16,361 \cdot \rho - 23,494$	0	$y = 1,3986e^{0,0559x}$	0,70	$y = -9,565 \cdot C + 6,244$	0
				$y = 9,4282 \ln(x) - 24,588$	0,75		
				$y = 0,04x^{1,5398}$	0,73		
				$y = 0,3434x - 2,8469$	0,73		
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	289	$y = 0,0488e^{2,6496x}$	0,59	$y = 1,7635e^{0,0475x}$	0,75	$y = -104,972 \cdot C + 8,669$	0
		$y = 29,46 \ln(x) - 11,478$	0,58	$y = 8,342 \ln(x) - 20,986$	0,80		
		$y = 0,3394x^{4,8159}$	0,59	$y = 0,0825x^{1,321}$	0,77		
		$y = 16,216x - 23,361$	0,58	$y = 0,3008x - 1,6695$	0,79		

Таблица Г.13 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 303 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	303	$y = 0,029e^{2,9331x}$	0,68	$y = 1,2185e^{0,0602x}$	0,70	$y = -57,563 \cdot C + 7,432$	0
		$y = 29,154 \ln(x) - 11,241$	0,68	$y = 9,7384 \ln(x) - 25,682$	0,81		
		$y = 0,2461x^{5,3489}$	0,69	$y = 0,0254x^{1,6713}$	0,73		
		$y = 16,013x - 22,946$	0,67	$y = 0,3528x - 3,1874$	0,79		
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	303	$y = 0,0599e^{2,5345x}$	0,56	$y = 1,7229e^{0,0484x}$	0,66	$y = -100,000 \cdot C + 8,675$	0
		$y = 25,152 \ln(x) - 8,8521$	0,52	$y = 8,1946 \ln(x) - 20,484$	0,78		
		$y = 0,3752x^{4,6426}$	0,57	$y = 0,0739x^{1,3546}$	0,68		
		$y = 13,747x - 18,823$	0,51	$y = 0,2945x - 1,4788$	0,75		

Таблица Г.14 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 327 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	327	$y = 0,0184e^{3,23x}$	0,69	$y = 1,1245e^{0,0622x}$	0,59	$y = 81,928 * C + 4,552$	0
		$y = 33,992 \ln(x) - 13,646$	0,77	$y = 9,5542 \ln(x) - 25,254$	0,63		
		$y = 0,1962x^{5,8726}$	0,70	$y = 0,0221x^{1,705}$	0,61		
		$y = 18,736x - 27,412$	0,76	$y = 0,351x - 3,2957$	0,62		
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	327	$y = 0,0646e^{2,5169x}$	0,61	$y = 1,7944e^{0,0473x}$	0,47	$y = 70,210 * C + 4,989$	0
		$y = 26,447 \ln(x) - 9,4113$	0,64	$y = 7,8948 \ln(x) - 19,443$	0,54		
		$y = 0,4024x^{4,5979}$	0,62	$y = 0,0812x^{1,3289}$	0,49		
		$y = 14,501x - 19,98$	0,63	$y = 0,283x - 1,1049$	0,52		

Таблица Г.15 – Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов на 334 км а/д «К-17р»

№ п/п	км	$E = f(\rho)$	К детерм.	$E = f(\varphi)$	К детерм.	$E = f(C)$	К детерм.
<b>Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб</b>							
1	334	$y = 0,1769e^{2,0158x}$	0,84	$y = 1,4888e^{0,0514x}$	0,59	$y = 131,250 * C + 4,078$	0
		$y = 21,451 \ln(x) - 5,8673$	0,82	$y = 9,0079 \ln(x) - 23,615$	0,62		
		$y = 0,842x^{3,5219}$	0,83	$y = 0,0589x^{1,4025}$	0,57		
		$y = 12,308x - 15,426$	0,83	$y = 0,3299x - 2,8746$	0,65		
<b>Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м</b>							
2	334	$y = 0,2128e^{1,9059x}$	0,80	$y = 1,8794e^{0,0441x}$	0,62	$y = 81,224 * C + 5,220$	0
		$y = 20,639 \ln(x) - 5,4678$	0,78	$y = 7,8841 \ln(x) - 19,697$	0,66		
		$y = 0,9175x^{3,3548}$	0,80	$y = 0,115x^{1,211}$	0,61		
		$y = 11,75x - 14,504$	0,78	$y = 0,2873x - 1,5096$	0,68		

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

## ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ (ДИСПЕРСИЯ, ВАРИАЦИЯ, УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ, КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ И ДЕТЕРМИНАЦИИ)

Таблица Д.1 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ 1п в Шурфах № 1, 2

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
20	32,43	160	26,66667	$E = 0,208e^{1,9819p}$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,91	0,40
				$E = 22,655\ln(p) - 5,8373$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,93	0,40
				$E = 0,9697p^{3,4566}$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,92	0,40
				$E = 13,023p - 15,984$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,93	0,40
				$E = 0,1196e^{0,1379\varphi}$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 25,793\ln(\varphi) - 80,163$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 1E - 05\varphi^{3,9759}$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 0,8966\varphi - 19,344$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 1,6749e^{84,937C}$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,97	0,31
				$E = 8,3645\ln(C) + 41,327$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,93	0,31
				$E = 1432,1C^{1,3006}$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,96	0,31
72				$E = 550C - 2,15$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,96	0,31
				$E = 0,0708e^{2,4585p}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,85	0,43
				$E = 26,043\ln(p) - 9,2286$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,90	0,43
				$E = 0,4237p^{4,4915}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,43
				$E = 14,297p - 19,678$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,89	0,43
				$E = 1,0604e^{0,0628\varphi}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,45
				$E = 9,6747\ln(\varphi) - 25,89$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
				$E = 0,0218\varphi^{1,6964}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,87	0,45
				$E = 0,3595\varphi - 3,7833$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
				$E = -107,895 * C + 8,387$	6,32	4,20	0,30	0,24	-0,02	1,26
				156				$E = 0,0021e^{4,3461p}$	5,57	4,30
$E = 41,857\ln(p) - 19,171$	5,57	4,30	0,36					0,89	0,79	0,73
$E = 0,0525p^{7,8304}$	5,57	4,30	0,36					0,89	0,79	0,73
$E = 23,255p - 36,447$	5,57	4,30	0,36					0,89	0,79	0,73
$E = 0,8621e^{0,0737\varphi}$	5,57	4,30	0,36					0,83	0,62	0,89
$E = 11,32\ln(\varphi) - 30,729$	5,57	4,30	0,36					0,83	0,72	0,89
$E = 0,0081\varphi^{2,0255}$	5,57	4,30	0,36					0,83	0,65	0,89
$E = 0,4136\varphi - 4,709$	5,57	4,30	0,36					0,83	0,68	0,89
$E = 39,548 * C + 4,637$	5,57	4,30	0,36					0,11	-0,09	1,58

Продолжение таблицы Д.1

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 пробам Уср	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение				
180				$E=12,580 \cdot \rho - 17,030$	5,89	4,00	0,40	0,61	0,37	1,07				
				$E = 1,2556e^{0,0598\rho}$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,74	0,62				
				$E = 10,159 \ln(\rho) - 26,948$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,81	0,62				
				$E = 0,0282\rho^{1,6463}$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,76	0,62				
				$E = 0,3703\rho - 3,55$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,79	0,62				
				$E = -20,732 \cdot C + 6,359$	5,89	4,00	0,40	0,05	0,00	1,35				
205				$E = 0,0103e^{3,3356\rho}$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,72	0,75				
				$E = 33,983 \ln(\rho) - 15,835$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,71	0,75				
				$E = 0,1033\rho^{6,2897}$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,72	0,75				
				$E = 18,045\rho - 28,322$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,71	0,75				
				$E = 0,093e^{0,1674\rho}$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,93	0,23				
				$E = 22,926 \ln(\rho) - 67,547$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,98	0,23				
				$E = 1E - 05\rho^{4,1349}$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,94	0,23				
				$E = 0,9307\rho - 17,044$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,97	0,23				
				$E = 1,4039e^{58,807C}$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,52	0,91				
				$E = 8,1832 \ln(C) + 36,466$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,58	0,91				
				$E = 1273,7C^{1,4451}$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,54	0,91				
				$E = 335,46C - 2,159$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,57	0,91				
				226				$E = 0,0836e^{2,3491\rho}$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,79	0,54
								$E = 26,208 \ln(\rho) - 9,5861$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,78	0,54
$E = 0,4615\rho^{4,2907}$	6,36	3,00	0,38					0,88	0,79	0,54				
$E = 14,362\rho - 20,045$	6,36	3,00	0,38					0,88	0,78	0,54				
$E = 1,5271e^{0,0548\rho}$	6,36	3,00	0,38					0,84	0,64	0,62				
$E = 9,9753 \ln(\rho) - 26,023$	6,36	3,00	0,38					0,84	0,74	0,62				
$E = 0,0397\rho^{1,5602}$	6,36	3,00	0,38					0,84	0,68	0,62				
$E = 0,352\rho - 2,7179$	6,36	3,00	0,38					0,84	0,70	0,62				
$E = 51,042 \cdot C + 5,163$	6,36	3,00	0,38					0,13	0,02	1,13				
228								$E = 0,0353e^{2,8546\rho}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,58	1,00
				$E = 28,516 \ln(\rho) - 10,572$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00				
				$E = 0,3006\rho^{5,1024}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,59	1,00				
				$E = 15,978\rho - 22,59$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00				
				$E = 0,9147e^{0,0709\rho}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,67	0,84				
				$E = 11,023 \ln(\rho) - 29,891$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,74	0,84				
				$E = 0,0103\rho^{1,9456}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,70	0,84				
				$E = 0,4033\rho - 4,5337$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,71	0,84				
				$E = 62,791 \cdot C + 4,500$	5,85	4,10	0,51	0,15	0,02	1,57				

Продолжение таблицы Д.1

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам Усер	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
289				$E=16,361 \cdot \rho - 23,494$	6,04	3,10	0,39	0,68	0,47	0,90
				$E = 1,3986e^{0,0559\rho}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,70	0,64
				$E = 9,4282\ln(\rho) - 24,588$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,75	0,64
				$E = 0,04\rho^{1,5398}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
				$E = 0,3434\rho - 2,8469$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
				$E=-9,565 \cdot C+6,244$	6,04	3,10	0,39	0,03	0,00	1,23
303				$E = 0,029e^{2,9331\rho}$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,68	0,87
				$E = 29,154\ln(\rho) - 11,241$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,68	0,87
				$E = 0,2461\rho^{5,3489}$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,69	0,87
				$E = 16,013\rho - 22,946$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,67	0,87
				$E = 1,2185e^{0,0602\rho}$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,70	0,70
				$E = 9,7384\ln(\rho) - 25,682$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,81	0,70
				$E = 0,0254\rho^{1,6713}$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,73	0,70
				$E = 0,3528\rho - 3,1874$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,79	0,70
				$E=-57,563 \cdot C+7,432$	6,24	4,30	0,54	0,12	0,01	1,50
				$E = 0,0184e^{3,23\rho}$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,69	0,72
				$E = 33,992\ln(\rho) - 13,646$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,77	0,72
				$E = 0,1962\rho^{5,8726}$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,70	0,72
				$E = 18,736\rho - 27,412$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,76	0,72
				$E = 1,1245e^{0,0622\rho}$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,59	0,91
327				$E = 9,5542\ln(\rho) - 25,254$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,63	0,91
				$E = 0,0221\rho^{1,705}$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,61	0,91
				$E = 0,351\rho - 3,2957$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,62	0,91
				$E=81,928 \cdot C+4,552$	6,15	4,40	0,55	0,29	0,08	1,42
				$E = 0,1769e^{2,0158\rho}$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,84	0,51
				$E = 21,451\ln(\rho) - 5,8673$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,82	0,51
				$E = 0,842\rho^{3,5219}$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,83	0,51
				$E = 12,308\rho - 15,426$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,83	0,51
				$E = 1,4888e^{0,0514\rho}$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,59	0,73
				$E = 9,0079\ln(\rho) - 23,615$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,62	0,73
334				$E = 0,0589\rho^{1,4025}$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,57	0,73
				$E = 0,3299\rho - 2,8746$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,65	0,73
				$E=131,250 \cdot C+4,078$	6,38	3,40	0,43	0,50	0,25	1,06

Таблица Д.2 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ 1п в Шурфах № 3, 4

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{\text{ср}}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
20	80,17	156	26	$E = 0,9074e^{1,1315p}$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,40	0,70
				$E = 13,964\ln(p) - 1,2006$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,40	0,70
				$E = 2,0907p^{2,0475}$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,41	0,70
				$E = 7,7258p - 6,9088$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,39	0,70
				$E = 0,4793e^{0,0892p}$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,59	0,61
				$E = 16,99\ln(\varphi) - 50,78$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,53	0,61
				$E = 0,001\varphi^{2,5901}$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,59	0,61
				$E = 0,5859\varphi - 10,576$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,53	0,61
				$E = 2,8947e^{52,325C}$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,54	0,64
				$E = 5,399\ln(C) + 29,09$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,50	0,64
				$E = 196,09C^{0,8158}$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,55	0,64
44				$E = 347,8C + 1,1673$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,50	0,64
				$E = 0,1248e^{2,1134p}$	5,89	3,20	0,27	0,76	0,56	0,64
				$E = 22,747\ln(p) - 7,6704$	5,89	3,20	0,27	0,76	0,59	0,64
				$E = 0,5614p^{3,915}$	5,89	3,20	0,27	0,76	0,56	0,64
				$E = 12,291p - 16,427$	5,89	3,20	0,27	0,76	0,58	0,64
				$E = 0,1699e^{0,1435p}$	5,89	3,20	0,27	0,95	0,86	0,31
				$E = 20,638\ln(\varphi) - 60,185$	5,89	3,20	0,27	0,95	0,90	0,31
				$E = 7E-05\varphi^{3,5518}$	5,89	3,20	0,27	0,95	0,86	0,31
				$E = 0,8351\varphi - 14,651$	5,89	3,20	0,27	0,95	0,90	0,31
				$E = 1,3216e^{63,459C}$	5,89	3,20	0,27	0,89	0,75	0,45
				$E = 9,041\ln(C) + 39,911$	5,89	3,20	0,27	0,89	0,81	0,45
72				$E = 1933,9C^{1,544}$	5,89	3,20	0,27	0,89	0,76	0,45
				$E = 372,98C - 2,8006$	5,89	3,20	0,27	0,89	0,80	0,45
				$E = 0,0802e^{2,3906p}$	6,74	1,80	0,13	0,89	0,78	0,47
				$E = 25,676\ln(p) - 9,0389$	6,74	1,80	0,13	0,89	0,80	0,47
				$E = 0,4574p^{4,3622}$	6,74	1,80	0,13	0,89	0,79	0,47
				$E = 14,115p - 19,369$	6,74	1,80	0,13	0,89	0,80	0,47
				$E = 1,7071e^{0,0476p}$	6,74	1,80	0,13	0,88	0,72	0,49
				$E = 7,9462\ln(\varphi) - 19,867$	6,74	1,80	0,13	0,88	0,79	0,49
				$E = 0,0826\varphi^{1,3115}$	6,74	1,80	0,13	0,88	0,74	0,49
				$E = 0,2899\varphi - 1,5549$	6,74	1,80	0,13	0,88	0,78	0,49
				$E = -108,034 * C + 8,716$	6,74	1,80	0,13	0,31	0,09	0,99

Продолжение таблицы Д.2

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $V_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
156				$E = 0,0074e^{3,6777p}$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,70	0,74
				$E = 37,591\ln(p) - 16,313$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,72	0,74
				$E = 0,1131p^{6,6385}$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,70	0,74
				$E = 20,845p - 31,758$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,73	0,74
				$E = 1,2986e^{0,0585p}$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,66	0,72
				$E = 9,4869\ln(p) - 24,725$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,77	0,72
				$E = 0,0303p^{1,6234}$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,69	0,72
				$E = 0,3435p - 2,815$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,74	0,72
180				$E = -86,068 * C + 8,216$	7,00	2,20	0,18	0,23	0,05	1,38
				$E = 12,884 * p - 17,319$	7,00	2,20	0,22	0,65	0,42	0,91
				$E = 1,6654e^{0,0499p}$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,73	0,56
				$E = 8,739\ln(p) - 22,228$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,80	0,56
				$E = -0,0517p^2 + 3,1657p - 40,763$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,85	0,56
				$E = 0,3157p - 2,0118$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,78	0,56
182				$E = -84,135 * C + 8,296$	7,00	2,20	0,22	0,24	0,06	1,16
				$E = 6,593 * p - 6,217$	6,95	2,10	0,26	0,55	0,30	0,93
				$E = 1,3708e^{0,0593p}$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,59	0,66
				$E = 10,279\ln(p) - 26,945$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,70	0,66
				$E = 0,027p^{1,6812}$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,63	0,66
				$E = 0,3646p - 2,9791$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,65	0,66
201				$E = 78,400 * C + 4,563$	6,95	2,10	0,26	0,21	0,04	1,09
				$E = 0,0374e^{2,6744p}$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,75	0,71
				$E = 26,974\ln(p) - 11,14$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,72	0,71
				$E = 0,246p^{4,9864}$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,75	0,71
				$E = 14,485p - 21,367$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,71	0,71
				$E = 0,7834e^{0,0803p}$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,66	0,69
				$E = 12,945\ln(p) - 35,639$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,79	0,69
				$E = 0,0045p^{2,2289}$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,72	0,69
				$E = 0,4698p - 5,7608$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,73	0,69
$E = -54,989 * C + 7,359$	6,84	2,20	0,18	0,11	0,01	1,32				

Продолжение таблицы Д.2

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $V_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
205				$E = 0,0239e^{2,9022p}$	6,94	2,30	0,29	0,80	0,66	0,74
				$E = 31,51\ln(p) - 14,137$	6,94	2,30	0,29	0,80	0,65	0,74
				$E = 0,1681p^{5,5554}$	6,94	2,30	0,29	0,80	0,67	0,74
				$E = 16,48p - 25,237$	6,94	2,30	0,29	0,80	0,64	0,74
				$E = 1,1829e^{0,0648p}$	6,94	2,30	0,29	0,81	0,60	0,71
				$E = 11,015\ln(p) - 29,352$	6,94	2,30	0,29	0,81	0,71	0,71
				$E = 0,0168p^{1,8256}$	6,94	2,30	0,29	0,81	0,65	0,71
				$E = 0,3928p - 3,7284$	6,94	2,30	0,29	0,81	0,66	0,71
226				$E=121,238*C+3,507$	6,94	2,30	0,29	0,33	0,11	1,16
				$E = 0,1345e^{2,0978p}$	7,13	1,40	0,18	0,76	0,61	0,61
				$E = 23,663\ln(p) - 7,9553$	7,13	1,40	0,18	0,76	0,59	0,61
				$E = 0,6055p^{3,8653}$	7,13	1,40	0,18	0,76	0,62	0,61
				$E = 12,85p - 17,182$	7,13	1,40	0,18	0,76	0,58	0,61
				$E = 2,2737e^{0,0403p}$	7,13	1,40	0,18	0,82	0,61	0,54
				$E = 7,5329\ln(p) - 17,982$	7,13	1,40	0,18	0,82	0,70	0,54
				$E = 0,1538p^{1,1489}$	7,13	1,40	0,18	0,82	0,64	0,54
228				$E = 0,2649p - 0,3461$	7,13	1,40	0,18	0,82	0,67	0,54
				$E=-43,165*C+7,750$	7,13	1,40	0,18	0,15	0,02	0,93
				$E = 0,0605e^{2,5484p}$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,61	0,79
				$E = 25,986\ln(p) - 9,1715$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,62	0,79
				$E = 0,4002p^{4,5955}$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,61	0,79
				$E = 14,432p - 19,892$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,61	0,79
				$E = 1,3198e^{0,0584p}$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,56	0,80
				$E = 9,5402\ln(p) - 24,885$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,64	0,80
289				$E = 0,0296p^{1,6339}$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,59	0,80
				$E = 0,3428p - 2,7549$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,61	0,80
				$E=45,509*C+5,262$	6,70	2,70	0,34	0,12	0,02	1,26
				$E = 0,0488e^{2,6496p}$	6,81	2,80	0,35	0,76	0,59	0,73
				$E = 29,46\ln(p) - 11,478$	6,81	2,80	0,35	0,76	0,58	0,73
				$E = 0,3394p^{4,8159}$	6,81	2,80	0,35	0,76	0,59	0,73
				$E = 16,216p - 23,361$	6,81	2,80	0,35	0,76	0,58	0,73
				$E = 1,7635e^{0,0475p}$	6,81	2,80	0,35	0,89	0,75	0,52
				$E = 8,342\ln(p) - 20,986$	6,81	2,80	0,35	0,89	0,80	0,52
				$E = 0,0825p^{1,321}$	6,81	2,80	0,35	0,89	0,77	0,52
				$E = 0,3008p - 1,6695$	6,81	2,80	0,35	0,89	0,79	0,52
				$E=-104,972*C+8,669$	6,81	2,80	0,35	0,29	0,08	1,07

Продолжение таблицы Д.2

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $V_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
303				$E = 0,0599e^{2,5345\rho}$	6,91	1,70	0,21	0,72	0,56	0,80
				$E = 25,152\ln(\rho) - 8,8521$	6,91	1,70	0,21	0,72	0,52	0,80
				$E = 0,3752\rho^{4,6426}$	6,91	1,70	0,21	0,72	0,57	0,80
				$E = 13,747\rho - 18,823$	6,91	1,70	0,21	0,72	0,51	0,80
				$E = 1,7229e^{0,0484\varphi}$	6,91	1,70	0,21	0,87	0,66	0,57
				$E = 8,1946\ln(\varphi) - 20,484$	6,91	1,70	0,21	0,87	0,78	0,57
				$E = 0,0739\varphi^{1,3546}$	6,91	1,70	0,21	0,87	0,68	0,57
				$E = 0,2945\varphi - 1,4788$	6,91	1,70	0,21	0,87	0,75	0,57
				$E = -100,000 * C + 8,675$	6,91	1,70	0,21	0,26	0,07	1,10
327				$E = 0,0646e^{2,5169\rho}$	6,84	1,80	0,23	0,79	0,61	0,69
				$E = 26,447\ln(\rho) - 9,4113$	6,84	1,80	0,23	0,79	0,64	0,69
				$E = 0,4024\rho^{4,5979}$	6,84	1,80	0,23	0,79	0,62	0,69
				$E = 14,501\rho - 19,98$	6,84	1,80	0,23	0,79	0,63	0,69
				$E = 1,7944e^{0,0473\varphi}$	6,84	1,80	0,23	0,72	0,47	0,79
				$E = 7,8948\ln(\varphi) - 19,443$	6,84	1,80	0,23	0,72	0,54	0,79
				$E = 0,0812\varphi^{1,3289}$	6,84	1,80	0,23	0,72	0,49	0,79
				$E = 0,283\varphi - 1,1049$	6,84	1,80	0,23	0,72	0,52	0,79
				$E = 70,210 * C + 4,989$	6,84	1,80	0,23	0,30	0,09	1,09
334				$E = 0,2128e^{1,9059\rho}$	7,05	1,80	0,23	0,88	0,80	0,46
				$E = 20,639\ln(\rho) - 5,4678$	7,05	1,80	0,23	0,88	0,78	0,46
				$E = 0,9175\rho^{3,3548}$	7,05	1,80	0,23	0,88	0,80	0,46
				$E = 11,75\rho - 14,504$	7,05	1,80	0,23	0,88	0,78	0,46
				$E = 1,8794e^{0,0441\varphi}$	7,05	1,80	0,23	0,82	0,62	0,55
				$E = 7,8841\ln(\varphi) - 19,697$	7,05	1,80	0,23	0,82	0,66	0,55
				$E = 0,115\varphi^{1,211}$	7,05	1,80	0,23	0,82	0,61	0,55
				$E = 0,2873\varphi - 1,5096$	7,05	1,80	0,23	0,82	0,68	0,55
				$E = 81,224 * C + 5,220$	7,05	1,80	0,23	0,30	0,09	0,93

Таблица Д.3 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ 1с в Шурфах № 1, 2

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{V}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
20	37,27	127	21,2	$E = 0,208e^{1,9819p}$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,91	0,40
				$E = 22,655\ln(p) - 5,8373$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,93	0,40
				$E = 0,9697p^{3,4566}$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,92	0,40
				$E = 13,023p - 15,984$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,93	0,40
				$E = 0,1196e^{0,1379p}$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 25,793\ln(p) - 80,163$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 1E-05p^{3,9759}$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 0,8966p - 19,344$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 1,6749e^{84,937C}$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,97	0,31
				$E = 8,3645\ln(C) + 41,327$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,93	0,31
				$E = 1432,1C^{1,3006}$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,96	0,31
				$E = 550C - 2,15$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,96	0,31
72				$E = 0,0708e^{2,4585p}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,85	0,43
				$E = 26,043\ln(p) - 9,2286$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,90	0,43
				$E = 0,4237p^{4,4915}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,43
				$E = 14,297p - 19,678$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,89	0,43
				$E = 1,0604e^{0,0628p}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,45
				$E = 9,6747\ln(p) - 25,89$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
				$E = 0,0218p^{1,6964}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,87	0,45
				$E = 0,3595p - 3,7833$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
156				$E = -107,895 * C + 8,387$	6,32	4,20	0,30	0,24	-0,02	1,26
				$E = 0,0021e^{4,3461p}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 41,857\ln(p) - 19,171$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 0,0525p^{7,8304}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 23,255p - 36,447$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 0,8621e^{0,0737p}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,62	0,89
				$E = 11,32\ln(p) - 30,729$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,72	0,89
				$E = 0,0081p^{2,0255}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,65	0,89
	$E = 0,4136p - 4,709$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,68	0,89			
	$E = 39,548 * C + 4,637$	5,57	4,30	0,36	0,11	-0,09	1,58			

## Продолжение таблицы Д.3

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $U_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение				
180				$E=12,580 \cdot \rho - 17,030$	5,89	4,00	0,40	0,61	0,37	1,07				
				$E = 1,2556e^{0,0598\phi}$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,74	0,62				
				$E = 10,159 \ln(\phi) - 26,948$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,81	0,62				
				$E = 0,0282\phi^{1,6463}$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,76	0,62				
				$E = 0,3703\phi - 3,55$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,79	0,62				
				$E=-20,732 \cdot C + 6,359$	5,89	4,00	0,40	0,05	0,00	1,35				
182				$E = 0,0467e^{2,5635\rho}$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88				
				$E = 26,878 \ln(\rho) - 11,056$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88				
				$E = 0,2777\rho^{4,8151}$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88				
				$E = 14,315\rho - 21,011$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88				
				$E = 0,1068e^{0,1618\phi}$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,96	0,19				
				$E = 22,462 \ln(\phi) - 66,081$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,98	0,19				
				$E = 2E-05\phi^{3,9898}$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,96	0,19				
				$E = 0,9128\phi - 16,624$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,98	0,19				
				$E = 1,5511e^{54,883C}$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,48	0,85				
				$E = 8,0796 \ln(C) + 36,077$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,55	0,85				
				$E = 912,19C^{1,3547}$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,48	0,85				
				$E = 328C - 1,972$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,55	0,85				
				205				$E = 0,0103e^{3,3356\rho}$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,72	0,75
								$E = 33,983 \ln(\rho) - 15,835$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,71	0,75
$E = 0,1033\rho^{6,2897}$	5,85	3,80	0,48					0,84	0,72	0,75				
$E = 18,045\rho - 28,322$	5,85	3,80	0,48					0,84	0,71	0,75				
$E = 0,093e^{0,1674\phi}$	5,85	3,80	0,48					0,99	0,93	0,23				
$E = 22,926 \ln(\phi) - 67,547$	5,85	3,80	0,48					0,99	0,98	0,23				
$E = 1E-05\phi^{4,1349}$	5,85	3,80	0,48					0,99	0,94	0,23				
$E = 0,9307\phi - 17,044$	5,85	3,80	0,48					0,99	0,97	0,23				
$E = 1,4039e^{58,807C}$	5,85	3,80	0,48					0,76	0,52	0,91				
$E = 8,1832 \ln(C) + 36,466$	5,85	3,80	0,48					0,76	0,58	0,91				
$E = 1273,7C^{1,4451}$	5,85	3,80	0,48					0,76	0,54	0,91				
$E = 335,46C - 2,159$	5,85	3,80	0,48					0,76	0,57	0,91				

## Продолжение таблицы Д.3

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
228				$E = 0,0353e^{2,8546\rho}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,58	1,00
				$E = 28,516\ln(\rho) - 10,572$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00
				$E = 0,3006\rho^{5,1024}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,59	1,00
				$E = 15,978\rho - 22,59$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00
				$E = 0,9147e^{0,0709\rho}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,67	0,84
				$E = 11,023\ln(\rho) - 29,891$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,74	0,84
				$E = 0,0103\phi^{1,9456}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,70	0,84
				$E = 0,4033\phi - 4,5337$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,71	0,84
				$E = 62,791 * C + 4,500$	5,85	4,10	0,51	0,15	0,02	1,57
289				$E = 16,361 * \rho - 23,494$	6,04	3,10	0,39	0,68	0,47	0,90
				$E = 1,3986e^{0,0559\rho}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,70	0,64
				$E = 9,4282\ln(\rho) - 24,588$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,75	0,64
				$E = 0,04\phi^{1,5398}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
				$E = 0,3434\phi - 2,8469$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
				$E = -9,565 * C + 6,244$	6,04	3,10	0,39	0,03	0,00	1,23
303				$E = 0,029e^{2,9331\rho}$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,68	0,87
				$E = 29,154\ln(\rho) - 11,241$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,68	0,87
				$E = 0,2461\rho^{5,3489}$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,69	0,87
				$E = 16,013\rho - 22,946$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,67	0,87
				$E = 1,2185e^{0,0602\rho}$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,70	0,70
				$E = 9,7384\ln(\rho) - 25,682$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,81	0,70
				$E = 0,0254\phi^{1,6713}$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,73	0,70
				$E = 0,3528\phi - 3,1874$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,79	0,70
				$E = -57,563 * C + 7,432$	6,24	4,30	0,54	0,12	0,01	1,50
				$E = 0,0184e^{3,23\rho}$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,69	0,72
327				$E = 33,992\ln(\rho) - 13,646$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,77	0,72
				$E = 0,1962\rho^{5,8726}$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,70	0,72
				$E = 18,736\rho - 27,412$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,76	0,72
				$E = 1,1245e^{0,0622\rho}$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,59	0,91
				$E = 9,5542\ln(\rho) - 25,254$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,63	0,91
				$E = 0,0221\phi^{1,705}$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,61	0,91
				$E = 0,351\phi - 3,2957$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,62	0,91
				$E = 81,928 * C + 4,552$	6,15	4,40	0,55	0,29	0,08	1,42

Продолжение таблицы Д.3

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
334				$E = 0,1769e^{2,0158\rho}$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,84	0,51
				$E = 21,451\ln(\rho) - 5,8673$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,82	0,51
				$E = 0,842\rho^{3,5219}$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,83	0,51
				$E = 12,308\rho - 15,426$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,83	0,51
				$E = 1,4888e^{0,0514\varphi}$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,59	0,73
				$E = 9,0079\ln(\varphi) - 23,615$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,62	0,73
				$E = 0,0589\varphi^{1,4025}$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,57	0,73
				$E = 0,3299\varphi - 2,8746$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,65	0,73
				$E = 131,250 * C + 4,078$	6,38	3,40	0,43	0,50	0,25	1,06

Таблица Д.4 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ 1с в Шурфах № 3, 4

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
20	2,9	87	14,5	$E = 0,9074e^{1,1315\rho}$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,40	0,70
				$E = 13,964\ln(\rho) - 1,2006$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,40	0,70
				$E = 2,0907\rho^{2,0475}$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,41	0,70
				$E = 7,7258\rho - 6,9088$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,39	0,70
				$E = 0,4793e^{0,0892\varphi}$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,59	0,61
				$E = 16,99\ln(\varphi) - 50,78$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,53	0,61
				$E = 0,001\varphi^{2,5901}$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,59	0,61
				$E = 0,5859\varphi - 10,576$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,53	0,61
				$E = 2,8947e^{52,325C}$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,54	0,64
				$E = 5,399\ln(C) + 29,09$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,50	0,64
				$E = 196,09C^{0,8158}$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,55	0,64
				$E = 347,8C + 1,1673$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,50	0,64

Таблица Д.5 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ 1р в Шурфах № 1, 2

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $V_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
20	11,07	18	3,0	$E = 0,208e^{1,9819\rho}$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,91	0,40
				$E = 22,655\ln(\rho) - 5,8373$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,93	0,40
				$E = 0,9697\rho^{3,4566}$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,92	0,40
				$E = 13,023\rho - 15,984$	6,51	3,70	0,46	0,96	0,93	0,40
				$E = 0,1196e^{0,1379\rho}$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 25,793\ln(\rho) - 80,163$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 1E-05\rho^{3,9759}$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 0,8966\rho - 19,344$	6,51	3,70	0,46	0,99	0,98	0,21
				$E = 1,6749e^{84,937C}$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,97	0,31
				$E = 8,3645\ln(C) + 41,327$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,93	0,31
				$E = 1432,1C^{1,3006}$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,96	0,31
				$E = 550C - 2,15$	6,51	3,70	0,46	0,98	0,96	0,31
303				$E = 0,029e^{2,9331\rho}$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,68	0,87
				$E = 29,154\ln(\rho) - 11,241$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,68	0,87
				$E = 0,2461\rho^{5,3489}$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,69	0,87
				$E = 16,013\rho - 22,946$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,67	0,87
				$E = 1,2185e^{0,0602\rho}$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,70	0,70
				$E = 9,7384\ln(\rho) - 25,682$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,81	0,70
				$E = 0,0254\rho^{1,6713}$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,73	0,70
				$E = 0,3528\rho - 3,1874$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,79	0,70
327				$E = -57,563 * C + 7,432$	6,24	4,30	0,54	0,12	0,01	1,50
				$E = 0,0184e^{3,23\rho}$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,69	0,72
				$E = 33,992\ln(\rho) - 13,646$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,77	0,72
				$E = 0,1962\rho^{5,8726}$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,70	0,72
				$E = 18,736\rho - 27,412$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,76	0,72
				$E = 1,1245e^{0,0622\rho}$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,59	0,91
				$E = 9,5542\ln(\rho) - 25,254$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,63	0,91
				$E = 0,0221\rho^{1,705}$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,61	0,91
$E = 0,351\rho - 3,2957$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,62	0,91				
				$E = 81,928 * C + 4,552$	6,15	4,40	0,55	0,29	0,08	1,42

## Продолжение таблицы Д.5

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $V_{ср}$	Вариация $Var$	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя $E$ , МПа	Вариация $Var$	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции $R$	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
334				$E = 0,1769e^{2,0158\rho}$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,84	0,51
				$E = 21,451\ln(\rho) - 5,8673$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,82	0,51
				$E = 0,842\rho^{3,5219}$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,83	0,51
				$E = 12,308\rho - 15,426$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,83	0,51
				$E = 1,4888e^{0,0514\varphi}$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,59	0,73
				$E = 9,0079\ln(\varphi) - 23,615$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,62	0,73
				$E = 0,0589\varphi^{1,4025}$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,57	0,73
				$E = 0,3299\varphi - 2,8746$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,65	0,73
				$E = 131,250 * C + 4,078$	6,38	3,40	0,43	0,50	0,25	1,06

Таблица Д.6 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ 2п в Шурфах № 1, 2

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
44	18,67	74	12,3	$E = 0,0692e^{2,3931\rho}$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,75	0,56
				$E = 25,036\ln(\rho) - 9,4801$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,78	0,56
				$E = 0,3813\rho^{4,4286}$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,75	0,56
				$E = 13,542\rho - 19,151$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,78	0,56
				$E = 0,1605e^{0,1452\varphi}$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,83	0,42
				$E = 20,229\ln(\varphi) - 58,939$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,87	0,42
				$E = 6E-05\varphi^{3,5662}$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,83	0,42
				$E = 0,8245\varphi - 14,459$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,88	0,42
				$E = 1,0337e^{73,794C}$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,69	0,62
				$E = 9,8399\ln(C) + 42,913$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,73	0,62
				$E = 3924,3C^{1,7329}$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,70	0,62
156				$E = 419,89C - 3,9057$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,73	0,62
				$E = 0,0021e^{4,3461\rho}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 41,857\ln(\rho) - 19,171$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 0,0525\rho^{7,8304}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 23,255\rho - 36,447$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 0,8621e^{0,0737\varphi}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,62	0,89
				$E = 11,32\ln(\varphi) - 30,729$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,72	0,89
				$E = 0,0081\varphi^{2,0255}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,65	0,89
				$E = 0,4136\varphi - 4,709$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,68	0,89
				$E=39,548*C+4,637$	5,57	4,30	0,36	0,11	-0,09	1,58
				171				$E = 0,0283e^{2,8921\rho}$	5,78	3,50
$E = 28,609\ln(\rho) - 11,533$	5,78	3,50	0,44					0,97	0,94	0,32
$E = 0,2308\rho^{5,2889}$	5,78	3,50	0,44					0,97	0,92	0,32
$E = 15,68\rho - 22,958$	5,78	3,50	0,44					0,97	0,94	0,32
$E = 0,0267e^{0,2216\varphi}$	5,78	3,50	0,44					0,94	0,86	0,44
$E = 28,902\ln(\varphi) - 86,27$	5,78	3,50	0,44					0,94	0,88	0,44
$E = 2E-07\varphi^{5,3465}$	5,78	3,50	0,44					0,94	0,87	0,44
$E = 1,1998\varphi - 23,231$	5,78	3,50	0,44					0,94	0,88	0,44
$E = 2,0345e^{39,93C}$	5,78	3,50	0,44					0,85	0,68	0,66
$E = 5,8404\ln(C) + 27,253$	5,78	3,50	0,44					0,85	0,74	0,66
$E = 275,61C^{1,0565}$	5,78	3,50	0,44					0,85	0,70	0,66
$E = 222,59C + 0,0712$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,73	0,66				

Продолжение таблицы Д.6

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
182				$E = 0,0467e^{2,5635\rho}$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88
				$E = 26,878\ln(\rho) - 11,056$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88
				$E = 0,2777\rho^{4,8151}$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88
				$E = 14,315\rho - 21,011$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88
				$E = 0,1068e^{0,1618\varphi}$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,96	0,19
				$E = 22,462\ln(\varphi) - 66,081$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,98	0,19
				$E = 2E-05\varphi^{3,9898}$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,96	0,19
				$E = 0,9128\varphi - 16,624$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,98	0,19
				$E = 1,5511e^{54,883C}$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,48	0,85
				$E = 8,0796\ln(C) + 36,077$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,55	0,85
				$E = 912,19C^{1,3547}$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,48	0,85
$E = 328C - 1,972$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,55	0,85				
201				$E = 0,0205e^{2,9987\rho}$	5,25	4,20	0,35	0,83	0,71	0,77
				$E = 28,203\ln(\rho) - 11,929$	5,25	4,20	0,35	0,83	0,68	0,77
				$E = 0,1844\rho^{5,4521}$	5,25	4,20	0,35	0,83	0,71	0,77
				$E = 15,532\rho - 23,329$	5,25	4,20	0,35	0,83	0,68	0,77
				$E = 0,0814e^{0,1738\varphi}$	5,25	4,20	0,35	0,97	0,91	0,30
				$E = 22,765\ln(\varphi) - 66,892$	5,25	4,20	0,35	0,97	0,95	0,30
				$E = 8E-06\varphi^{4,2345}$	5,25	4,20	0,35	0,97	0,92	0,30
				$E = 0,9375\varphi - 17,077$	5,25	4,20	0,35	0,97	0,95	0,30
$y = -47,314 * C + 6,382$	5,25	4,20	0,35	0,09	0,01	1,36				
205				$E = 0,0103e^{3,3356\rho}$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,72	0,75
				$E = 33,983\ln(\rho) - 15,835$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,71	0,75
				$E = 0,1033\rho^{6,2897}$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,72	0,75
				$E = 18,045\rho - 28,322$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,71	0,75
				$E = 0,093e^{0,1674\varphi}$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,93	0,23
				$E = 22,926\ln(\varphi) - 67,547$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,98	0,23
				$E = 1E-05\varphi^{4,1349}$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,94	0,23
				$E = 0,9307\varphi - 17,044$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,97	0,23
				$E = 1,4039e^{58,807C}$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,52	0,91
				$E = 8,1832\ln(C) + 36,466$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,58	0,91
				$E = 1273,7C^{1,4451}$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,54	0,91
				$E = 335,46C - 2,159$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,57	0,91
				226				$E = 0,0836e^{2,3491\rho}$	6,36	3,00
$E = 26,208\ln(\rho) - 9,5861$	6,36	3,00	0,38					0,88	0,78	0,54
$E = 0,4615\rho^{4,2907}$	6,36	3,00	0,38					0,88	0,79	0,54
$E = 14,362\rho - 20,045$	6,36	3,00	0,38					0,88	0,78	0,54
$E = 1,5271e^{0,0548\varphi}$	6,36	3,00	0,38					0,84	0,64	0,62
$E = 9,9753\ln(\varphi) - 26,023$	6,36	3,00	0,38					0,84	0,74	0,62
$E = 0,0397\varphi^{1,5602}$	6,36	3,00	0,38					0,84	0,68	0,62
$E = 0,352\varphi - 2,7179$	6,36	3,00	0,38					0,84	0,70	0,62
$E = 51,042 * C + 5,163$	6,36	3,00	0,38					0,13	0,02	1,13

## Продолжение таблицы Д.6

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
228				$E = 0,0353e^{2,8546\rho}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,58	1,00
				$E = 28,516\ln(\rho) - 10,572$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00
				$E = 0,3006\rho^{5,1024}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,59	1,00
				$E = 15,978\rho - 22,59$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00
				$E = 0,9147e^{0,0709\varphi}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,67	0,84
				$E = 11,023\ln(\varphi) - 29,891$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,74	0,84
				$E = 0,0103\varphi^{1,9456}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,70	0,84
				$E = 0,4033\varphi - 4,5337$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,71	0,84
289				$E=62,791 * C+4,500$	5,85	4,10	0,51	0,15	0,02	1,57
				$E=16,361 * \rho-23,494$	6,04	3,10	0,39	0,68	0,47	0,90
				$E = 1,3986e^{0,0559\varphi}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,70	0,64
				$E = 9,4282\ln(\varphi) - 24,588$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,75	0,64
				$E = 0,04\varphi^{1,5398}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
				$E = 0,3434\varphi - 2,8469$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
				$E=-9,565 * C+6,244$	6,04	3,10	0,39	0,03	0,00	1,23

Таблица Д.7 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ 2п в Шурфах № 3, 4

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $U_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
20	53,43	126	21,0	$E = 0,9074e^{1,1315p}$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,40	0,70
				$E = 13,964\ln(p) - 1,2006$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,40	0,70
				$E = 2,0907p^{2,0475}$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,41	0,70
				$E = 7,7258p - 6,9088$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,39	0,70
				$E = 0,4793e^{0,0892p}$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,59	0,61
				$E = 16,99\ln(\varphi) - 50,78$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,53	0,61
				$E = 0,001\varphi^{2,5901}$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,59	0,61
				$E = 0,5859\varphi - 10,576$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,53	0,61
				$E = 2,8947e^{52,325C}$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,54	0,64
				$E = 5,399\ln(C) + 29,09$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,50	0,64
				$E = 196,09C^{0,8158}$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,55	0,64
				$E = 347,8C + 1,1673$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,50	0,64
44				$E = 0,1248e^{2,1134p}$	5,89	3,20	0,27	0,76	0,56	0,64
				$E = 22,747\ln(p) - 7,6704$	5,89	3,20	0,27	0,76	0,59	0,64
				$E = 0,5614p^{3,915}$	5,89	3,20	0,27	0,76	0,56	0,64
				$E = 12,291p - 16,427$	5,89	3,20	0,27	0,76	0,58	0,64
				$E = 0,1699e^{0,1435p}$	5,89	3,20	0,27	0,95	0,86	0,31
				$E = 20,638\ln(\varphi) - 60,185$	5,89	3,20	0,27	0,95	0,90	0,31
				$E = 7E-05\varphi^{3,5518}$	5,89	3,20	0,27	0,95	0,86	0,31
				$E = 0,8351\varphi - 14,651$	5,89	3,20	0,27	0,95	0,90	0,31
				$E = 1,3216e^{63,459C}$	5,89	3,20	0,27	0,89	0,75	0,45
				$E = 9,041\ln(C) + 39,911$	5,89	3,20	0,27	0,89	0,81	0,45
				$E = 1933,9C^{1,544}$	5,89	3,20	0,27	0,89	0,76	0,45
				$E = 372,98C - 2,8006$	5,89	3,20	0,27	0,89	0,80	0,45
156				$E = 0,0074e^{3,677p}$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,70	0,74
				$E = 37,591\ln(p) - 16,313$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,72	0,74
				$E = 0,1131p^{6,6385}$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,70	0,74
				$E = 20,845p - 31,758$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,73	0,74
				$E = 1,2986e^{0,0585p}$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,66	0,72
				$E = 9,4869\ln(\varphi) - 24,725$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,77	0,72
				$E = 0,0303\varphi^{1,6234}$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,69	0,72
				$E = 0,3435\varphi - 2,815$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,74	0,72
				$E = -86,068 * C + 8,216$	7,00	2,20	0,18	0,23	0,05	1,38
				$E = 12,884 * p - 17,319$	7,00	2,20	0,22	0,65	0,42	0,91
				$E = 1,6654e^{0,0499p}$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,73	0,56
				$E = 8,739\ln(\varphi) - 22,228$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,80	0,56
180				$E = -0,0517\varphi^2 + 3,1657\varphi - 40,763$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,85	0,56
				$E = 0,3157\varphi - 2,0118$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,78	0,56
				$E = -84,135 * C + 8,296$	7,00	2,20	0,22	0,24	0,06	1,16

Продолжение таблицы Д.7

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $V_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение				
182				$E=6,593 * \rho - 6,217$	6,95	2,10	0,26	0,55	0,30	0,93				
				$E = 1,3708e^{0,0593\rho}$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,59	0,66				
				$E = 10,279\ln(\rho) - 26,945$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,70	0,66				
				$E = 0,027\rho^{1,6812}$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,63	0,66				
				$E = 0,3646\rho - 2,9791$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,65	0,66				
201				$E=78,400 * C + 4,563$	6,95	2,10	0,26	0,21	0,04	1,09				
				$E = 0,0374e^{2,6744\rho}$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,75	0,71				
				$E = 26,974\ln(\rho) - 11,14$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,72	0,71				
				$E = 0,246\rho^{4,9864}$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,75	0,71				
				$E = 14,485\rho - 21,367$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,71	0,71				
				$E = 0,7834e^{0,0803\rho}$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,66	0,69				
				$E = 12,945\ln(\rho) - 35,639$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,79	0,69				
				$E = 0,0045\rho^{2,2289}$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,72	0,69				
				$E = 0,4698\rho - 5,7608$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,73	0,69				
				$E=-54,989 * C + 7,359$	6,84	2,20	0,18	0,11	0,01	1,32				
				226				$E = 0,1345e^{2,0978\rho}$	7,13	1,40	0,18	0,76	0,61	0,61
$E = 23,663\ln(\rho) - 7,9553$	7,13	1,40	0,18					0,76	0,59	0,61				
$E = 0,6055\rho^{3,8653}$	7,13	1,40	0,18					0,76	0,62	0,61				
$E = 12,85\rho - 17,182$	7,13	1,40	0,18					0,76	0,58	0,61				
$E = 2,2737e^{0,0403\rho}$	7,13	1,40	0,18					0,82	0,61	0,54				
$E = 7,5329\ln(\rho) - 17,982$	7,13	1,40	0,18					0,82	0,70	0,54				
$E = 0,1538\rho^{1,1489}$	7,13	1,40	0,18					0,82	0,64	0,54				
$E = 0,2649\rho - 0,3461$	7,13	1,40	0,18					0,82	0,67	0,54				
$E=-43,165 * C + 7,750$	7,13	1,40	0,18					0,15	0,02	0,93				
228								$E = 0,0605e^{2,5484\rho}$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,61	0,79
								$E = 25,986\ln(\rho) - 9,1715$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,62	0,79
				$E = 0,4002\rho^{4,5955}$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,61	0,79				
				$E = 14,432\rho - 19,892$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,61	0,79				
				$E = 1,3198e^{0,0584\rho}$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,56	0,80				
				$E = 9,5402\ln(\rho) - 24,885$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,64	0,80				
				$E = 0,0296\rho^{1,6339}$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,59	0,80				
				$E = 0,3428\rho - 2,7549$	6,70	2,70	0,34	0,78	0,61	0,80				
				$E=45,509 * C + 5,262$	6,70	2,70	0,34	0,12	0,02	1,26				
				289				$E = 0,0488e^{2,6496\rho}$	6,81	2,80	0,35	0,76	0,59	0,73
								$E = 29,46\ln(\rho) - 11,478$	6,81	2,80	0,35	0,76	0,58	0,73
$E = 0,3394\rho^{4,8159}$	6,81	2,80	0,35					0,76	0,59	0,73				
$E = 16,216\rho - 23,361$	6,81	2,80	0,35					0,76	0,58	0,73				
$E = 1,7635e^{0,0475\rho}$	6,81	2,80	0,35					0,89	0,75	0,52				
$E = 8,342\ln(\rho) - 20,986$	6,81	2,80	0,35					0,89	0,80	0,52				
$E = 0,0825\rho^{1,321}$	6,81	2,80	0,35					0,89	0,77	0,52				
$E = 0,3008\rho - 1,6695$	6,81	2,80	0,35					0,89	0,79	0,52				
$E=-104,972 * C + 8,669$	6,81	2,80	0,35	0,29	0,08	1,07								

Продолжение таблицы Д.7

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $V_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
303				$E = 0,0599e^{2,5345p}$	6,91	1,70	0,21	0,72	0,56	0,80
				$E = 25,152\ln(p) - 8,8521$	6,91	1,70	0,21	0,72	0,52	0,80
				$E = 0,3752p^{4,6426}$	6,91	1,70	0,21	0,72	0,57	0,80
				$E = 13,747p - 18,823$	6,91	1,70	0,21	0,72	0,51	0,80
				$E = 1,7229e^{0,0484p}$	6,91	1,70	0,21	0,87	0,66	0,57
				$E = 8,1946\ln(p) - 20,484$	6,91	1,70	0,21	0,87	0,78	0,57
				$E = 0,0739p^{1,3546}$	6,91	1,70	0,21	0,87	0,68	0,57
				$E = 0,2945p - 1,4788$	6,91	1,70	0,21	0,87	0,75	0,57
327				$E = -100,000 * C + 8,675$	6,91	1,70	0,21	0,26	0,07	1,10
				$E = 0,0646e^{2,5169p}$	6,84	1,80	0,23	0,79	0,61	0,69
				$E = 26,447\ln(p) - 9,4113$	6,84	1,80	0,23	0,79	0,64	0,69
				$E = 0,4024p^{4,5979}$	6,84	1,80	0,23	0,79	0,62	0,69
				$E = 14,501p - 19,98$	6,84	1,80	0,23	0,79	0,63	0,69
				$E = 1,7944e^{0,0473p}$	6,84	1,80	0,23	0,72	0,47	0,79
				$E = 7,8948\ln(p) - 19,443$	6,84	1,80	0,23	0,72	0,54	0,79
				$E = 0,0812p^{1,3289}$	6,84	1,80	0,23	0,72	0,49	0,79
334				$E = 0,283p - 1,1049$	6,84	1,80	0,23	0,72	0,52	0,79
				$E = 70,210 * C + 4,989$	6,84	1,80	0,23	0,30	0,09	1,09
				$E = 0,2128e^{1,9059p}$	7,05	1,80	0,23	0,88	0,80	0,46
				$E = 20,639\ln(p) - 5,4678$	7,05	1,80	0,23	0,88	0,78	0,46
				$E = 0,9175p^{3,3548}$	7,05	1,80	0,23	0,88	0,80	0,46
				$E = 11,75p - 14,504$	7,05	1,80	0,23	0,88	0,78	0,46
				$E = 1,8794e^{0,0441p}$	7,05	1,80	0,23	0,82	0,62	0,55
				$E = 7,8841\ln(p) - 19,697$	7,05	1,80	0,23	0,82	0,66	0,55
$E = 0,115p^{1,211}$	7,05	1,80	0,23	0,82	0,61	0,55				
				$E = 0,2873p - 1,5096$	7,05	1,80	0,23	0,82	0,68	0,55
				$E = 81,224 * C + 5,220$	7,05	1,80	0,23	0,30	0,09	0,93

Таблица Д.8 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ 2с в Шурфах № 1, 2

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{V}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
44	68,97	152	25,3	$E = 0,0692e^{2,3931p}$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,75	0,56
				$E = 25,036\ln(p) - 9,4801$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,78	0,56
				$E = 0,3813p^{4,4286}$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,75	0,56
				$E = 13,542p - 19,151$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,78	0,56
				$E = 0,1605e^{0,1452\varphi}$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,83	0,42
				$E = 20,229\ln(\varphi) - 58,939$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,87	0,42
				$E = 6E-05\varphi^{3,5662}$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,83	0,42
				$E = 0,8245\varphi - 14,459$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,88	0,42
				$E = 1,0337e^{73,794C}$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,69	0,62
				$E = 9,8399\ln(C) + 42,913$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,73	0,62
				$E = 3924,3C^{1,7329}$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,70	0,62
				$E = 419,89C - 3,9057$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,73	0,62
72				$E = 0,0708e^{2,4585p}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,85	0,43
				$E = 26,043\ln(p) - 9,2286$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,90	0,43
				$E = 0,4237p^{4,4915}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,43
				$E = 14,297p - 19,678$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,89	0,43
				$E = 1,0604e^{0,0628\varphi}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,45
				$E = 9,6747\ln(\varphi) - 25,89$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
				$E = 0,0218\varphi^{1,6964}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,87	0,45
				$E = 0,3595\varphi - 3,7833$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
				$E = -107,895 * C + 8,387$	6,32	4,20	0,30	0,24	-0,02	1,26
				$E = 0,0021e^{4,3461p}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 41,857\ln(p) - 19,171$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 0,0525p^{7,8304}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
156				$E = 23,255p - 36,447$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 0,8621e^{0,0737\varphi}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,62	0,89
				$E = 11,32\ln(\varphi) - 30,729$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,72	0,89
				$E = 0,0081\varphi^{2,0255}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,65	0,89
				$E = 0,4136\varphi - 4,709$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,68	0,89
				$E = 39,548 * C + 4,637$	5,57	4,30	0,36	0,11	-0,09	1,58
				$E = 0,0283e^{2,8921p}$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,92	0,32
				$E = 28,609\ln(p) - 11,533$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,94	0,32
				$E = 0,2308p^{5,2889}$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,92	0,32
				$E = 15,68p - 22,958$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,94	0,32
				$E = 0,0267e^{0,2216\varphi}$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,86	0,44
				$E = 28,902\ln(\varphi) - 86,27$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,88	0,44
171				$E = 2E-07\varphi^{5,3465}$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,87	0,44
				$E = 1,1998\varphi - 23,231$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,88	0,44
				$E = 2,0345e^{39,93C}$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,68	0,66
				$E = 5,8404\ln(C) + 27,253$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,74	0,66
				$E = 275,61C^{1,0565}$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,70	0,66
				$E = 222,59C + 0,0712$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,73	0,66

Продолжение таблицы Д.8

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $U_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
180				$E=12,580 \cdot p - 17,030$	5,89	4,00	0,40	0,61	0,37	1,07
				$E = 1,2556e^{0,0598p}$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,74	0,62
				$E = 10,159 \ln(p) - 26,948$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,81	0,62
				$E = 0,0282p^{1,6463}$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,76	0,62
				$E = 0,3703p - 3,55$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,79	0,62
182				$E=-20,732 \cdot C + 6,359$	5,89	4,00	0,40	0,05	0,00	1,35
				$E = 0,0467e^{2,5635p}$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88
				$E = 26,878 \ln(p) - 11,056$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88
				$E = 0,2777p^{4,8151}$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88
				$E = 14,315p - 21,011$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88
				$E = 0,1068e^{0,1618p}$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,96	0,19
				$E = 22,462 \ln(p) - 66,081$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,98	0,19
				$E = 2E - 05p^{3,9898}$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,96	0,19
				$E = 0,9128p - 16,624$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,98	0,19
				$E = 1,5511e^{54,883C}$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,48	0,85
				$E = 8,0796 \ln(C) + 36,077$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,55	0,85
				$E = 912,19C^{1,3547}$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,48	0,85
				$E = 328C - 1,972$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,55	0,85
				$E = 0,0205e^{2,9987p}$	5,25	4,20	0,35	0,83	0,71	0,77
				201				$E = 28,203 \ln(p) - 11,929$	5,25	4,20
$E = 0,1844p^{5,4521}$	5,25	4,20	0,35					0,83	0,71	0,77
$E = 15,532p - 23,329$	5,25	4,20	0,35					0,83	0,68	0,77
$E = 0,0814e^{0,1738p}$	5,25	4,20	0,35					0,97	0,91	0,30
$E = 22,765 \ln(p) - 66,892$	5,25	4,20	0,35					0,97	0,95	0,30
$E = 8E - 06p^{4,2345}$	5,25	4,20	0,35					0,97	0,92	0,30
$E = 0,9375p - 17,077$	5,25	4,20	0,35					0,97	0,95	0,30
$E = 47,314 \cdot C + 6,382$	5,25	4,20	0,35					0,09	0,01	1,36
$E = 0,0103e^{3,3356p}$	5,85	3,80	0,48					0,84	0,72	0,75
$E = 33,983 \ln(p) - 15,835$	5,85	3,80	0,48					0,84	0,71	0,75
205				$E = 0,1033p^{6,2897}$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,72	0,75
				$E = 18,045p - 28,322$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,71	0,75
				$E = 0,093e^{0,1674p}$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,93	0,23
				$E = 22,926 \ln(p) - 67,547$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,98	0,23
				$E = 1E - 05p^{4,1349}$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,94	0,23
				$E = 0,9307p - 17,044$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,97	0,23
				$E = 1,4039e^{58,807C}$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,52	0,91
				$E = 8,1832 \ln(C) + 36,466$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,58	0,91
				$E = 1273,7C^{1,4451}$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,54	0,91
				$E = 335,46C - 2,159$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,57	0,91

Продолжение таблицы Д.8

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $U_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
226				$E = 0,0836e^{2,3491\rho}$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,79	0,54
				$E = 26,208\ln(\rho) - 9,5861$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,78	0,54
				$E = 0,4615\rho^{4,2907}$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,79	0,54
				$E = 14,362\rho - 20,045$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,78	0,54
				$E = 1,5271e^{0,0548\varphi}$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,64	0,62
				$E = 9,9753\ln(\varphi) - 26,023$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,74	0,62
				$E = 0,0397\varphi^{1,5602}$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,68	0,62
				$E = 0,352\varphi - 2,7179$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,70	0,62
				$E = 51,042 * C + 5,163$	6,36	3,00	0,38	0,13	0,02	1,13
228				$E = 0,0353e^{2,8546\rho}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,58	1,00
				$E = 28,516\ln(\rho) - 10,572$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00
				$E = 0,3006\rho^{5,1024}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,59	1,00
				$E = 15,978\rho - 22,59$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00
				$E = 0,9147e^{0,0709\varphi}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,67	0,84
				$E = 11,023\ln(\varphi) - 29,891$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,74	0,84
				$E = 0,0103\varphi^{1,9456}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,70	0,84
				$E = 0,4033\varphi - 4,5337$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,71	0,84
				$E = 62,791 * C + 4,500$	5,85	4,10	0,51	0,15	0,02	1,57
289				$E = 16,361 * \rho - 23,494$	6,04	3,10	0,39	0,68	0,47	0,90
				$E = 1,3986e^{0,0559\varphi}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,70	0,64
				$E = 9,4282\ln(\varphi) - 24,588$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,75	0,64
				$E = 0,04\varphi^{1,5398}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
				$E = 0,3434\varphi - 2,8469$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
				$E = -9,565 * C + 6,244$	6,04	3,10	0,39	0,03	0,00	1,23
				$E = 0,029e^{2,9331\rho}$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,68	0,87
				$E = 29,154\ln(\rho) - 11,241$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,68	0,87
				$E = 0,2461\rho^{5,3489}$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,69	0,87
303				$E = 16,013\rho - 22,946$	6,24	4,30	0,54	0,82	0,67	0,87
				$E = 1,2185e^{0,0602\varphi}$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,70	0,70
				$E = 9,7384\ln(\varphi) - 25,682$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,81	0,70
				$E = 0,0254\varphi^{1,6713}$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,73	0,70
				$E = 0,3528\varphi - 3,1874$	6,24	4,30	0,54	0,89	0,79	0,70
				$E = -57,563 * C + 7,432$	6,24	4,30	0,54	0,12	0,01	1,50
				$E = 0,0184e^{3,23\rho}$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,69	0,72
				$E = 33,992\ln(\rho) - 13,646$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,77	0,72
				$E = 0,1962\rho^{5,8726}$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,70	0,72
327				$E = 18,736\rho - 27,412$	6,15	4,40	0,55	0,87	0,76	0,72
				$E = 1,1245e^{0,0622\varphi}$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,59	0,91
				$E = 9,5542\ln(\varphi) - 25,254$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,63	0,91
				$E = 0,0221\varphi^{1,705}$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,61	0,91
				$E = 0,351\varphi - 3,2957$	6,15	4,40	0,55	0,79	0,62	0,91
				$E = 81,928 * C + 4,552$	6,15	4,40	0,55	0,29	0,08	1,42

Продолжение таблицы Д.8

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
334				$E = 0,1769e^{2,0158p}$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,84	0,51
				$E = 21,451\ln(p) - 5,8673$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,82	0,51
				$E = 0,842p^{3,5219}$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,83	0,51
				$E = 12,308p - 15,426$	6,38	3,40	0,43	0,91	0,83	0,51
				$E = 1,4888e^{0,0514\varphi}$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,59	0,73
				$E = 9,0079\ln(\varphi) - 23,615$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,62	0,73
				$E = 0,0589\varphi^{1,4025}$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,57	0,73
				$E = 0,3299\varphi - 2,8746$	6,38	3,40	0,43	0,80	0,65	0,73
				$E = 131,250 * C + 4,078$	6,38	3,40	0,43	0,50	0,25	1,06

Таблица Д.9 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ 2с в Шурфах № 3, 4

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $V_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
20	63,63	126	21,0	$E = 0,9074e^{1,1315p}$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,40	0,70
				$E = 13,964\ln(p) - 1,2006$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,40	0,70
				$E = 2,0907p^{2,0475}$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,41	0,70
				$E = 7,7258p - 6,9088$	6,86	3,00	0,38	0,62	0,39	0,70
				$E = 0,4793e^{0,0892\varphi}$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,59	0,61
				$E = 16,99\ln(\varphi) - 50,78$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,53	0,61
				$E = 0,001\varphi^{2,5901}$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,59	0,61
				$E = 0,5859\varphi - 10,576$	6,86	3,00	0,38	0,73	0,53	0,61
				$E = 2,8947e^{52,325C}$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,54	0,64
				$E = 5,399\ln(C) + 29,09$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,50	0,64
				$E = 196,09C^{0,8158}$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,55	0,64
44				$E = 347,8C + 1,1673$	6,86	3,00	0,38	0,70	0,50	0,64
				$E = 0,1248e^{2,1134p}$	6,78	1,50	0,13	0,76	0,56	0,64
				$E = 22,747\ln(p) - 7,6704$	6,78	1,50	0,13	0,76	0,59	0,64
				$E = 0,5614p^{3,915}$	6,78	1,50	0,13	0,76	0,56	0,64
				$E = 12,291p - 16,427$	6,78	1,50	0,13	0,76	0,58	0,64
				$E = 0,1699e^{0,1435\varphi}$	6,78	1,50	0,13	0,95	0,86	0,31
				$E = 20,638\ln(\varphi) - 60,185$	6,78	1,50	0,13	0,95	0,90	0,31
				$E = 7E-05\varphi^{3,5518}$	6,78	1,50	0,13	0,95	0,86	0,31
				$E = 0,8351\varphi - 14,651$	6,78	1,50	0,13	0,95	0,90	0,31
				$E = 1,3216e^{63,459C}$	6,78	1,50	0,13	0,89	0,75	0,45
				$E = 9,041\ln(C) + 39,911$	6,78	1,50	0,13	0,89	0,81	0,45
72				$E = 1933,9C^{1,544}$	6,78	1,50	0,13	0,89	0,76	0,45
				$E = 372,98C - 2,8006$	6,78	1,50	0,13	0,89	0,80	0,45
				$E = 0,0802e^{2,3906p}$	6,74	1,80	0,13	0,89	0,78	0,47
				$E = 25,676\ln(p) - 9,0389$	6,74	1,80	0,13	0,89	0,80	0,47
				$E = 0,4574p^{4,3622}$	6,74	1,80	0,13	0,89	0,79	0,47
				$E = 14,115p - 19,369$	6,74	1,80	0,13	0,89	0,80	0,47
				$E = 1,7071e^{0,0476\varphi}$	6,74	1,80	0,13	0,88	0,72	0,49
				$E = 7,9462\ln(\varphi) - 19,867$	6,74	1,80	0,13	0,88	0,79	0,49
				$E = 0,0826\varphi^{1,3115}$	6,74	1,80	0,13	0,88	0,74	0,49
				$E = 0,2899\varphi - 1,5549$	6,74	1,80	0,13	0,88	0,78	0,49
				$E = -108,034 * C + 8,716$	6,74	1,80	0,13	0,31	0,09	0,99
156				$E = 0,0074e^{3,6777p}$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,70	0,74
				$E = 37,591\ln(p) - 16,313$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,72	0,74
				$E = 0,1131p^{6,6385}$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,70	0,74
				$E = 20,845p - 31,758$	7,00	2,20	0,18	0,85	0,73	0,74
				$E = 1,2986e^{0,0585\varphi}$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,66	0,72
				$E = 9,4869\ln(\varphi) - 24,725$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,77	0,72
				$E = 0,0303\varphi^{1,6234}$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,69	0,72
				$E = 0,3435\varphi - 2,815$	7,00	2,20	0,18	0,86	0,74	0,72
				$E = -86,068 * C + 8,216$	7,00	2,20	0,18	0,23	0,05	1,38

Продолжение таблицы Д.9

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $V_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
171				$E = 0,044e^{2,6679\rho}$	6,81	1,40	0,18	0,89	0,79	0,49
				$E = 27,138\ln(\rho) - 10,46$	6,81	1,40	0,18	0,89	0,79	0,49
				$E = 0,3031\rho^{4,8892}$	6,81	1,40	0,18	0,89	0,80	0,49
				$E = 14,833\rho - 21,221$	6,81	1,40	0,18	0,89	0,79	0,49
				$E = 0,1311e^{0,1547\varphi}$	6,81	1,40	0,18	0,93	0,83	0,39
				$E = 21,78\ln(\varphi) - 63,729$	6,81	1,40	0,18	0,93	0,87	0,39
				$E = 3E-05\varphi^{3,8395}$	6,81	1,40	0,18	0,93	0,84	0,39
				$E = 0,8798\varphi - 15,636$	6,81	1,40	0,18	0,93	0,87	0,39
				$E = 2,2812e^{39,031C}$	6,81	1,40	0,18	0,75	0,52	0,71
				$E = 6,0031\ln(C) + 28,34$	6,81	1,40	0,18	0,75	0,60	0,71
180				$E = 291,08C^{1,048}$	6,81	1,40	0,18	0,75	0,57	0,71
				$E = 225,11C + 0,5254$	6,81	1,40	0,18	0,75	0,56	0,71
				$E = 12,884*\rho - 17,319$	7,00	2,20	0,22	0,65	0,42	0,91
				$E = 1,6654e^{0,0499\varphi}$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,73	0,56
				$E = 8,739\ln(\varphi) - 22,228$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,80	0,56
				$E = -0,0517\varphi^2 + 3,1657\varphi - 40,763$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,85	0,56
182				$E = 0,3157\varphi - 2,0118$	7,00	2,20	0,22	0,88	0,78	0,56
				$E = -84,135*C + 8,296$	7,00	2,20	0,22	0,24	0,06	1,16
				$E = 6,593*\rho - 6,217$	6,95	2,10	0,26	0,55	0,30	0,93
				$E = 1,3708e^{0,0593\varphi}$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,59	0,66
				$E = 10,279\ln(\varphi) - 26,945$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,70	0,66
				$E = 0,027\varphi^{1,6812}$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,63	0,66
				$E = 0,3646\varphi - 2,9791$	6,95	2,10	0,26	0,81	0,65	0,66
				$E = 78,400*C + 4,563$	6,95	2,10	0,26	0,21	0,04	1,09
201				$E = 0,0374e^{-2,6744\rho}$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,75	0,71
				$E = 26,974\ln(\rho) - 11,14$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,72	0,71
				$E = 0,246\rho^{4,9864}$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,75	0,71
				$E = 14,485\rho - 21,367$	6,84	2,20	0,18	0,85	0,71	0,71
				$E = 0,7834e^{0,0803\varphi}$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,66	0,69
				$E = 12,945\ln(\varphi) - 35,639$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,79	0,69
				$E = 0,0045\varphi^{2,2289}$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,72	0,69
				$E = 0,4698\varphi - 5,7608$	6,84	2,20	0,18	0,86	0,73	0,69
				$E = -54,989*C + 7,359$	6,84	2,20	0,18	0,11	0,01	1,32
				205				$E = 0,0239e^{2,9022\rho}$	6,94	2,30
$E = 31,51\ln(\rho) - 14,137$	6,94	2,30	0,29					0,80	0,65	0,74
$E = 0,1681\rho^{5,5554}$	6,94	2,30	0,29					0,80	0,67	0,74
$E = 16,48\rho - 25,237$	6,94	2,30	0,29					0,80	0,64	0,74
$E = 1,1829e^{0,0648\varphi}$	6,94	2,30	0,29					0,81	0,60	0,71
$E = 11,015\ln(\varphi) - 29,352$	6,94	2,30	0,29					0,81	0,71	0,71
$E = 0,0168\varphi^{1,8256}$	6,94	2,30	0,29					0,81	0,65	0,71
$E = 0,3928\varphi - 3,7284$	6,94	2,30	0,29					0,81	0,66	0,71
				$E = 121,238*C + 3,507$	6,94	2,30	0,29	0,33	0,11	1,16



Таблица Д.10 – Основные соотношения (дисперсия, вариация, уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации) ИГЭ 2р в Шурфах № 1, 2

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{V}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
44	31,73	85	14,2	$E = 0,0692e^{2,3931\rho}$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,75	0,56
				$E = 25,036\ln(\rho) - 9,4801$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,78	0,56
				$E = 0,3813\rho^{4,4286}$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,75	0,56
				$E = 13,542\rho - 19,151$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,78	0,56
				$E = 0,1605e^{0,1452\varphi}$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,83	0,42
				$E = 20,229\ln(\varphi) - 58,939$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,87	0,42
				$E = 6E-05\varphi^{3,5662}$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,83	0,42
				$E = 0,8245\varphi - 14,459$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,88	0,42
				$E = 1,0337e^{73,794C}$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,69	0,62
				$E = 9,8399\ln(C) + 42,913$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,73	0,62
				$E = 3924,3C^{1,7329}$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,70	0,62
72				$E = 419,89C - 3,9057$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,73	0,62
				$E = 0,0708e^{-2,4585\rho}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,85	0,43
				$E = 26,043\ln(\rho) - 9,2286$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,90	0,43
				$E = 0,4237\rho^{4,4915}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,43
				$E = 14,297\rho - 19,678$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,89	0,43
				$E = 1,0604e^{0,0628\varphi}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,45
				$E = 9,6747\ln(\varphi) - 25,89$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
				$E = 0,0218\varphi^{1,6964}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,87	0,45
156				$E = 0,3595\varphi - 3,7833$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
				$E = -107,895 * C + 8,387$	6,32	4,20	0,30	0,24	-0,02	1,26
				$E = 0,0021e^{4,3461\rho}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 41,857\ln(\rho) - 19,171$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 0,0525\rho^{7,8304}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 23,255\rho - 36,447$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 0,8621e^{0,0737\varphi}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,62	0,89
				$E = 11,32\ln(\varphi) - 30,729$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,72	0,89
				$E = 0,0081\varphi^{2,0255}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,65	0,89
				$E = 0,4136\varphi - 4,709$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,68	0,89
171				$E = 39,548 * C + 4,637$	5,57	4,30	0,36	0,11	-0,09	1,58
				$E = 0,0283e^{2,8921\rho}$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,92	0,32
				$E = 28,609\ln(\rho) - 11,533$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,94	0,32
				$E = 0,2308\rho^{5,2889}$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,92	0,32
				$E = 15,68\rho - 22,958$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,94	0,32
				$E = 0,0267e^{0,2216\varphi}$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,86	0,44
				$E = 28,902\ln(\varphi) - 86,27$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,88	0,44
				$E = 2E-07\varphi^{5,3465}$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,87	0,44
				$E = 1,1998\varphi - 23,231$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,88	0,44
				$E = 2,0345e^{39,93C}$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,68	0,66
				$E = 5,8404\ln(C) + 27,253$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,74	0,66
				$E = 275,61C^{1,0565}$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,70	0,66
				$E = 222,59C + 0,0712$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,73	0,66

Продолжение таблицы Д.10

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение
44	31,73	85	14,2	$E = 0,0692e^{2,3931\rho}$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,75	0,56
				$E = 25,036\ln(\rho) - 9,4801$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,78	0,56
				$E = 0,3813\rho^{4,4286}$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,75	0,56
				$E = 13,542\rho - 19,151$	5,89	3,20	0,27	0,88	0,78	0,56
				$E = 0,1605e^{0,1452\varphi}$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,83	0,42
				$E = 20,229\ln(\varphi) - 58,939$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,87	0,42
				$E = 6E-05\varphi^{3,5662}$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,83	0,42
				$E = 0,8245\varphi - 14,459$	5,89	3,20	0,27	0,94	0,88	0,42
				$E = 1,0337e^{73,794C}$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,69	0,62
				$E = 9,8399\ln(C) + 42,913$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,73	0,62
72				$E = 3924,3C^{1,7329}$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,70	0,62
				$E = 419,89C - 3,9057$	5,89	3,20	0,27	0,85	0,73	0,62
				$E = 0,0708e^{2,4585\rho}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,85	0,43
				$E = 26,043\ln(\rho) - 9,2286$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,90	0,43
				$E = 0,4237\rho^{4,4915}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,43
				$E = 14,297\rho - 19,678$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,89	0,43
				$E = 1,0604e^{0,0628\varphi}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,86	0,45
				$E = 9,6747\ln(\varphi) - 25,89$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
				$E = 0,0218\varphi^{1,6964}$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,87	0,45
				$E = 0,3595\varphi - 3,7833$	6,32	4,20	0,30	0,94	0,88	0,45
156				$E = -107,895 * C + 8,387$	6,32	4,20	0,30	0,24	-0,02	1,26
				$E = 0,0021e^{4,3461\rho}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 41,857\ln(\rho) - 19,171$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 0,0525\rho^{7,8304}$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 23,255\rho - 36,447$	5,57	4,30	0,36	0,89	0,79	0,73
				$E = 0,8621e^{0,0737\varphi}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,62	0,89
				$E = 11,32\ln(\varphi) - 30,729$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,72	0,89
				$E = 0,0081\varphi^{2,0255}$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,65	0,89
				$E = 0,4136\varphi - 4,709$	5,57	4,30	0,36	0,83	0,68	0,89
				$E = 39,548 * C + 4,637$	5,57	4,30	0,36	0,11	-0,09	1,58
171				$E = 0,0283e^{2,8921\rho}$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,92	0,32
				$E = 28,609\ln(\rho) - 11,533$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,94	0,32
				$E = 0,2308\rho^{5,2889}$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,92	0,32
				$E = 15,68\rho - 22,958$	5,78	3,50	0,44	0,97	0,94	0,32
				$E = 0,0267e^{0,2216\varphi}$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,86	0,44
				$E = 28,902\ln(\varphi) - 86,27$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,88	0,44
				$E = 2E-07\varphi^{5,3465}$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,87	0,44
				$E = 1,1998\varphi - 23,231$	5,78	3,50	0,44	0,94	0,88	0,44
				$E = 2,0345e^{39,93C}$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,68	0,66
				$E = 5,8404\ln(C) + 27,253$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,74	0,66
				$E = 275,61C^{1,0565}$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,70	0,66
				$E = 222,59C + 0,0712$	5,78	3,50	0,44	0,85	0,73	0,66

## Продолжение таблицы Д.10

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Отклонение				
180				$E=12,580 \cdot p - 17,030$	5,89	4,00	0,40	0,61	0,37	1,07				
				$E = 1,2556e^{0,0598p}$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,74	0,62				
				$E = 10,159 \ln(p) - 26,948$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,81	0,62				
				$E = 0,0282p^{1,6463}$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,76	0,62				
				$E = 0,3703p - 3,55$	5,89	4,00	0,40	0,89	0,79	0,62				
				$E = -20,732 \cdot C + 6,359$	5,89	4,00	0,40	0,05	0,00	1,35				
182				$E = 0,0467e^{2,5635p}$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88				
				$E = 26,878 \ln(p) - 11,056$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88				
				$E = 0,2777p^{4,8151}$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88				
				$E = 14,315p - 21,011$	5,90	3,10	0,39	0,72	0,52	0,88				
				$E = 0,1068e^{0,1618p}$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,96	0,19				
				$E = 22,462 \ln(p) - 66,081$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,98	0,19				
				$E = 2E - 05p^{3,9898}$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,96	0,19				
				$E = 0,9128p - 16,624$	5,90	3,10	0,39	0,99	0,98	0,19				
				$E = 1,5511e^{54,883C}$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,48	0,85				
				$E = 8,0796 \ln(C) + 36,077$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,55	0,85				
				$E = 912,19C^{1,3547}$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,48	0,85				
				$E = 328C - 1,972$	5,90	3,10	0,39	0,74	0,55	0,85				
				201				$E = 0,0205e^{2,9987p}$	5,25	4,20	0,35	0,83	0,71	0,77
								$E = 28,203 \ln(p) - 11,929$	5,25	4,20	0,35	0,83	0,68	0,77
$E = 0,1844p^{5,4521}$	5,25	4,20	0,35					0,83	0,71	0,77				
$E = 15,532p - 23,329$	5,25	4,20	0,35					0,83	0,68	0,77				
$E = 0,0814e^{0,1738p}$	5,25	4,20	0,35					0,97	0,91	0,30				
$E = 22,765 \ln(p) - 66,892$	5,25	4,20	0,35					0,97	0,95	0,30				
$E = 8E - 06p^{4,2345}$	5,25	4,20	0,35					0,97	0,92	0,30				
$E = 0,9375p - 17,077$	5,25	4,20	0,35					0,97	0,95	0,30				
$E = 47,314 \cdot C + 6,382$	5,25	4,20	0,35					0,09	0,01	1,36				
205				$E = 0,0103e^{3,3356p}$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,72	0,75				
				$E = 33,983 \ln(p) - 15,835$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,71	0,75				
				$E = 0,1033p^{6,2897}$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,72	0,75				
				$E = 18,045p - 28,322$	5,85	3,80	0,48	0,84	0,71	0,75				
				$E = 0,093e^{0,1674p}$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,93	0,23				
				$E = 22,926 \ln(p) - 67,547$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,98	0,23				
				$E = 1E - 05p^{4,1349}$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,94	0,23				
				$E = 0,9307p - 17,044$	5,85	3,80	0,48	0,99	0,97	0,23				
				$E = 1,4039e^{58,807C}$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,52	0,91				
				$E = 8,1832 \ln(C) + 36,466$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,58	0,91				
				$E = 1273,7C^{1,4451}$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,54	0,91				
				$E = 335,46C - 2,159$	5,85	3,80	0,48	0,76	0,57	0,91				

## Продолжение таблицы Д.10

Адрес участка, км	Среднее знач. по 15 трубам $\bar{U}_{ср}$	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Уравнения регрессии	Среднее знач. показателя E, МПа	Вариация Var	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Множественный коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации $R^2$	Отклонение
226				$E = 0,0836e^{2,3491\rho}$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,79	0,54
				$E = 26,208\ln(\rho) - 9,5861$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,78	0,54
				$E = 0,4615\rho^{4,2907}$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,79	0,54
				$E = 14,362\rho - 20,045$	6,36	3,00	0,38	0,88	0,78	0,54
				$E = 1,5271e^{0,0548\varphi}$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,64	0,62
				$E = 9,9753\ln(\varphi) - 26,023$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,74	0,62
				$E = 0,0397\varphi^{1,5602}$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,68	0,62
				$E = 0,352\varphi - 2,7179$	6,36	3,00	0,38	0,84	0,70	0,62
228				$E = 51,042 * C + 5,163$	6,36	3,00	0,38	0,13	0,02	1,13
				$E = 0,0353e^{2,8546\rho}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,58	1,00
				$E = 28,516\ln(\rho) - 10,572$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00
				$E = 0,3006\rho^{5,1024}$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,59	1,00
				$E = 15,978\rho - 22,59$	5,85	4,10	0,51	0,78	0,60	1,00
				$E = 0,9147e^{0,0709\varphi}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,67	0,84
				$E = 11,023\ln(\varphi) - 29,891$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,74	0,84
				$E = 0,0103\varphi^{1,9456}$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,70	0,84
289				$E = 0,4033\varphi - 4,5337$	5,85	4,10	0,51	0,84	0,71	0,84
				$E = 62,791 * C + 4,500$	5,85	4,10	0,51	0,15	0,02	1,57
				$E = 16,361 * \rho - 23,494$	6,04	3,10	0,39	0,68	0,47	0,90
				$E = 1,3986e^{0,0559\rho}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,70	0,64
				$E = 9,4282\ln(\varphi) - 24,588$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,75	0,64
				$E = 0,04\varphi^{1,5398}$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
				$E = 0,3434\varphi - 2,8469$	6,04	3,10	0,39	0,86	0,73	0,64
				$E = -9,565 * C + 6,244$	6,04	3,10	0,39	0,03	0,00	1,23

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

**РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА  
А/Д «К-17Р» В ЗОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ**

Таблица Е.1 – Расчет несущей способности  $R_{кр}$  земляного полотна а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб для слоя ИГЭ 1п

км	№ Шурфа	Н, м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ctg $\phi$	$\phi$ , град	С, кПа	$R_{кр}$ , кПа
20	Ш-1	0,2	3,14	1,57	1,86	1,664	30,8	19	325
20	Ш-2	0,2	3,14	1,57	1,89	1,664	31,0	19	323
20	Ш-2	1,9	3,14	1,57	1,76	1,804	29,2	16	345
20	Ш-3	0,2	3,14	1,57	1,86	1,664	30,6	18	311
20	Ш-3	0,7	3,14	1,57	1,77	1,732	30,3	17	317
20	Ш-3	1,9	3,14	1,57	1,75	1,732	30,1	17	342
20	Ш-4	0,2	3,14	1,57	1,89	1,732	29,9	15	276
20	Ш-4	0,7	3,14	1,57	1,80	1,664	30,5	18	321
44	Ш-3	0,5	3,14	1,57	1,90	2,050	26,4	28	680
44	Ш-4	0,2	3,14	1,57	1,90	2,050	26,4	28	675
44	Ш-4	0,46	3,14	1,57	1,86	2,050	26,1	27	664
72	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,94	1,732	29,5	20	369
72	Ш-1	0,7	3,14	1,57	1,94	1,804	29,3	19	379
72	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,92	1,881	28,4	18	372
72	Ш-2	0,7	3,14	1,57	1,89	1,881	28,0	18	390
72	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,90	1,804	29,4	19	365
72	Ш-3	0,7	3,14	1,57	1,89	1,804	29,1	19	382
72	Ш-3	1,2	3,14	1,57	1,85	1,804	29,0	18	373
72	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,90	1,732	30,5	19	339
72	Ш-4	0,7	3,14	1,57	1,86	1,732	30,1	18	338
72	Ш-4	1,2	3,14	1,57	1,85	1,732	29,9	17	332
72	Ш-4	1,7	3,14	1,57	1,84	1,804	28,8	24	503
156	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,87	1,664	31,2	19	319
156	Ш-2	0,7	3,14	1,57	1,88	1,664	30,8	18	319
156	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,88	1,804	29,4	19	365
156	Ш-3	0,7	3,14	1,57	1,88	1,881	28,4	19	405
156	Ш-3	1,2	3,14	1,57	1,89	1,881	28,0	19	422
156	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,88	2,145	25,4	19	495
156	Ш-4	0,7	3,14	1,57	1,87	2,145	25,2	19	511
156	Ш-4	1,2	3,14	1,57	1,85	2,145	24,8	18	503
180	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,92	1,881	28,3	18	374
180	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,90	1,664	30,9	20	339
180	Ш-2	0,4	3,14	1,57	1,81	1,732	30,0	17	315
180	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,92	1,732	29,8	20	365
180	Ш-3	0,4	3,14	1,57	1,92	1,804	29,4	19	372

## Продолжение таблицы Е.1

км	№ Шурфа	Н, м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ctg $\phi$	$\phi$ , град	С, кПа	$P_{кр}$ , кПа
180	Ш-3	0,9	3,14	1,57	1,89	2,050	25,9	23	580
180	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,87	1,804	29,2	19	368
180	Ш-4	0,4	3,14	1,57	1,80	1,804	29,3	18	353
180	Ш-4	0,9	3,14	1,57	1,81	1,881	27,8	17	375
182	Ш-3	0,5	3,14	1,57	1,98	2,050	25,9	26	646
182	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,89	1,804	29,6	19	363
182	Ш-4	0,5	3,14	1,57	1,91	1,881	28,0	19	407
182	Ш-4	1,0	3,14	1,57	1,81	2,145	25,3	25	671
201	Ш-3	0,2	3,14	1,57	1,93	1,732	29,9	19	348
201	Ш-3	0,5	3,14	1,57	1,97	1,804	29,4	19	374
201	Ш-4	0,2	3,14	1,57	1,93	2,050	26,4	28	675
205	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,93	2,050	26,3	28	675
205	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,97	1,963	26,8	29	659
205	Ш-3	0,5	3,14	1,57	1,98	2,050	26,4	28	682
205	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,94	1,664	30,6	19	326
205	Ш-4	0,5	3,14	1,57	1,94	1,732	30,0	19	353
205	Ш-4	1,0	3,14	1,57	1,94	2,145	25,4	25	670
226	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,92	1,664	30,6	19	326
226	Ш-1	0,5	3,14	1,57	1,84	2,145	25,3	25	661
226	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,88	2,050	26,4	28	673
226	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,90	1,804	28,6	22	434
226	Ш-3	0,5	3,14	1,57	1,85	1,881	27,9	19	408
226	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,88	1,804	29,6	19	363
226	Ш-4	0,5	3,14	1,57	1,89	1,804	29,0	19	379
228	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,86	1,804	29,4	19	365
228	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,90	2,050	26,2	20	485
228	Ш-3	0,5	3,14	1,57	1,85	2,050	25,8	20	500
228	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,89	1,804	29,4	19	365
228	Ш-4	0,5	3,14	1,57	1,84	1,804	28,5	18	365
289	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,86	1,804	29,4	19	365
289	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,89	1,732	29,6	19	349
289	Ш-3	0,5	3,14	1,57	1,87	1,804	28,7	18	363
289	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,90	1,804	29,4	19	365
289	Ш-4	0,5	3,14	1,57	1,87	1,881	28,5	18	379
289	Ш-4	1,0	3,14	1,57	1,87	2,145	25,4	25	669
303	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,89	1,600	31,6	19	304
303	Ш-1	0,5	3,14	1,57	1,81	2,145	25,3	24	635
303	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,88	1,664	31,4	19	317
303	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,85	1,664	31,2	19	319
303	Ш-3	0,5	3,14	1,57	1,83	1,732	30,3	18	331
303	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,90	1,664	31,4	19	317

## Продолжение таблицы Е.1

км	№ Шурфа	Н, м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ctg $\phi$	$\phi$ , град	С, кПа	$P_{кр}$ , кПа
303	Ш-4	0,5	3,14	1,57	1,87	1,732	30,5	18	330
327	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,88	1,963	27,4	22	490
327	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,89	1,664	30,8	19	323
327	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,89	1,732	29,5	25	460
327	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,86	1,804	29,4	19	365
327	Ш-4	0,5	3,14	1,57	1,85	1,804	28,7	18	363
334	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,88	1,664	30,6	20	343
334	Ш-1	0,5	3,14	1,57	1,81	1,732	29,8	17	319
334	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,85	1,732	30,2	19	342
334	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,85	1,732	30,2	19	342
334	Ш-3	0,5	3,14	1,57	1,84	1,732	29,7	18	338
334	Ш-3	1,0	3,14	1,57	1,82	1,804	29,0	17	350
334	Ш-4	0,1	3,14	1,57	1,88	1,804	29,4	19	365
334	Ш-4	0,5	3,14	1,57	1,86	1,881	28,5	18	379
334	Ш-4	1,0	3,14	1,57	1,84	1,881	28,0	17	375

Таблица Е.2 – Расчет несущей способности  $R_{кр}$  земляного полотна а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб для слоя ИГЭ 1с

км	№ Шурфа	Н, м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ctg $\phi$	$\phi$ , град	С, кПа	$R_{кр}$ , кПа
20	Ш-1	0,7	3,14	1,57	1,71	1,804	28,8	16	325
20	Ш-1	1,9	3,14	1,57	1,70	1,8807	28,2	15	347
20	Ш-2	0,7	3,14	1,57	1,74	1,804	28,9	16	325
20	Ш-3	1,2	3,14	1,57	1,72	1,804	29,0	16	333
72	Ш-1	1,2	3,14	1,57	1,81	1,8807	27,6	21	469
72	Ш-1	2,7	3,14	1,57	1,80	2,1445	24,7	16	481
72	Ш-1	3,2	3,14	1,57	1,83	2,1445	25,2	18	536
72	Ш-2	1,2	3,14	1,57	1,77	1,9626	26,6	15	366
156	Ш-2	1,2	3,14	1,57	1,77	2,1445	24,6	22	612
180	Ш-1	0,4	3,14	1,57	1,75	1,8807	27,7	13	282
182	Ш-1	0,5	3,14	1,57	1,82	2,1445	24,6	22	599
205	Ш-1	0,5	3,14	1,57	1,84	2,1445	24,7	22	597
228	Ш-1	0,5	3,14	1,57	1,75	1,8807	28,2	16	341
228	Ш-2	0,5	3,14	1,57	1,72	2,1445	24,7	23	622
289	Ш-1	0,5	3,14	1,57	1,77	2,1445	25,0	23	616
289	Ш-2	0,5	3,14	1,57	1,78	1,804	28,8	16	322
303	Ш-2	0,5	3,14	1,57	1,78	1,804	29,2	16	318
327	Ш-1	0,5	3,14	1,57	1,79	1,9626	27,4	17	387
327	Ш-2	0,5	3,14	1,57	1,75	1,9626	27,2	16	367
334	Ш-1	1,0	3,14	1,57	1,73	1,8807	27,6	13	294
334	Ш-1	1,5	3,14	1,57	1,80	2,1445	25,1	23	634
334	Ш-2	0,5	3,14	1,57	1,71	1,804	28,6	15	304

Таблица Е.3 – Расчет несущей способности  $R_{кр}$  земляного полотна а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб для слоя ИГЭ 1р

км	№ Шурфа	Н, м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ctg $\phi$	$\phi$ , град	С, кПа	$R_{кр}$ , кПа
20	Ш-1	1,2	3,14	1,57	1,58	1,9626	26,6	12	295
20	Ш-2	1,2	3,14	1,57	1,64	1,9626	27,2	13	312
303	Ш-2	1,0	3,14	1,57	1,70	2,3559	22,5	19	623
327	Ш-1	1,0	3,14	1,57	1,71	1,9626	26,6	19	453
327	Ш-2	1,0	3,14	1,57	1,75	1,9626	27,0	12	289
334	Ш-2	1,0	3,14	1,57	1,62	2,246	24,2	11	330

Таблица Е.4 – Расчет несущей способности  $R_{кр}$  земляного полотна а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб для слоя ИГЭ 2п

км	№ Шурфа	Н, м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ctg $\phi$	$\phi$ , град	C, кПа	$R_{кр}$ , кПа
20	Ш-4	1,2	3,14	1,57	1,78	2,246	24,2	27	789
44	Ш-1	0,2	3,14	1,57	1,96	2,0503	26,2	24	583
44	Ш-1	0,5	3,14	1,57	1,95	2,0503	26,0	24	594
44	Ш-2	0,2	3,14	1,57	1,93	2,0503	26,3	27	653
44	Ш-2	0,5	3,14	1,57	1,89	2,0503	26,1	27	664
44	Ш-3	0,2	3,14	1,57	1,90	2,0503	26,5	28	672
44	Ш-3	1,0	3,14	1,57	1,81	2,0503	25,6	25	637
44	Ш-3	1,5	3,14	1,57	1,84	2,1445	25,3	25	682
44	Ш-3	2,0	3,14	1,57	1,89	2,1445	25,1	24	672
44	Ш-4	1,0	3,14	1,57	1,87	2,0503	25,8	26	658
44	Ш-4	1,5	3,14	1,57	1,87	2,1445	25,3	25	682
44	Ш-4	2,0	3,14	1,57	1,86	2,1445	25,2	24	669
156	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,86	2,1445	25,0	31	818
156	Ш-1	0,7	3,14	1,57	1,86	2,1445	24,8	30	811
156	Ш-3	1,7	3,14	1,57	1,87	2,1445	24,8	26	726
156	Ш-3	2,2	3,14	1,57	1,87	2,1445	24,7	26	739
156	Ш-4	1,7	3,14	1,57	1,81	2,1445	25,2	24	662
156	Ш-4	2,2	3,14	1,57	1,81	2,1445	25,3	24	669
171	Ш-1	0,2	3,14	1,57	1,94	2,1445	25,2	32	840
171	Ш-2	0,2	3,14	1,57	1,90	2,1445	25,1	32	844
171	Ш-3	0,2	3,14	1,57	1,89	2,0503	26,5	28	672
171	Ш-3	0,8	3,14	1,57	1,91	2,0503	25,7	26	656
171	Ш-3	1,2	3,14	1,57	1,90	2,1445	25,2	24	653
171	Ш-3	1,7	3,14	1,57	1,88	2,1445	25,1	24	665
171	Ш-4	0,2	3,14	1,57	1,88	2,0503	26,4	28	675
171	Ш-4	0,8	3,14	1,57	1,89	2,0503	26,0	27	673
171	Ш-4	1,2	3,14	1,57	1,89	2,0503	25,8	26	662
180	Ш-3	1,4	3,14	1,57	1,92	2,1445	24,8	26	720
182	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,93	2,0503	26,3	28	675
182	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,93	2,0503	26,3	28	675
182	Ш-3	0,1	3,14	1,57	1,99	2,0503	26,3	28	675
182	Ш-3	1,0	3,14	1,57	1,99	2,0503	25,6	25	639
182	Ш-3	1,5	3,14	1,57	1,98	2,1445	25,2	24	660
201	Ш-1	0,2	3,14	1,57	1,92	2,0503	26,2	19	463
201	Ш-2	0,2	3,14	1,57	1,92	2,0503	26,3	28	677
201	Ш-3	1,0	3,14	1,57	1,98	2,0503	26,0	27	679
201	Ш-3	1,5	3,14	1,57	1,98	2,0503	25,8	26	670
201	Ш-3	2,0	3,14	1,57	1,91	2,1445	24,8	24	680
201	Ш-4	0,5	3,14	1,57	1,99	2,0503	25,8	26	649

## Продолжение таблицы Е.4

км	№ Шурфа	Н, м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ctg $\phi$	$\phi$ , град	С, кПа	$P_{кр}$ , кПа
201	Ш-4	1,0	3,14	1,57	1,98	2,1445	25,4	25	670
201	Ш-4	1,5	3,14	1,57	1,96	2,0503	25,5	25	653
205	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,97	2,0503	26,5	28	670
226	Ш-1	1,5	3,14	1,57	1,90	2,1445	25,3	24	657
226	Ш-2	0,5	3,14	1,57	1,80	2,1445	25,2	24	637
226	Ш-2	1,5	3,14	1,57	1,86	2,1445	25,2	24	658
226	Ш-3	1,0	3,14	1,57	1,85	2,1445	25,4	25	669
226	Ш-3	1,5	3,14	1,57	1,87	2,1445	25,3	24	656
226	Ш-4	1,0	3,14	1,57	1,92	2,0503	25,8	26	658
226	Ш-4	1,5	3,14	1,57	1,92	2,1445	25,3	25	683
228	Ш-2	0,1	3,14	1,57	1,88	2,0503	26,4	28	673
228	Ш-3	1,0	3,14	1,57	1,89	2,1445	25,3	24	646
228	Ш-4	1,0	3,14	1,57	1,81	2,0503	25,6	25	637
289	Ш-1	0,1	3,14	1,57	1,85	2,0503	26,2	27	654
289	Ш-3	1,0	3,14	1,57	1,89	2,1445	25,3	25	672
303	Ш-3	1,0	3,14	1,57	1,89	2,1445	25,3	25	672
303	Ш-4	1,0	3,14	1,57	1,88	2,1445	25,4	25	669
327	Ш-3	0,5	3,14	1,57	1,86	2,0503	25,9	27	669
327	Ш-3	1,0	3,14	1,57	1,92	2,1445	25,4	25	670
334	Ш-4	1,5	3,14	1,57	1,86	2,1445	25,2	24	658

Таблица Е.5 – Расчет несущей способности  $R_{кр}$  земляного полотна а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб для слоя ИГЭ 2с

км	№ Шурфа	Н, м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ctg $\phi$	$\phi$ , град	C, кПа	$R_{кр}$ , кПа
20	Ш-4	1,9	3,14	1,57	1,74	2,246	23,5	26	796
44	Ш-1	1,0	3,14	1,57	1,86	2,1445	24,9	25	682
44	Ш-1	2,0	3,14	1,57	1,81	2,246	23,7	22	677
44	Ш-1	2,5	3,14	1,57	1,86	2,1445	24,9	23	660
44	Ш-2	1,0	3,14	1,57	1,83	2,1445	24,8	24	657
44	Ш-2	2,5	3,14	1,57	1,82	2,246	24,1	22	678
44	Ш-3	2,5	3,14	1,57	1,76	2,1445	24,6	23	665
44	Ш-4	2,5	3,14	1,57	1,80	2,1445	24,7	25	717
72	Ш-2	2,7	3,14	1,57	1,81	2,1445	24,7	23	668
72	Ш-2	3,2	3,14	1,57	1,83	2,1445	24,6	24	708
72	Ш-3	1,7	3,14	1,57	1,86	2,1445	25,1	24	665
72	Ш-3	2,2	3,14	1,57	1,85	2,1445	25,2	23	647
72	Ш-3	2,7	3,14	1,57	1,86	2,1445	24,6	23	672
72	Ш-3	3,2	3,14	1,57	1,87	2,1445	24,7	24	707
72	Ш-4	2,2	3,14	1,57	1,80	2,1445	24,8	23	655
72	Ш-4	2,7	3,14	1,57	1,80	2,1445	24,7	23	667
72	Ш-4	3,2	3,14	1,57	1,79	2,1445	24,6	24	706
156	Ш-1	1,2	3,14	1,57	1,86	2,3559	22,6	26	848
156	Ш-1	2,7	3,14	1,57	1,81	2,3559	23,3	25	823
156	Ш-2	2,7	3,14	1,57	1,79	2,246	24,0	22	683
156	Ш-3	2,7	3,14	1,57	1,79	2,246	24,2	22	678
156	Ш-4	2,7	3,14	1,57	1,74	2,1445	24,6	22	641
171	Ш-1	0,8	3,14	1,57	1,83	2,246	23,8	27	795
171	Ш-1	1,7	3,14	1,57	1,85	2,246	24,4	22	654
171	Ш-2	0,8	3,14	1,57	1,77	2,3559	23,4	26	811
171	Ш-2	1,2	3,14	1,57	1,80	2,246	23,7	22	661
171	Ш-2	1,7	3,14	1,57	1,86	2,1445	25,1	24	665
171	Ш-4	1,7	3,14	1,57	1,78	2,1445	24,7	22	620
180	Ш-1	1,9	3,14	1,57	1,88	2,3559	23,2	25	811
180	Ш-2	0,9	3,14	1,57	1,79	2,246	24,1	22	644
180	Ш-2	1,4	3,14	1,57	1,80	2,1445	24,5	22	619
180	Ш-2	1,9	3,14	1,57	1,84	2,246	23,7	27	821
180	Ш-3	1,9	3,14	1,57	1,88	2,1445	25,0	23	646
180	Ш-4	1,4	3,14	1,57	1,81	2,1445	25,0	23	634
180	Ш-4	1,9	3,14	1,57	1,85	2,1445	24,6	22	628
182	Ш-1	1,5	3,14	1,57	1,90	2,246	24,2	22	656
182	Ш-2	0,5	3,14	1,57	1,86	2,1445	25,0	23	616
182	Ш-2	1,5	3,14	1,57	1,96	2,1445	25,0	24	665
182	Ш-4	1,5	3,14	1,57	1,85	2,246	24,4	22	650

## Продолжение таблицы Е.5

км	№ Шурфа	Н, м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ctg $\phi$	$\phi$ , град	С, кПа	$P_{кр}$ , кПа
201	Ш-1	0,5	3,14	1,57	1,89	2,1445	24,7	23	624
201	Ш-1	2,0	3,14	1,57	1,85	2,246	23,9	22	673
201	Ш-1	2,5	3,14	1,57	1,89	2,246	24,2	22	677
201	Ш-2	0,5	3,14	1,57	1,81	2,246	23,5	26	769
201	Ш-2	2,0	3,14	1,57	1,90	2,3559	23,2	26	845
201	Ш-2	2,5	3,14	1,57	1,86	2,246	23,5	26	811
201	Ш-3	2,5	3,14	1,57	1,88	2,246	23,7	23	718
201	Ш-4	2,0	3,14	1,57	1,91	2,1445	24,7	22	629
201	Ш-4	2,5	3,14	1,57	1,92	2,1445	24,6	22	643
205	Ш-1	1,5	3,14	1,57	1,90	2,246	24,1	22	658
205	Ш-2	0,5	3,14	1,57	1,93	2,1445	24,8	23	621
205	Ш-2	1,0	3,14	1,57	1,84	2,3559	23,0	25	798
205	Ш-2	1,5	3,14	1,57	1,94	2,1445	24,7	23	645
205	Ш-3	1,0	3,14	1,57	1,96	2,1445	25,3	24	647
205	Ш-3	1,5	3,14	1,57	1,89	2,1445	24,8	23	642
205	Ш-4	1,5	3,14	1,57	1,88	2,246	24,2	23	684
226	Ш-1	1,0	3,14	1,57	1,78	2,246	23,7	22	657
228	Ш-1	1,5	3,14	1,57	1,84	2,1445	24,7	23	644
228	Ш-3	1,5	3,14	1,57	1,80	2,0503	25,9	22	567
228	Ш-4	1,5	3,14	1,57	1,79	2,1445	24,8	23	641
289	Ш-1	1,5	3,14	1,57	1,86	2,1445	24,7	23	644
289	Ш-3	1,5	3,14	1,57	1,80	2,246	23,9	22	662
289	Ш-4	1,5	3,14	1,57	1,86	2,1445	24,7	23	644
303	Ш-1	1,0	3,14	1,57	1,77	2,246	23,9	22	651
303	Ш-1	1,5	3,14	1,57	1,91	2,1445	25,1	24	662
303	Ш-2	1,5	3,14	1,57	1,84	2,1445	24,7	23	644
303	Ш-3	1,5	3,14	1,57	1,86	2,1445	24,7	23	644
303	Ш-4	1,5	3,14	1,57	1,90	2,1445	25,1	23	635
327	Ш-1	1,5	3,14	1,57	1,76	2,246	24,2	22	653
327	Ш-2	1,5	3,14	1,57	1,80	2,1445	24,7	23	643
327	Ш-3	1,5	3,14	1,57	1,83	2,1445	24,7	23	644
327	Ш-4	1,0	3,14	1,57	1,85	2,1445	25,1	24	650
327	Ш-4	1,5	3,14	1,57	1,82	2,1445	24,6	22	619
334	Ш-2	1,5	3,14	1,57	1,77	2,0503	26,2	22	561
334	Ш-3	1,5	3,14	1,57	1,77	2,1445	24,6	22	618

Таблица Е.6 – Расчет несущей способности  $R_{кр}$  земляного полотна а/д «К-17р» в зонах расположения водопропускных труб для слоя ИГЭ 2р

км	№ Шурфа	Н, м	$\pi$	$\pi/2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ctg $\phi$	$\phi$ , град	C, кПа	$R_{кр}$ , кПа
44	Ш-1	1,5	3,14	1,57	1,76	2,3559	22,8	20	657
44	Ш-2	1,5	3,14	1,57	1,72	2,3559	22,8	20	657
44	Ш-2	2,0	3,14	1,57	1,80	2,246	23,6	22	680
72	Ш-1	1,7	3,14	1,57	1,76	2,246	23,5	21	646
72	Ш-1	2,2	3,14	1,57	1,79	2,246	23,6	25	771
72	Ш-2	1,7	3,14	1,57	1,67	2,3559	22,6	19	633
72	Ш-2	2,2	3,14	1,57	1,70	2,3559	23,2	21	690
156	Ш-1	1,7	3,14	1,57	1,75	2,4751	22,1	24	845
156	Ш-1	2,2	3,14	1,57	1,75	2,3559	22,5	23	774
156	Ш-2	1,7	3,14	1,57	1,71	2,3559	22,7	20	663
156	Ш-2	2,2	3,14	1,57	1,77	2,246	23,5	22	686
171	Ш-1	1,2	3,14	1,57	1,71	2,3559	22,7	20	653
180	Ш-1	0,9	3,14	1,57	1,74	2,3559	23,3	21	663
180	Ш-1	1,4	3,14	1,57	1,79	2,3559	23,2	21	676
182	Ш-1	1,0	3,14	1,57	1,79	2,3559	23,2	21	668
182	Ш-2	1,0	3,14	1,57	1,85	2,3559	22,8	28	899
201	Ш-1	1,0	3,14	1,57	1,72	2,3559	23,0	21	673
201	Ш-1	1,5	3,14	1,57	1,76	2,3559	22,8	25	814
201	Ш-2	1,0	3,14	1,57	1,75	2,4751	22,0	24	834
201	Ш-2	1,5	3,14	1,57	1,81	2,3559	22,5	25	825
205	Ш-1	1,0	3,14	1,57	1,80	2,3559	22,7	20	650
226	Ш-2	1,0	3,14	1,57	1,73	2,246	23,7	22	656
228	Ш-1	1,0	3,14	1,57	1,75	2,3559	23,2	21	667
228	Ш-2	1,0	3,14	1,57	1,68	2,3559	22,7	20	649
228	Ш-2	1,5	3,14	1,57	1,76	2,246	23,7	22	666
289	Ш-1	1,0	3,14	1,57	1,73	2,246	23,5	21	632
289	Ш-2	1,0	3,14	1,57	1,79	2,246	23,7	22	657
289	Ш-2	1,5	3,14	1,57	1,80	2,246	23,9	20	604

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОВ:  
ПЛОТНОСТИ, УГЛА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ, УДЕЛЬНОГО  
СЦЕПЛЕНИЯ**

Таблица Ж.1 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 20 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \rho}$ $E = c \cdot \ln(\rho) - d$ $E = f \cdot \rho^g$ $E = k \cdot \rho - h$	a c f k	b d g h	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s - \rho_p$	$\gamma = \Delta\rho / \rho_s$ , %
Ш-1	8,4	$E = 0,208e^{1,9819\rho}$	0,208	1,982	0,68	1,86	2,544	137
Ш-1	6,1	$E = 22,655\ln(\rho) - 5,8373$	22,655	5,837	1,69	1,71	0,016	1
Ш-1	4,8	$E = 0,9697\rho^{3,4566}$	0,970	3,457	7,69	1,58	6,110	387
Ш-1	5,9	$E = 13,023\rho - 15,984$	13,023	15,984	1,68	1,70	0,020	1
Ш-2	8,5	$E = 0,208e^{1,9819\rho}$	0,208	1,982	0,69	1,89	2,578	136
Ш-2	6,6	$E = 22,655\ln(\rho) - 5,8373$	22,655	5,837	1,73	1,74	0,009	1
Ш-2	4,9	$E = 0,9697\rho^{3,4566}$	0,970	3,457	7,77	1,64	6,130	374
Ш-2	6,9	$E = 13,023\rho - 15,984$	13,023	15,984	1,76	1,70	0,057	3
Ш-3	8,5	$E = 0,9074e^{1,1315\rho}$	0,907	1,132	19,46	1,86	21,324	1147
Ш-3	7,1	$E = 13,964\ln(\rho) - 1,2006$	13,964	1,201	1,81	1,77	0,042	2
Ш-3	6,7	$E = 2,0907\rho^{2,0475}$	2,091	2,048	3,67	1,72	1,945	113
Ш-3	6,9	$E = 7,7258\rho - 6,9088$	7,726	6,909	1,79	1,75	0,037	2
Ш-4	6,8	$E = 0,9074e^{1,1315\rho}$	0,907	1,132	17,43	1,89	19,324	1023
Ш-4	6,4	$E = 13,964\ln(\rho) - 1,2006$	13,964	1,201	1,72	1,80	0,077	4
Ш-4	7,0	$E = 2,0907\rho^{2,0475}$	2,091	2,048	3,75	1,78	1,967	111
Ш-4	5,5	$E = 7,7258\rho - 6,9088$	7,726	6,909	1,61	1,69	0,084	5

Таблица Ж.2 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 44 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \rho}$ $E = c \cdot \ln(\rho) - d$ $E = f \cdot \rho^g$ $E = k \cdot \rho - h$	a c f k	b d g h	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s$ - $\rho_p$	$\gamma = \Delta\rho /$ $\rho_s$ , %
Ш-1	7,0	$E = 0,0692e^{2,3931\rho}$	0,069	2,393	0,30	1,96	2,264	116
Ш-1	6,9	$E = 25,036\ln(\rho) - 9,4801$	25,036	9,480	1,92	1,95	0,026	1
Ш-1	6,3	$E = 0,3813\rho^{4,4286}$	0,381	4,429	18,00	1,86	16,141	868
Ш-1	5,1	$E = 13,542\rho - 19,151$	13,542	19,151	1,79	1,76	0,031	2
Ш-2	7,3	$E = 0,0692e^{2,3931\rho}$	0,069	2,393	0,31	1,93	2,241	116
Ш-2	7,1	$E = 25,036\ln(\rho) - 9,4801$	25,036	9,480	1,94	1,89	0,049	3
Ш-2	6,2	$E = 0,3813\rho^{4,4286}$	0,381	4,429	17,86	1,83	16,028	876
Ш-2	4,1	$E = 13,542\rho - 19,151$	13,542	19,151	1,72	1,72	0,003	0
Ш-3	7,5	$E = 0,1248e^{2,1134\rho}$	0,125	2,113	0,46	1,90	2,358	124
Ш-3	7,4	$E = 22,747\ln(\rho) - 7,6704$	22,747	7,670	1,94	1,90	0,040	2
Ш-3	6,7	$E = 0,5614\rho^{3,915}$	0,561	3,915	13,52	1,81	11,715	647
Ш-3	6,5	$E = 12,291\rho - 16,427$	12,291	16,427	1,87	1,84	0,025	1
Ш-4	7,4	$E = 0,1248e^{2,1134\rho}$	0,125	2,113	0,46	1,90	2,355	124
Ш-4	7,2	$E = 22,747\ln(\rho) - 7,6704$	22,747	7,670	1,92	1,86	0,063	3
Ш-4	6,9	$E = 0,5614\rho^{3,915}$	0,561	3,915	13,73	1,87	11,855	634
Ш-4	6,5	$E = 12,291\rho - 16,427$	12,291	16,427	1,87	1,87	0,005	0

Таблица Ж.3 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 72 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a * e^{b * \rho}$ $E = c * \ln(\rho) - d$ $E = f * \rho^g$ $E = k * \rho - h$	a c f k	b d g h	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s$ - $\rho_p$	$\gamma = \Delta\rho /$ $\rho_s$ , %
Ш-1	7,9	$E = 0,0708e^{2,4585\rho}$	0,071	2,459	0,32	1,94	2,257	116
Ш-1	7,7	$E = 26,043\ln(\rho) - 9,2286$	26,043	9,229	1,92	1,94	0,024	1
Ш-1	6,4	$E = 0,4237\rho^{4,4915}$	0,424	4,492	17,46	1,81	15,646	864
Ш-1	4,8	$E = 14,297\rho - 19,678$	14,297	19,678	1,71	1,76	0,048	3
Ш-2	7,6	$E = 0,0708e^{2,4585\rho}$	0,071	2,459	0,31	1,92	2,232	116
Ш-2	7,5	$E = 26,043\ln(\rho) - 9,2286$	26,043	9,229	1,90	1,89	0,011	1
Ш-2	6,4	$E = 0,4237\rho^{4,4915}$	0,424	4,492	17,46	1,77	15,686	886
Ш-2	3,7	$E = 14,297\rho - 19,678$	14,297	19,678	1,64	1,67	0,035	2
Ш-3	7,8	$E = 0,0802e^{2,3906\rho}$	0,080	2,391	0,34	1,90	2,241	118
Ш-3	7,3	$E = 25,676\ln(\rho) - 9,0389$	25,676	9,039	1,89	1,89	0,000	0
Ш-3	7,0	$E = 0,4574\rho^{4,3622}$	0,457	4,362	17,07	1,85	15,215	822
Ш-3	6,3	$E = 14,115\rho - 19,369$	14,115	19,369	1,82	1,86	0,041	2
Ш-4	7,9	$E = 0,0802e^{2,3906\rho}$	0,080	2,391	0,34	1,90	2,243	118
Ш-4	7,7	$E = 25,676\ln(\rho) - 9,0389$	25,676	9,039	1,92	1,86	0,059	3
Ш-4	7,0	$E = 0,4574\rho^{4,3622}$	0,457	4,362	17,07	1,85	15,215	822
Ш-4	6,8	$E = 14,115\rho - 19,369$	14,115	19,369	1,85	1,84	0,014	1

Таблица Ж.4 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 156 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	E = a*e^b* $\rho$ E = c*ln( $\rho$ )-d E = f* $\rho^g$ E = k* $\rho$ -h		a	b	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s$ - $\rho_p$	$\gamma = \Delta\rho /$ $\rho_s$ , %
		c	d	f	g				
Ш-1	7,1	E = 0,0021e <sup>4,3461<math>\rho</math></sup>		0,002	4,346	0,07	1,86	1,933	104
Ш-1	7,0	E = 41,857ln( $\rho$ ) - 19,171		41,857	19,171	1,87	1,86	0,009	0
Ш-1	5,6	E = 0,0525 $\rho^{7,8304}$		0,053	7,830	80,87	1,86	79,012	4248
Ш-1	3,4	E = 23,255 $\rho$ - 36,447		23,255	36,447	1,71	1,75	0,037	2
Ш-2	7,7	E = 0,0021e <sup>4,3461<math>\rho</math></sup>		0,002	4,346	0,08	1,87	1,946	104
Ш-2	7,5	E = 41,857ln( $\rho$ ) - 19,171		41,857	19,171	1,89	1,88	0,011	1
Ш-2	6,0	E = 0,0525 $\rho^{7,8304}$		0,053	7,830	83,71	1,77	81,940	4629
Ш-2	3,7	E = 23,255 $\rho$ - 36,447		23,255	36,447	1,73	1,71	0,016	1
Ш-3	7,8	E = 0,0074e <sup>3,6777<math>\rho</math></sup>		0,007	3,678	0,11	1,88	1,994	106
Ш-3	7,8	E = 37,591ln( $\rho$ ) - 16,313		37,591	16,313	1,90	1,88	0,019	1
Ш-3	7,6	E = 0,1131 $\rho^{6,6385}$		0,113	6,639	54,42	1,89	52,528	2779
Ш-3	6,9	E = 20,845 $\rho$ - 31,758		20,845	31,758	1,85	1,87	0,015	1
Ш-4	7,8	E = 0,0074e <sup>3,6777<math>\rho</math></sup>		0,007	3,678	0,11	1,88	1,994	106
Ш-4	7,7	E = 37,591ln( $\rho$ ) - 16,313		37,591	16,313	1,89	1,87	0,024	1
Ш-4	7,1	E = 0,1131 $\rho^{6,6385}$		0,113	6,639	52,60	1,85	50,748	2743
Ш-4	6,4	E = 20,845 $\rho$ - 31,758		20,845	31,758	1,83	1,81	0,021	1

Таблица Ж.5 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 171 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^b \cdot \rho$ $E = c \cdot \ln(\rho) - d$ $E = f \cdot \rho^g$ $E = k \cdot \rho - h$	a c f k	b d g h	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s$ - $\rho_p$	$\gamma = \Delta\rho /$ $\rho_s$ , %
Ш-1	7,2	$E = 0,0283e^{2,8921\rho}$	0,028	2,892	0,19	1,94	2,131	110
Ш-1	5,9	$E = 28,609\ln(\rho) - 11,533$	28,609	11,533	1,84	1,83	0,009	1
Ш-1	3,7	$E = 0,2308\rho^{5,2889}$	0,231	5,289	21,18	1,71	19,466	1138
Ш-1	5,8	$E = 15,68\rho - 22,958$	15,680	22,958	1,83	1,85	0,016	1
Ш-2	7,2	$E = 0,0283e^{2,8921\rho}$	0,028	2,892	0,19	1,90	2,091	110
Ш-2	5,2	$E = 28,609\ln(\rho) - 11,533$	28,609	11,533	1,79	1,77	-0,025	1
Ш-2	4,9	$E = 0,2308\rho^{5,2889}$	0,231	5,289	24,37	1,80	22,569	1254
Ш-2	6,3	$E = 15,68\rho - 22,958$	15,680	22,958	1,87	1,86	0,006	0
Ш-3	7,5	$E = 0,044e^{2,6679x}$	0,044	2,668	0,24	1,89	2,132	113
Ш-3	6,8	$E = 27,138\ln(\rho) - 10,46$	27,138	10,460	1,89	1,91	0,021	1
Ш-3	6,4	$E = 0,3031\rho^{4,8892}$	0,303	4,889	22,47	1,90	20,566	1082
Ш-3	6,3	$E = 14,833\rho - 21,221$	14,833	21,221	1,86	1,88	0,025	1
Ш-4	7,4	$E = 0,044e^{2,6679\rho}$	0,044	2,668	0,24	1,88	2,120	113
Ш-4	7,1	$E = 27,138\ln(\rho) - 10,46$	27,138	10,460	1,91	1,89	0,020	1
Ш-4	6,9	$E = 0,3031\rho^{4,8892}$	0,303	4,889	23,33	1,89	21,438	1134
Ш-4	6,1	$E = 14,833\rho - 21,221$	14,833	21,221	1,84	1,78	0,062	3

Таблица Ж.6 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 180 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^b \cdot \rho$ $E = c \cdot \ln(\rho) - d$ $E = f \cdot \rho^g$ $E = k \cdot \rho - h$	a c f k	b d g h	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s$ - $\rho_p$	$\gamma = \Delta\rho /$ $\rho_s$ , %
Ш-1	7,3	$E = 12,580 \cdot \rho - 17,030$	12,580	17,030	1,93	1,92	0,014	1
Ш-2	8,2	$E = 12,580 \cdot \rho - 17,030$	12,580	17,030	2,01	1,90	0,106	6
Ш-3	8,2	$E = 12,884 \cdot \rho - 17,319$	12,884	17,319	1,98	1,92	0,061	3
Ш-4	7,7	$E = 12,884 \cdot \rho - 17,319$	12,884	17,319	1,94	1,87	0,072	4

Таблица Ж.7 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 182 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \rho}$ $E = c \cdot \ln(\rho) - d$ $E = f \cdot \rho^g$ $E = k \cdot \rho - h$	a c f k	b d g h	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s - \rho_p$	$\gamma = \Delta\rho / \rho_s$ , %
Ш-1	7,3	$E = 0,0467e^{2,5635\rho}$	0,047	2,564	0,25	1,93	2,183	113
Ш-1	6,0	$E = 26,878\ln(\rho) - 11,056$	26,878	11,056	1,89	1,82	0,066	4
Ш-1	4,2	$E = 0,2777\rho^{4,8151}$	0,278	4,815	18,73	1,79	16,936	946
Ш-1	5,6	$E = 14,315\rho - 21,011$	14,315	21,011	1,86	1,90	0,041	2
Ш-2	7,3	$E = 0,0467e^{2,5635\rho}$	0,047	2,564	0,25	1,93	2,183	113
Ш-2	6,2	$E = 26,878\ln(\rho) - 11,056$	26,878	11,056	1,90	1,86	0,040	2
Ш-2	4,3	$E = 0,2777\rho^{4,8151}$	0,278	4,815	18,95	1,85	17,097	924
Ш-2	6,3	$E = 14,315\rho - 21,011$	14,315	21,011	1,91	1,96	0,052	3
Ш-3	7,3	$E = 6,593 \cdot \rho - 6,217$	6,593	6,217	2,05	2,09	0,040	2
Ш-4	7,9	$E = 6,593 \cdot \rho - 6,217$	6,593	6,217	2,14	1,89	0,251	13

Таблица Ж.8 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 201 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \rho}$ $E = c \cdot \ln(\rho) - d$ $E = f \cdot \rho^g$ $E = k \cdot \rho - h$	a c f k	b d g h	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s - \rho_p$	$\gamma = \Delta\rho / \rho_s$ , %
Ш-1	7,6	$E = 0,0205e^{2,9987\rho}$	0,021	2,999	0,17	1,92	2,094	109
Ш-1	6,1	$E = 28,203\ln(\rho) - 11,929$	28,203	11,929	1,90	1,89	0,005	0
Ш-1	4,0	$E = 0,1844\rho^{5,4521}$	0,184	5,452	25,39	1,72	23,673	1376
Ш-1	4,3	$E = 15,532\rho - 23,329$	15,532	23,329	1,78	1,76	0,019	1
Ш-2	7,3	$E = 0,0205e^{2,9987\rho}$	0,021	2,999	0,17	1,92	2,091	109
Ш-2	5,4	$E = 28,203\ln(\rho) - 11,929$	28,203	11,929	1,85	1,81	0,039	2
Ш-2	3,4	$E = 0,1844\rho^{5,4521}$	0,184	5,452	23,41	1,75	21,661	1238
Ш-2	3,9	$E = 15,532\rho - 23,329$	15,532	23,329	1,75	1,81	0,057	3
Ш-3	8,2	$E = 0,0374e^{2,6744\rho}$	0,037	2,674	0,24	1,93	2,169	112
Ш-3	7,8	$E = 26,974\ln(\rho) - 11,14$	26,974	11,140	2,02	1,97	0,048	2
Ш-3	7,1	$E = 0,246\rho^{4,9864}$	0,246	4,986	26,79	1,98	24,809	1253
Ш-3	6,9	$E = 14,485\rho - 21,367$	14,485	21,367	1,95	1,98	0,029	1
Ш-4	7,4	$E = 0,0374e^{2,6744\rho}$	0,037	2,674	0,23	1,93	2,158	112
Ш-4	6,9	$E = 26,974\ln(\rho) - 11,14$	26,974	11,140	1,95	1,99	0,038	2
Ш-4	6,6	$E = 0,246\rho^{4,9864}$	0,246	4,986	25,83	1,98	23,848	1204
Ш-4	6,6	$E = 14,485\rho - 21,367$	14,485	21,367	1,93	1,96	0,029	1

Таблица Ж.9 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 205 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \rho}$ $E = c \cdot \ln(\rho) - d$ $E = f \cdot \rho^g$ $E = k \cdot \rho - h$	a c f k	b d g h	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_3$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_3 - \rho_p$	$\gamma = \Delta\rho / \rho_3$ , %
Ш-1	7,3	$E = 0,0103e^{3,3356\rho}$	0,010	3,336	0,13	1,93	2,060	107
Ш-1	6,1	$E = 33,983\ln(\rho) - 15,835$	33,983	15,835	1,91	1,84	0,067	4
Ш-1	3,7	$E = 0,1033\rho^{6,2897}$	0,103	6,290	37,64	1,80	35,843	1991
Ш-1	5,3	$E = 18,045\rho - 28,322$	18,045	28,322	1,86	1,90	0,037	2
Ш-2	7,5	$E = 0,0103e^{3,3356\rho}$	0,010	3,336	0,13	1,97	2,102	107
Ш-2	6,2	$E = 33,983\ln(\rho) - 15,835$	33,983	15,835	1,91	1,93	0,017	1
Ш-2	4,6	$E = 0,1033\rho^{6,2897}$	0,103	6,290	41,97	1,84	40,132	2181
Ш-2	6,1	$E = 18,045\rho - 28,322$	18,045	28,322	1,91	1,94	0,032	2
Ш-3	7,7	$E = 0,0239e^{2,9022\rho}$	0,024	2,902	0,19	1,97	2,158	110
Ш-3	7,4	$E = 31,51\ln(\rho) - 14,137$	31,510	14,137	1,98	2,00	0,019	1
Ш-3	6,5	$E = 0,1681\rho^{5,5554}$	0,168	5,555	34,55	2,00	32,545	1627
Ш-3	6,2	$E = 16,48\rho - 25,237$	16,480	25,237	1,91	1,89	0,018	1
Ш-4	7,9	$E = 0,0239e^{2,9022\rho}$	0,024	2,902	0,19	1,94	2,131	110
Ш-4	7,6	$E = 31,51\ln(\rho) - 14,137$	31,510	14,137	1,99	1,94	0,053	3
Ш-4	6,6	$E = 0,1681\rho^{5,5554}$	0,168	5,555	34,81	1,94	32,870	1694
Ш-4	5,6	$E = 16,48\rho - 25,237$	16,480	25,237	1,87	1,88	0,009	0

Таблица Ж.10 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 226 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	E = a*e^b* $\rho$ E = c*ln( $\rho$ )-d E = f* $\rho^g$ E = k* $\rho$ -h		a	b	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s$ - $\rho_p$	$\gamma = \Delta\rho /$ $\rho_s$ , %
		c	d	f	g	h			
Ш-1	7,9	E = 0,0836e <sup>2,3491<math>\rho</math></sup>		0,084	2,349	0,35	1,92	2,275	118
Ш-1	6,5	E = 26,208ln( $\rho$ ) - 9,5861		26,208	9,586	1,85	1,84	0,007	0
Ш-1	4,9	E = 0,4615 $\rho$ <sup>4,2907</sup>		0,462	4,291	13,98	1,78	12,201	685
Ш-1	6,5	E = 14,362 $\rho$ - 20,045		14,362	20,045	1,85	1,90	0,052	3
Ш-2	7,4	E = 0,0836e <sup>2,3491<math>\rho</math></sup>		0,084	2,349	0,34	1,88	2,223	118
Ш-2	6,4	E = 26,208ln( $\rho$ ) - 9,5861		26,208	9,586	1,84	1,80	0,040	2
Ш-2	4,9	E = 0,4615 $\rho$ <sup>4,2907</sup>		0,462	4,291	13,98	1,73	12,251	708
Ш-2	6,4	E = 14,362 $\rho$ - 20,045		14,362	20,045	1,84	1,86	0,019	1
Ш-3	7,6	E = 0,1345e <sup>2,0978<math>\rho</math></sup>		0,135	2,098	0,48	1,90	2,382	125
Ш-3	7,4	E = 23,663ln( $\rho$ ) - 7,9553		23,663	7,955	1,91	1,85	0,063	3
Ш-3	6,6	E = 0,6055 $\rho$ <sup>3,8653</sup>		0,606	3,865	12,76	1,85	10,911	590
Ш-3	6,5	E = 12,85 $\rho$ - 17,182		12,850	17,182	1,84	1,87	0,027	1
Ш-4	7,9	E = 0,1345e <sup>2,0978<math>\rho</math></sup>		0,135	2,098	0,49	1,88	2,371	126
Ш-4	7,6	E = 23,663ln( $\rho$ ) - 7,9553		23,663	7,955	1,93	1,89	0,040	2
Ш-4	6,9	E = 0,6055 $\rho$ <sup>3,8653</sup>		0,606	3,865	13,05	1,92	11,128	580
Ш-4	6,5	E = 12,85 $\rho$ - 17,182		12,850	17,182	1,84	1,92	0,077	4

Таблица Ж.11 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 228 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a * e^{b * \rho}$ $E = c * \ln(\rho) - d$ $E = f * \rho^g$ $E = k * \rho - h$	a c f k	b d g h	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s$ - $\rho_p$	$\gamma = \Delta\rho /$ $\rho_s$ , %
Ш-1	7,8	$E = 0,0353e^{2,8546\rho}$	0,035	2,855	0,22	1,86	2,075	112
Ш-1	6,6	$E = 28,516\ln(\rho) - 10,572$	28,516	10,572	1,83	1,75	0,076	4
Ш-1	4,2	$E = 0,3006\rho^{5,1024}$	0,301	5,102	19,07	1,75	17,322	990
Ш-1	6,1	$E = 15,978\rho - 22,59$	15,978	22,590	1,80	1,84	0,044	2
Ш-2	7,4	$E = 0,0353e^{2,8546\rho}$	0,035	2,855	0,21	1,88	2,090	111
Ш-2	6,1	$E = 28,516\ln(\rho) - 10,572$	28,516	10,572	1,79	1,72	0,074	4
Ш-2	3,7	$E = 0,3006\rho^{5,1024}$	0,301	5,102	17,90	1,68	16,221	966
Ш-2	4,9	$E = 15,978\rho - 22,59$	15,978	22,590	1,72	1,76	0,040	2
Ш-3	7,2	$E = 0,0605e^{2,5484\rho}$	0,061	2,548	0,28	1,90	2,176	115
Ш-3	6,9	$E = 25,986\ln(\rho) - 9,1715$	25,986	9,172	1,86	1,85	0,006	0
Ш-3	6,5	$E = 0,4002\rho^{4,5955}$	0,400	4,596	18,52	1,89	16,630	880
Ш-3	5,1	$E = 14,432\rho - 19,892$	14,432	19,892	1,73	1,80	0,068	4
Ш-4	7,8	$E = 0,0605e^{2,5484\rho}$	0,061	2,548	0,29	1,89	2,177	115
Ш-4	7,2	$E = 25,986\ln(\rho) - 9,1715$	25,986	9,172	1,88	1,84	0,038	2
Ш-4	6,7	$E = 0,4002\rho^{4,5955}$	0,400	4,596	18,80	1,81	16,993	939
Ш-4	6,2	$E = 14,432\rho - 19,892$	14,432	19,892	1,81	1,79	0,018	1

Таблица Ж.12 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 289 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a * e^{b * \rho}$ $E = c * \ln(\rho) - d$ $E = f * \rho^g$ $E = k * \rho - h$	a c f k	b d g h	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s$ - $\rho_p$	$\gamma = \Delta\rho /$ $\rho_s$ , %
Ш-1	7,2	$E = 16,361 * \rho - 23,494$	16,361	23,494	1,88	1,85	0,026	1
Ш-2	7,8	$E = 16,361 * \rho - 23,494$	16,361	23,494	1,91	1,86	0,053	3
Ш-3	7,9	$E = 0,0488e^{2,6496\rho}$	0,049	2,650	0,26	1,89	2,148	114
Ш-3	7,3	$E = 29,46\ln(\rho) - 11,478$	29,460	11,478	1,89	1,87	0,022	1
Ш-3	6,5	$E = 0,3394\rho^{4,8159}$	0,339	4,816	21,08	1,89	19,186	1015
Ш-3	5,1	$E = 16,216\rho - 23,361$	16,216	23,361	1,76	1,80	0,045	2
Ш-4	7,8	$E = 0,0488e^{2,6496\rho}$	0,049	2,650	0,26	1,90	2,157	114
Ш-4	7,2	$E = 29,46\ln(\rho) - 11,478$	29,460	11,478	1,89	1,87	0,015	1
Ш-4	6,6	$E = 0,3394\rho^{4,8159}$	0,339	4,816	21,24	1,87	19,367	1036
Ш-4	6,1	$E = 16,216\rho - 23,361$	16,216	23,361	1,82	1,86	0,043	2

Таблица Ж.13 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 303 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	E = a*e <sup>b</sup> * $\rho$		$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s - \rho_p$	$\gamma = \Delta\rho / \rho_s$ , %	
		E = c*ln( $\rho$ )-d	E = k* $\rho$ -h					
Ш-1	7,9	E = 0,029e <sup>2,9331p</sup>	0,029	2,933	0,20	1,89	1,691	89
Ш-1	6,5	E = 29,154ln( $\rho$ ) - 11,241	29,154	11,241	1,84	1,81	0,028	2
Ш-1	5,1	E = 0,2461p <sup>5,3489</sup>	0,246	5,349	24,35	1,77	22,580	1276
Ш-1	6,3	E = 16,013p - 22,946	16,013	22,946	1,83	1,91	0,084	4
Ш-2	7,8	E = 0,029e <sup>2,9331p</sup>	0,029	2,933	0,20	1,88	2,078	111
Ш-2	6,6	E = 29,154ln( $\rho$ ) - 11,241	29,154	11,241	1,84	1,78	0,064	4
Ш-2	3,6	E = 0,2461p <sup>5,3489</sup>	0,246	5,349	20,46	1,70	18,758	1103
Ш-2	6,1	E = 16,013p - 22,946	16,013	22,946	1,81	1,84	0,026	1
Ш-3	7,7	E = 0,0599e <sup>2,5345p</sup>	0,060	2,535	0,29	1,85	2,136	115
Ш-3	7,1	E = 25,152ln( $\rho$ ) - 8,8521	25,152	8,852	1,89	1,83	0,056	3
Ш-3	6,5	E = 0,3752p <sup>4,6426</sup>	0,375	4,643	19,32	1,89	17,434	922
Ш-3	6,1	E = 13,747p - 18,823	13,747	18,823	1,81	1,86	0,047	3
Ш-4	7,8	E = 0,0599e <sup>2,5345p</sup>	0,060	2,535	0,29	1,90	2,188	115
Ш-4	7,2	E = 25,152ln( $\rho$ ) - 8,8521	25,152	8,852	1,89	1,87	0,023	1
Ш-4	6,6	E = 0,3752p <sup>4,6426</sup>	0,375	4,643	19,47	1,88	17,592	936
Ш-4	6,3	E = 13,747p - 18,823	13,747	18,823	1,83	1,90	0,072	4

Таблица Ж.14 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 327 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	E = a*e <sup>b</sup> * $\rho$ E = c*ln( $\rho$ )-d E = f* $\rho$ <sup>g</sup> E = k* $\rho$ -h		a	b	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_3$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_3$ - $\rho_p$	$\gamma = \Delta\rho /$ $\rho_3$ , %
		c	d	f	g				
Ш-1	7,4	E = 0,0184e <sup>3,23<math>\rho</math></sup>		0,018	3,230	0,16	1,88	2,035	108
Ш-1	6,7	E = 33,992ln( $\rho$ ) - 13,646		33,992	13,646	1,82	1,79	0,029	2
Ш-1	3,6	E = 0,1962 $\rho$ <sup>5,8726</sup>		0,196	5,873	25,16	1,71	23,445	1371
Ш-1	5,6	E = 18,736 $\rho$ - 27,412		18,736	27,412	1,76	1,76	0,002	0
Ш-2	8,0	E = 0,0184e <sup>3,23<math>\rho</math></sup>		0,018	3,230	0,16	1,89	2,051	109
Ш-2	6,6	E = 33,992ln( $\rho$ ) - 13,646		33,992	13,646	1,81	1,75	0,064	4
Ш-2	5,2	E = 0,1962 $\rho$ <sup>5,8726</sup>		0,196	5,873	30,23	1,75	28,483	1628
Ш-2	6,1	E = 18,736 $\rho$ - 27,412		18,736	27,412	1,79	1,80	0,011	1
Ш-3	7,5	E = 0,0646e <sup>2,5169<math>\rho</math></sup>		0,065	2,517	0,29	1,89	2,182	115
Ш-3	7,0	E = 26,447ln( $\rho$ ) - 9,4113		26,447	9,411	1,86	1,86	0,000	0
Ш-3	6,7	E = 0,4024 $\rho$ <sup>4,5979</sup>		0,402	4,598	18,76	1,92	16,842	877
Ш-3	6,1	E = 14,501 $\rho$ - 19,98		14,501	19,980	1,80	1,83	0,032	2
Ш-4	7,8	E = 0,0646e <sup>2,5169<math>\rho</math></sup>		0,065	2,517	0,30	1,86	2,158	116
Ш-4	7,3	E = 26,447ln( $\rho$ ) - 9,4113		26,447	9,411	1,88	1,85	0,031	2
Ш-4	6,3	E = 0,4024 $\rho$ <sup>4,5979</sup>		0,402	4,598	18,19	1,85	16,343	883
Ш-4	6,0	E = 14,501 $\rho$ - 19,98		14,501	19,980	1,79	1,82	0,028	2

Таблица Ж.15 – Оценка точности моделирования параметра плотности грунтов  $\rho$  на 327 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	E = a*e <sup>b</sup> * $\rho$ E = c*ln( $\rho$ )-d E = f* $\rho$ <sup>g</sup> E = k* $\rho$ -h		a	b	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho_s$ - $\rho_p$	$\gamma = \Delta\rho /$ $\rho_s$ , %
		c	d	f	g				
Ш-1	7,9	E = 0,1769e <sup>2,0158<math>\rho</math></sup>		0,177	2,016	0,59	1,88	2,472	131
Ш-1	6,9	E = 21,451ln( $\rho$ ) - 5,8673		21,451	5,867	1,81	1,81	0,003	0
Ш-1	5,7	E = 0,842 $\rho$ <sup>3,5219</sup>		0,842	3,522	9,16	1,73	7,433	430
Ш-1	6,3	E = 12,308 $\rho$ - 15,426		12,308	15,426	1,77	1,8	0,035	2
Ш-2	7,7	E = 0,1769e <sup>2,0158<math>\rho</math></sup>		0,177	2,016	0,58	1,85	2,435	132
Ш-2	6,4	E = 21,451ln( $\rho$ ) - 5,8673		21,451	5,867	1,77	1,71	0,062	4
Ш-2	4,5	E = 0,842 $\rho$ <sup>3,5219</sup>		0,842	3,522	8,14	1,62	6,522	403
Ш-2	5,6	E = 12,308 $\rho$ - 15,426		12,308	15,426	1,71	1,77	0,062	3
Ш-3	7,7	E = 0,2128e <sup>1,9059<math>\rho</math></sup>		0,213	1,906	0,69	1,85	2,542	137
Ш-3	7,3	E = 20,639ln( $\rho$ ) - 5,4678		20,639	5,468	1,86	1,84	0,016	1
Ш-3	7,0	E = 0,9175 $\rho$ <sup>3,3548</sup>		0,918	3,355	9,27	1,82	7,446	409
Ш-3	6	E = 11,75 $\rho$ - 14,504		11,750	14,504	1,75	1,77	0,025	1
Ш-4	7,8	E = 0,2128e <sup>1,9059<math>\rho</math></sup>		0,213	1,906	0,70	1,88	2,577	137
Ш-4	7,2	E = 20,639ln( $\rho$ ) - 5,4678		20,639	5,468	1,85	1,86	0,013	1
Ш-4	7,0	E = 0,9175 $\rho$ <sup>3,3548</sup>		0,918	3,355	9,27	1,84	7,426	404
Ш-4	6,4	E = 11,75 $\rho$ - 14,504		11,750	14,504	1,78	1,86	0,081	4

Таблица Ж.16 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 20 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс, %
Ш-1	8,4	$E = 0,1196e^{0,1379\varphi}$	0,120	0,138	7,27	30,8	38,067	124
Ш-1	6,1	$E = 25,793\ln(\varphi) - 80,163$	25,793	80,163	28,34	28,8	0,455	2
Ш-1	4,8	$E = 1E-0,5\varphi^{3,9759}$	0,000	3,976	2754,58	26,6	2727,984	10256
Ш-1	5,9	$E = 0,8966\varphi - 19,344$	0,897	19,344	28,16	28,2	0,045	0
Ш-2	8,5	$E = 0,1196e^{0,1379\varphi}$	0,120	0,138	7,31	31	38,308	124
Ш-2	6,6	$E = 25,793\ln(\varphi) - 80,163$	25,793	80,163	28,90	28,9	0,001	0
Ш-2	4,9	$E = 1E-0,5\varphi^{3,9759}$	0,000	3,976	2783,13	27,2	2755,930	10132
Ш-2	6,9	$E = 0,8966\varphi - 19,344$	0,897	19,344	29,27	29,2	0,071	0
Ш-3	8,5	$E = 0,4793e^{0,0892\varphi}$	0,479	0,089	32,62	30,6	63,223	207
Ш-3	7,1	$E = 16,99\ln(\varphi) - 50,78$	16,990	50,780	30,17	30,3	0,134	0
Ш-3	6,7	$E = 0,001\varphi^{2,5901}$	0,001	2,590	212,01	29	183,009	631
Ш-3	6,9	$E = 0,5859\varphi - 10,576$	0,586	10,576	29,83	30,1	0,272	1
Ш-4	6,8	$E = 0,4793e^{0,0892\varphi}$	0,479	0,089	29,22	29,9	59,121	198
Ш-4	6,4	$E = 16,99\ln(\varphi) - 50,78$	16,990	50,780	28,95	30,5	1,552	5
Ш-4	7,0	$E = 0,001\varphi^{2,5901}$	0,001	2,590	216,70	30,2	186,503	618
Ш-4	5,5	$E = 0,5859\varphi - 10,576$	0,586	10,576	27,44	27,5	0,062	0

Таблица Ж.17 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 44 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi_{\text{расч.}}$ град.	$\varphi_{\text{экс.}}$ град.	$\Delta\varphi = \varphi_{\text{экс.}} - \varphi_{\text{расч.}}$	$\gamma = \frac{\Delta\varphi}{\varphi_{\text{экс.}}}$ , %
Ш-1	7,0	$E = 0,1605e^{0,1452\varphi}$	0,161	0,145	7,33	26,2	33,525	128
Ш-1	6,9	$E = 20,229\ln(\varphi) - 58,939$	20,229	58,939	25,91	26	0,089	0
Ш-1	6,3	$E = 6E-05\varphi^{3,5662}$	0,000	3,566	1155,58	24,9	1130,681	4541
Ш-1	5,1	$E = 0,8245\varphi - 14,459$	0,825	14,459	23,72	22,8	0,922	4
Ш-2	7,3	$E = 0,1605e^{0,1452\varphi}$	0,161	0,145	7,48	26,3	33,783	128
Ш-2	7,1	$E = 20,229\ln(\varphi) - 58,939$	20,229	58,939	26,17	26,1	-0,069	0
Ш-2	6,2	$E = 6E-05\varphi^{3,5662}$	0,000	3,566	1146,37	24,8	1121,573	4522
Ш-2	4,1	$E = 0,8245\varphi - 14,459$	0,825	14,459	22,51	22,8	0,291	1
Ш-3	7,5	$E = 0,1699e^{0,1435\varphi}$	0,170	0,144	7,92	26,5	34,421	130
Ш-3	7,4	$E = 20,638\ln(\varphi) - 60,185$	20,638	60,185	26,44	26,4	0,038	0
Ш-3	6,7	$E = 7E-05\varphi^{3,5518}$	0,000	3,552	1098,85	25,6	1073,246	4192
Ш-3	6,5	$E = 0,8351\varphi - 14,651$	0,835	14,651	25,33	25,3	0,028	0
Ш-4	7,4	$E = 0,1699e^{0,1435\varphi}$	0,170	0,144	7,87	26,4	34,269	130
Ш-4	7,2	$E = 20,638\ln(\varphi) - 60,185$	20,638	60,185	26,18	26,1	0,083	0
Ш-4	6,9	$E = 7E-05\varphi^{3,5518}$	0,500	3,552	13,19	25,8	12,606	49
Ш-4	6,5	$E = 0,8351\varphi - 14,651$	0,835	14,651	25,33	25,3	0,028	0

Таблица Ж.18 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 72 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс, %
Ш-1	7,9	$E = 1,0604e^{0,0628\varphi}$	1,060	0,063	561,19	31,5	529,693	1682
Ш-1	7,7	$E = 9,6747\ln(\varphi) - 25,89$	9,675	25,890	32,20	31,3	0,899	3
Ш-1	6,4	$E = 0,0218\varphi^{1,6964}$	0,022	1,696	29,07	27,6	1,466	5
Ш-1	4,8	$E = 0,3595\varphi - 3,7833$	0,360	3,783	23,88	23,5	0,376	2
Ш-2	7,6	$E = 1,0604e^{0,0628\varphi}$	1,060	0,063	550,68	31,4	519,281	1654
Ш-2	7,5	$E = 9,6747\ln(\varphi) - 25,89$	9,675	25,890	31,54	31	0,540	2
Ш-2	6,4	$E = 0,0218\varphi^{1,6964}$	0,022	1,696	29,07	28,6	0,466	2
Ш-2	3,7	$E = 0,3595\varphi - 3,7833$	0,360	3,783	20,82	22,6	1,784	8
Ш-3	7,8	$E = 1,7071e^{0,0476\varphi}$	1,707	0,048	80,69	31,4	49,292	157
Ш-3	7,3	$E = 7,9462\ln(\varphi) - 19,867$	7,946	19,867	30,53	31,1	0,565	2
Ш-3	7,0	$E = 0,0826\varphi^{1,3115}$	0,083	1,312	12,07	30	17,927	60
Ш-3	6,3	$E = 0,2899\varphi - 1,5549$	0,290	1,555	27,10	25,1	1,995	8
Ш-4	7,9	$E = 1,7071e^{0,0476\varphi}$	1,707	0,048	81,19	31,5	49,693	158
Ш-4	7,7	$E = 7,9462\ln(\varphi) - 19,867$	7,946	19,867	32,11	31,1	1,011	3
Ш-4	7,0	$E = 0,0826\varphi^{1,3115}$	0,083	1,312	12,07	29,9	17,827	60
Ш-4	6,8	$E = 0,2899\varphi - 1,5549$	0,290	1,555	28,82	28,8	0,020	0

Таблица Ж.19 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 156 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a * e^{b * \varphi}$ $E = c * \ln(\varphi) - d$ $E = f * \varphi^g$ $E = k * \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс, %
Ш-1	7,1	$E = 0,8621e^{0,0737\varphi}$	0,862	0,074	179,09	25	204,095	816
Ш-1	7,0	$E = 11,32\ln(\varphi) - 30,729$	11,320	30,729	28,02	24,8	3,221	13
Ш-1	5,6	$E = 0,0081\varphi^{2,0255}$	0,008	2,026	53,26	23,6	29,658	126
Ш-1	3,4	$E = 0,4136\varphi - 4,709$	0,414	4,709	19,61	22,1	2,494	11
Ш-2	7,7	$E = 0,8621e^{0,0737\varphi}$	0,862	0,074	186,51	31,2	217,707	698
Ш-2	7,5	$E = 11,32\ln(\varphi) - 30,729$	11,320	30,729	29,29	30,8	1,514	5
Ш-2	6,0	$E = 0,0081\varphi^{2,0255}$	0,008	2,026	55,13	24,6	30,527	124
Ш-2	3,7	$E = 0,4136\varphi - 4,709$	0,414	4,709	20,33	22,7	2,369	10
Ш-3	7,8	$E = 1,2986e^{0,0585\varphi}$	1,299	0,006	1343,86	31,4	1312,458	4180
Ш-3	7,8	$E = 9,4869\ln(\varphi) - 24,725$	9,487	24,725	30,83	31,4	0,572	2
Ш-3	7,6	$E = 0,0303\varphi^{1,6234}$	0,030	1,623	25,71	31	5,289	17
Ш-3	6,9	$E = 0,3435\varphi - 2,815$	0,344	2,815	28,28	25,8	2,482	10
Ш-4	7,8	$E = 1,2986e^{0,0585\varphi}$	1,299	0,006	1343,86	31,4	1312,458	4180
Ш-4	7,7	$E = 9,4869\ln(\varphi) - 24,725$	9,487	24,725	30,50	31,2	0,696	2
Ш-4	7,1	$E = 0,0303\varphi^{1,6234}$	0,030	1,623	24,85	30,3	5,450	18
Ш-4	6,4	$E = 0,3435\varphi - 2,815$	0,344	2,815	26,83	25,2	1,627	6

Таблица Ж.20 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 171 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации $E$ , МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс, %
Ш-1	7,2	$E = 0,0267e^{0,2216\varphi}$	0,027	0,222	2,46	25,2	27,659	110
Ш-1	5,9	$E = 28,902\ln(\varphi) - 86,27$	28,902	86,270	24,27	23,8	0,465	2
Ш-1	3,7	$E = 2E-07\varphi^{5,3465}$	0,000	5,347	22996,17	22,7	22973,466	101205
Ш-1	5,8	$E = 1,1998\varphi - 23,231$	1,200	23,231	24,20	24,4	0,203	1
Ш-2	7,2	$E = 0,0267e^{0,2216\varphi}$	0,027	0,222	2,46	25,1	27,559	110
Ш-2	5,2	$E = 28,902\ln(\varphi) - 86,27$	28,902	86,270	23,68	23,4	0,285	1
Ш-2	4,9	$E = 2E-07\varphi^{5,3465}$	0,000	5,347	26463,82	23,7	26440,125	111562
Ш-2	6,3	$E = 1,1998\varphi - 23,231$	1,200	23,231	24,61	25,1	0,487	2
Ш-3	7,5	$E = 0,1311e^{0,1547\varphi}$	0,131	0,155	6,41	26,5	32,910	124
Ш-3	6,8	$E = 21,78\ln(\varphi) - 63,729$	21,781	63,729	25,49	25,7	0,215	1
Ш-3	6,4	$E = 3E-05\varphi^{3,8395}$	0,000	3,840	1773,39	25,2	1748,189	6937
Ш-3	6,3	$E = 0,8798\varphi - 15,636$	0,880	15,636	24,93	25,1	0,167	1
Ш-4	7,4	$E = 0,1311e^{0,1547\varphi}$	0,131	0,155	6,37	26,4	32,768	124
Ш-4	7,1	$E = 21,78\ln(\varphi) - 63,729$	21,781	63,729	25,84	26	0,161	1
Ш-4	6,9	$E = 3E-05\varphi^{3,8395}$	0,000	3,840	1841,36	25,8	1815,560	7037
Ш-4	6,1	$E = 0,8798\varphi - 15,636$	0,880	15,636	24,71	24,7	0,006	0

Таблица Ж.21 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 180 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс, %
Ш-1	7,3	$E = 1,2556e^{0,0598\varphi}$	1,256	0,060	146,05	26,3	119,746	455
Ш-1	6,1	$E = 10,159\ln(\varphi) - 26,948$	10,159	26,948	25,87	24,7	1,170	5
Ш-1	4,5	$E = 0,0282\varphi^{1,6463}$	0,028	1,646	20,80	23,3	2,503	11
Ш-1	4,2	$E = 0,3703\varphi - 3,55$	0,370	3,550	20,93	23,2	2,271	10
Ш-2	8,2	$E = 1,2556e^{0,0598\varphi}$	1,256	0,060	154,59	31,9	122,687	385
Ш-2	7,0	$E = 10,159\ln(\varphi) - 26,948$	10,159	26,948	28,27	30	1,734	6
Ш-2	5,4	$E = 0,0282\varphi^{1,6463}$	0,028	1,646	22,78	24,1	1,319	5
Ш-2	5,5	$E = 0,3703\varphi - 3,55$	0,370	3,550	24,44	24,5	0,060	0
Ш-3	8,2	$E = 1,6654e^{0,0499\varphi}$	1,665	0,050	82,67	31,8	50,870	160
Ш-3	7,8	$E = 8,739\ln(\varphi) - 22,228$	8,739	22,228	31,07	31,4	0,335	1
Ш-3	7,0	$E = -0,0517\varphi^2 + 3,1657\varphi - 40,763$	0,052	40,763	474,32	25,9	448,418	1731
Ш-3	6,9	$E = 0,3157\varphi - 2,0118$	0,316	2,012	28,23	25,8	2,429	9
Ш-4	7,7	$E = 1,6654e^{0,0499\varphi}$	1,665	0,050	80,20	31,2	48,998	157
Ш-4	7,1	$E = 8,739\ln(\varphi) - 22,228$	8,739	22,228	28,67	30,3	1,626	5
Ш-4	6,9	$E = -0,0517\varphi^2 + 3,1657\varphi - 40,763$	0,052	40,763	470,92	29,8	441,118	1480
Ш-4	6,2	$E = 0,3157\varphi - 2,0118$	0,316	2,012	26,01	25	1,011	4

Таблица Ж.22 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 182 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс, %
Ш-1	7,3	$E = 0,1068e^{0,1618\varphi}$	0,107	0,162	5,49	26,3	31,793	121
Ш-1	6	$E = 22,462\ln(\varphi) - 66,081$	22,462	66,081	24,75	24,6	0,155	1
Ш-1	4,2	$E = 2E-05\varphi^{3,9898}$	0,000	3,990	1828,36	23,2	1805,156	7781
Ш-1	5,6	$E = 0,9128\varphi - 16,624$	0,913	16,624	24,35	24,2	0,147	1
Ш-2	7,3	$E = 0,1068e^{0,1618\varphi}$	0,107	0,162	5,49	26,3	31,793	121
Ш-2	6,2	$E = 22,462\ln(\varphi) - 66,081$	22,462	66,081	24,98	25	0,024	0
Ш-2	4,3	$E = 2E-05\varphi^{3,9898}$	0,000	3,990	1849,99	22,8	1827,194	8014
Ш-2	6,3	$E = 0,9128\varphi - 16,624$	0,913	16,624	25,11	25	0,114	0
Ш-3	7,3	$E = 1,3708e^{0,0593\varphi}$	1,371	0,059	106,29	26,3	79,987	304
Ш-3	7	$E = 10,279\ln(\varphi) - 26,945$	10,279	26,945	27,18	25,9	1,277	5
Ш-3	7,1	$E = 0,027\varphi^{1,6812}$	0,027	1,681	27,26	25,6	1,663	6
Ш-3	6,4	$E = 0,3646\varphi - 2,9791$	0,365	2,979	25,72	25,2	0,524	2
Ш-4	7,9	$E = 1,3708e^{0,0593\varphi}$	1,371	0,059	110,51	31,6	78,910	250
Ш-4	7,6	$E = 10,279\ln(\varphi) - 26,945$	10,279	26,945	28,81	31	2,190	7
Ш-4	6,5	$E = 0,027\varphi^{1,6812}$	0,027	1,681	26,09	25,3	0,785	3
Ш-4	5,8	$E = 0,3646\varphi - 2,9791$	0,365	2,979	24,08	24,4	0,321	1

Таблица Ж.23 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 201 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс, %
Ш-1	7,6	$E = 0,0814e^{0,1738\varphi}$	0,081	0,174	4,65	26,2	30,852	118
Ш-1	6,1	$E = 22,765\ln(\varphi) - 66,892$	22,765	66,892	24,69	24,7	0,012	0
Ш-1	4,0	$E = 8E-06\varphi^{4,2345}$	0,000	4,235	2994,24	23	2971,244	12918
Ш-1	4,3	$E = 0,9375\varphi - 17,077$	0,938	17,077	22,80	22,8	0,002	0
Ш-2	7,3	$E = 0,0814e^{0,1738\varphi}$	0,081	0,174	4,56	26,3	30,860	117
Ш-2	5,4	$E = 22,765\ln(\varphi) - 66,892$	22,765	66,892	23,94	23,5	0,441	2
Ш-2	3,4	$E = 8E-06\varphi^{4,2345}$	0,000	4,235	2760,56	22	2738,556	12448
Ш-2	3,9	$E = 0,9375\varphi - 17,077$	0,938	17,077	22,38	22,5	0,125	1
Ш-3	8,2	$E = 0,7834e^{0,0803\varphi}$	0,783	0,080	107,34	31,9	139,242	436
Ш-3	7,8	$E = 12,945\ln(\varphi) - 35,639$	12,945	35,639	28,66	31,4	2,736	9
Ш-3	7,1	$E = 0,0045\varphi^{2,2289}$	0,005	2,229	88,53	26	62,535	241
Ш-3	6,9	$E = 0,4698\varphi - 5,7608$	0,470	5,761	26,95	25,8	1,149	4
Ш-4	7,4	$E = 0,7834e^{0,0803\varphi}$	0,783	0,080	102,10	26,4	128,505	487
Ш-4	6,9	$E = 12,945\ln(\varphi) - 35,639$	12,945	35,639	26,74	25,8	0,939	4
Ш-4	6,6	$E = 0,0045\varphi^{2,2289}$	0,005	2,229	85,36	25,4	59,960	236
Ш-4	6,6	$E = 0,4698\varphi - 5,7608$	0,470	5,761	26,31	25,5	0,811	3

Таблица Ж.24 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 205 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс, %
Ш-1	7,3	$E = 0,093e^{0,1674\varphi}$	0,093	0,167	5,00	26,3	31,300	119
Ш-1	6,1	$E = 22,926\ln(\varphi) - 67,547$	22,926	67,547	24,84	24,7	0,138	1
Ш-1	3,7	$E = 1E-05\varphi^{4,1349}$	0,000	4,135	2515,16	22,7	2492,461	10980
Ш-1	5,3	$E = 0,9307\varphi - 17,044$	0,931	17,044	24,01	24,1	0,092	0
Ш-2	7,5	$E = 0,093e^{0,1674x}$	0,093	0,167	5,07	26,5	31,568	119
Ш-2	6,2	$E = 22,926\ln(\varphi) - 67,547$	22,926	67,547	24,95	24,8	0,147	1
Ш-2	4,6	$E = 1E-05\varphi^{4,1349}$	0,000	4,135	2804,43	23	2781,426	12093
Ш-2	6,1	$E = 0,9307\varphi - 17,044$	0,931	17,044	24,87	24,7	0,167	1
Ш-3	7,7	$E = 1,1829e^{0,0648\varphi}$	1,183	0,065	187,54	26,8	160,736	600
Ш-3	7,4	$E = 11,015\ln(\varphi) - 29,352$	11,015	29,352	28,12	26,4	1,722	7
Ш-3	6,5	$E = 0,0168\varphi^{1,8256}$	0,017	1,826	35,91	25,3	10,609	42
Ш-3	6,2	$E = 0,3928\varphi - 3,7284$	0,393	3,728	25,28	24,8	0,476	2
Ш-4	7,9	$E = 1,1829e^{0,0648\varphi}$	1,183	0,065	189,89	31,6	158,292	501
Ш-4	7,6	$E = 11,015\ln(\varphi) - 29,352$	11,015	29,352	28,64	31	2,363	8
Ш-4	6,6	$E = 0,0168\varphi^{1,8256}$	0,017	1,826	36,18	25,4	10,785	42
Ш-4	5,6	$E = 0,3928\varphi - 3,7284$	0,393	3,728	23,75	24,2	0,452	2

Таблица Ж.25 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 205 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс,%
Ш-1	7,9	$E = 1,5271e^{0,0548\varphi}$	1,527	0,055	89,09	31,6	57,486	182
Ш-1	6,5	$E = 9,9753\ln(\varphi) - 26,023$	9,975	26,023	26,06	25,3	0,759	3
Ш-1	4,9	$E = 0,0397\varphi^{1,5602}$	0,040	1,560	17,33	23,7	6,367	27
Ш-1	6,5	$E = 0,352\varphi - 2,7179$	0,352	2,718	26,19	25,3	0,887	4
Ш-2	7,4	$E = 1,5271e^{0,0548\varphi}$	1,527	0,055	86,27	26,4	59,868	227
Ш-2	6,4	$E = 9,9753\ln(\varphi) - 26,023$	9,975	26,023	25,80	25,2	0,599	2
Ш-2	4,9	$E = 0,0397\varphi^{1,5602}$	0,040	1,560	17,33	23,7	6,367	27
Ш-2	6,4	$E = 0,352\varphi - 2,7179$	0,352	2,718	25,90	25,2	0,703	3
Ш-3	7,6	$E = 2,2737e^{0,0403\varphi}$	2,274	0,040	61,27	26,6	34,668	130
Ш-3	7,4	$E = 7,5329\ln(\varphi) - 17,982$	7,533	17,982	29,06	30,9	1,836	6
Ш-3	6,6	$E = 0,1538\varphi^{1,1489}$	0,154	1,149	7,53	25,4	17,874	70
Ш-3	6,5	$E = 0,2649\varphi - 0,3461$	0,265	0,346	25,84	25,3	0,544	2
Ш-4	7,9	$E = 2,2737e^{0,0403\varphi}$	2,274	0,040	62,44	31,6	30,838	98
Ш-4	7,6	$E = 7,5329\ln(\varphi) - 17,982$	7,533	17,982	29,85	31,0	1,154	4
Ш-4	6,9	$E = 0,1538\varphi^{1,1489}$	0,154	1,149	7,70	25,8	18,105	70
Ш-4	6,5	$E = 0,2649\varphi - 0,3461$	0,265	0,346	25,84	25,3	0,544	2

Таблица Ж.26 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 228 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс, %
Ш-1	7,8	$E = 0,9147e^{0,0709\varphi}$	0,915	0,071	324,95	31,4	356,348	1135
Ш-1	6,6	$E = 11,023\ln(\varphi) - 29,891$	11,023	29,891	27,40	29,2	1,803	6
Ш-1	4,2	$E = 0,0103\varphi^{1,9456}$	0,010	1,946	39,29	23,2	16,088	69
Ш-1	6,1	$E = 0,4033\varphi - 4,5337$	0,403	4,534	26,37	24,7	1,667	7
Ш-2	7,4	$E = 0,9147e^{0,0709\varphi}$	0,915	0,071	-316,62	26,4	343,021	1299
Ш-2	6,1	$E = 11,023\ln(\varphi) - 29,891$	11,023	29,891	26,18	24,7	1,482	6
Ш-2	3,7	$E = 0,0103\varphi^{1,9456}$	0,010	1,946	36,88	22,7	14,175	62
Ш-2	4,9	$E = 0,4033\varphi - 4,5337$	0,403	4,534	23,39	23,7	0,309	1
Ш-3	7,2	$E = 1,3198e^{0,0584\varphi}$	1,320	0,058	121,82	26,2	95,620	365
Ш-3	6,9	$E = 9,5402\ln(\varphi) - 24,885$	9,540	24,885	27,99	25,8	2,186	8
Ш-3	6,5	$E = 0,0296\varphi^{1,6339}$	0,030	1,634	24,21	25,3	1,088	4
Ш-3	5,1	$E = 0,3428\varphi - 2,7549$	0,343	2,755	22,91	25,9	2,986	12
Ш-4	7,8	$E = 1,3198e^{0,0584\varphi}$	1,320	0,058	126,76	31,4	95,360	304
Ш-4	7,2	$E = 9,5402\ln(\varphi) - 24,885$	9,540	24,885	28,88	30,5	1,620	5
Ш-4	6,7	$E = 0,0296\varphi^{1,6339}$	0,030	1,634	24,58	25,6	1,018	4
Ш-4	6,2	$E = 0,3428\varphi - 2,7549$	0,343	2,755	26,12	24,8	1,323	5

Таблица Ж.27 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 289 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi_{\text{расч.}}$ град.	$\varphi_{\text{экс.}}$ град.	$\Delta\varphi = \varphi_{\text{экс.}} - \varphi_{\text{расч.}}$	$\gamma = \frac{\Delta\varphi}{\varphi_{\text{экс.}}} \cdot 100\%$
Ш-1	7,8	$E = 1,3986e^{0,0559\varphi}$	1,399	0,056	109,54	26,2	83,336	318
Ш-1	6,6	$E = 9,4282\ln(\varphi) - 24,588$	9,428	24,588	27,33	25	2,329	9
Ш-1	4,2	$E = 0,04\varphi^{1,5398}$	0,040	1,540	15,78	23,5	7,722	33
Ш-1	6,1	$E = 0,3434\varphi - 2,8469$	0,343	2,847	26,05	24,7	1,354	5
Ш-2	7,4	$E = 1,3986e^{0,0559\varphi}$	1,399	0,056	106,73	31,4	75,329	240
Ш-2	6,1	$E = 9,4282\ln(\varphi) - 24,588$	9,428	24,588	25,92	28,8	2,883	10
Ш-2	3,7	$E = 0,04\varphi^{1,5398}$	0,040	1,540	14,81	23,7	8,891	38
Ш-2	4,9	$E = 0,3434\varphi - 2,8469$	0,343	2,847	22,56	23,7	1,141	5
Ш-3	7,2	$E = 1,7635e^{0,0475\varphi}$	1,764	0,048	73,26	31,6	41,659	132
Ш-3	6,9	$E = 8,342\ln(\varphi) - 20,986$	8,342	20,986	28,30	30,7	2,401	8
Ш-3	6,5	$E = 0,0825\varphi^{1,321}$	0,083	1,321	11,73	25,3	13,574	54
Ш-3	5,1	$E = 0,3008\varphi - 1,6695$	0,301	1,670	22,50	23,9	1,395	6
Ш-4	7,8	$E = 1,7635e^{0,0475\varphi}$	1,764	0,048	76,23	31,4	44,829	143
Ш-4	7,2	$E = 8,342\ln(\varphi) - 20,986$	8,342	20,986	29,34	30,5	1,164	4
Ш-4	6,7	$E = 0,0825\varphi^{1,321}$	0,083	1,321	11,90	25,4	13,495	53
Ш-4	6,2	$E = 0,3008\varphi - 1,6695$	0,301	1,670	26,16	24,7	1,462	6

Таблица Ж.28 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 303 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi$ расч. град.	$\varphi$ экс, град.	$\Delta\varphi = \varphi$ экс- $\varphi$ расч	$\gamma = \Delta\varphi$ / $\varphi$ экс,%
Ш-1	7,9	$E = 1,2185e^{0,0602\varphi}$	1,219	0,060	173,73	31,6	-142,133	450
Ш-1	6,5	$E = 9,7384\ln(\varphi) - 25,682$	9,738	25,682	27,24	25,3	-1,943	8
Ш-1	5,1	$E = 0,0254\varphi^{1,6713}$	0,025	1,671	23,68	23,9	0,218	1
Ш-1	6,3	$E = 0,3528\varphi - 3,1874$	0,353	3,187	26,89	25,1	-1,792	7
Ш-2	7,8	$E = 1,2185e^{0,0602\varphi}$	1,219	0,060	172,66	31,4	-141,262	450
Ш-2	6,6	$E = 9,7384\ln(\varphi) - 25,682$	9,738	25,682	27,52	29,2	1,676	6
Ш-2	3,6	$E = 0,0254\varphi^{1,6713}$	0,025	1,671	19,90	22,5	2,603	12
Ш-2	6,1	$E = 0,3528\varphi - 3,1874$	0,353	3,187	26,32	24,7	-1,625	7
Ш-3	7,7	$E = 1,7229e^{0,0484\varphi}$	1,723	0,048	77,52	31,2	-46,324	148
Ш-3	7,1	$E = 8,1946\ln(\varphi) - 20,484$	8,195	20,484	28,97	30,3	1,334	4
Ш-3	6,5	$E = 0,0739\varphi^{1,3546}$	0,074	1,355	12,70	25,3	12,596	50
Ш-3	6,1	$E = 0,2945\varphi - 1,4788$	0,295	1,479	25,73	24,7	-1,034	4
Ш-4	7,8	$E = 1,7229e^{0,0484\varphi}$	1,723	0,048	78,01	31,4	-46,614	148
Ш-4	7,2	$E = 8,1946\ln(\varphi) - 20,484$	8,195	20,484	29,32	30,5	1,178	4
Ш-4	6,6	$E = 0,0739\varphi^{1,3546}$	0,074	1,355	12,80	25,4	12,599	50
Ш-4	6,3	$E = 0,2945\varphi - 1,4788$	0,295	1,479	26,41	25,1	-1,314	5

Таблица Ж.29 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 327 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi_{\text{расч.}}$ град.	$\varphi_{\text{экс.}}$ град.	$\Delta\varphi = \varphi_{\text{экс.}} - \varphi_{\text{расч.}}$	$\gamma = \frac{\Delta\varphi}{\varphi_{\text{экс.}}}$ , %
Ш-1	7,4	$E = 1,1245e^{0,0622\varphi}$	1,125	0,062	274,23	26,4	247,833	939
Ш-1	6,7	$E = 9,5542\ln(\varphi) - 25,254$	9,554	25,254	28,35	29,4	1,054	4
Ш-1	3,6	$E = 0,0221\varphi^{1,705}$	0,022	1,705	21,76	22,6	0,839	4
Ш-1	5,6	$E = 0,351\varphi - 3,2957$	0,351	3,296	25,34	24,2	1,144	5
Ш-2	8,0	$E = 1,1245e^{0,0622\varphi}$	1,125	0,062	284,92	31,8	253,115	796
Ш-2	6,6	$E = 9,5542\ln(\varphi) - 25,254$	9,554	25,254	28,05	29,2	1,149	4
Ш-2	5,2	$E = 0,0221\varphi^{1,705}$	0,022	1,705	26,15	27	0,846	3
Ш-2	6,1	$E = 0,351\varphi - 3,2957$	0,351	3,296	26,77	24,7	2,068	8
Ш-3	7,5	$E = 1,7944e^{0,0473\varphi}$	1,794	0,047	72,86	26,5	46,359	175
Ш-3	7,0	$E = 7,8948\ln(\varphi) - 19,443$	7,895	19,443	28,49	25,9	2,586	10
Ш-3	6,7	$E = 0,0812\varphi^{1,3289}$	0,081	1,329	12,07	25,4	13,329	52
Ш-3	6,1	$E = 0,283\varphi - 1,1049$	0,283	1,105	25,46	24,7	0,759	3
Ш-4	7,8	$E = 1,7944e^{0,0473\varphi}$	1,794	0,047	74,28	31,4	42,877	137
Ш-4	7,3	$E = 7,8948\ln(\varphi) - 19,443$	7,895	19,443	29,59	30,7	1,111	4
Ш-4	6,3	$E = 0,0812\varphi^{1,3289}$	0,081	1,329	11,71	25,1	13,395	53
Ш-4	6,0	$E = 0,283\varphi - 1,1049$	0,283	1,105	25,11	24,6	0,506	2

Таблица Ж.30 – Оценка точности моделирования параметра угла внутреннего трения  $\varphi$  на 334 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации E, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot \varphi}$ $E = c \cdot \ln(\varphi) - d$ $E = f \cdot \varphi^g$ $E = k \cdot \varphi - h$	a c f k	b d g h	$\varphi_{\text{расч.}}$ град.	$\varphi_{\text{экс.}}$ град.	$\Delta\varphi = \varphi_{\text{экс.}} - \varphi_{\text{расч.}}$	$\gamma = \frac{\Delta\varphi}{\varphi_{\text{экс.}}} \cdot 100\%$
Ш-1	7,9	$E = 1,4888e^{0,0514\varphi}$	1,489	0,051	101,04	31,6	69,441	220
Ш-1	6,9	$E = 9,0079\ln(\varphi) - 23,615$	9,008	23,615	29,59	29,8	0,206	1
Ш-1	5,7	$E = 0,0589\varphi^{1,4025}$	0,059	1,403	13,80	27,6	13,803	50
Ш-1	6,3	$E = 0,3299\varphi - 2,8746$	0,330	2,875	27,81	25,1	2,710	11
Ш-2	7,7	$E = 1,4888e^{0,0514\varphi}$	1,489	0,051	99,79	31,2	68,587	220
Ш-2	6,4	$E = 9,0079\ln(\varphi) - 23,615$	9,008	23,615	28,00	28,6	0,604	2
Ш-2	4,5	$E = 0,0589\varphi^{1,4025}$	0,059	1,403	12,26	26,2	13,941	53
Ш-2	5,6	$E = 0,3299\varphi - 2,8746$	0,330	2,875	25,69	24,2	1,488	6
Ш-3	7,7	$E = 1,8794e^{0,0441\varphi}$	1,879	0,044	73,36	31,2	42,159	135
Ш-3	7,3	$E = 7,8841\ln(\varphi) - 19,697$	7,884	19,697	30,70	30,7	0,001	0
Ш-3	7	$E = 0,115\varphi^{1,211}$	0,115	1,211	9,45	30	20,552	69
Ш-3	6	$E = 0,2873\varphi - 1,5096$	0,287	1,510	26,14	24,6	1,539	6
Ш-4	7,8	$E = 1,8794e^{0,0441\varphi}$	1,879	0,044	73,82	31,4	42,423	135
Ш-4	7,2	$E = 7,8841\ln(\varphi) - 19,697$	7,884	19,697	30,31	30,5	0,188	1
Ш-4	7	$E = 0,115\varphi^{1,211}$	0,115	1,211	9,45	30	20,552	69
Ш-4	6,4	$E = 0,2873\varphi - 1,5096$	0,287	1,510	27,53	25,2	2,331	9

Таблица Ж.31 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 20 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a * e^{b * C}$ $E = c * \ln(C) - d$ $E = f * C^g$ $E = k * C - h$	a c f k	b d g h	С <sub>расч</sub>	С <sub>экс</sub>	$\Delta C = C_{экс} - C_{расч}$	$\gamma = \Delta C / C_{экс}, \%$
Ш-1	8,4	$E = 1,6749e^{84,937C}$	1,675	84,937	0,05	0,019	0,030	156
Ш-1	6,1	$E = 8,3645 \ln(C) + 41,327$	8,365	41,327	290,04	0,016	290,028	1812678
Ш-1	4,8	$E = 1432,1C^{1,3006}$	1432,100	1,301	0,08	0,012	0,063	528
Ш-2	8,5	$E = 1,6749e^{84,937C}$	1,675	84,937	0,05	0,019	0,030	157
Ш-2	6,6	$E = 8,3645 \ln(C) + 41,327$	8,365	41,327	307,91	0,016	307,895	1924343
Ш-2	4,9	$E = 1432,1C^{1,3006}$	1432,100	1,301	0,08	0,013	0,063	485
Ш-3	8,5	$E = 2,8947e^{52,325C}$	2,895	52,325	0,04	0,018	0,020	114
Ш-3	7,1	$E = 5,399 \ln(C) + 29,09$	5,399	29,090	814,92	0,017	814,906	4793563
Ш-3	6,7	$E = 196,09C^{0,8158}$	196,090	0,816	0,15	0,016	0,135	843
Ш-3	6,9	$E = 347,8C + 1,1673$	347,800	1,167	0,02	0,017	0,006	36
Ш-4	6,8	$E = 2,8947e^{52,325C}$	2,895	52,325	0,03	0,015	0,019	130
Ш-4	6,4	$E = 5,399 \ln(C) + 29,09$	5,399	29,090	715,83	0,018	715,810	3976721
Ш-4	7,0	$E = 196,09C^{0,8158}$	196,090	0,816	0,15	0,017	0,137	807
Ш-4	5,5	$E = 347,8C + 1,1673$	347,800	1,167	0,02	0,013	0,006	48

Таблица Ж.32 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 44 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a * e^{b * C}$ $E = c * \ln(C) - d$ $E = f * C^g$ $E = k * C - h$	a c f k	b d g h	С <sub>расч</sub>	С <sub>экс</sub>	$\Delta C = C_{экс} - C_{расч}$	$\gamma = \Delta C / C_{экс}, \%$
Ш-1	7,0	$E = 1,0337e^{73,794C}$	1,034	73,794	0,80	0,024	0,772	3215
Ш-1	6,9	$E = 9,8399 \ln(C) + 42,913$	9,840	42,913	157,96	0,024	157,937	658071
Ш-1	6,3	$E = 3924,3C^{1,7329}$	3924,300	1,733	0,07	0,025	0,044	178
Ш-2	7,3	$E = 1,0337e^{73,794C}$	1,034	73,794	0,81	0,027	0,786	2910
Ш-2	7,1	$E = 9,8399 \ln(C) + 42,913$	9,840	42,913	161,20	0,027	161,177	596954
Ш-2	6,2	$E = 3924,3C^{1,7329}$	3924,300	1,733	0,07	0,024	0,045	187
Ш-3	7,5	$E = 1,3216e^{63,459C}$	1,322	63,459	0,11	0,028	0,086	307
Ш-3	7,4	$E = 9,041 \ln(C) + 39,911$	9,041	39,911	187,34	0,028	187,315	668981
Ш-3	6,7	$E = 1933,9C^{1,544}$	1933,900	1,544	0,09	0,025	0,066	264
Ш-4	7,4	$E = 1,3216e^{63,459C}$	1,322	63,459	0,11	0,028	0,085	304
Ш-4	7,2	$E = 9,041 \ln(C) + 39,911$	9,041	39,911	183,24	0,027	183,217	678581
Ш-4	6,9	$E = 1933,9C^{1,544}$	1933,900	1,544	0,09	0,026	0,066	255

Таблица Ж.33 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления  $C$  на 72 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации $E$ , МПа	$E = a \cdot e^b \cdot C$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{\text{расч}}$	$C_{\text{экс}}$	$\Delta C = C_{\text{экс}} - C_{\text{расч}}$	$\gamma = \Delta C / C_{\text{экс}}, \%$
Ш-1	4,8	$E = -107,895 \cdot C + 8,387$	107,895	8,387	0,12	0,021	0,143	682
Ш-2	3,7	$E = -107,895 \cdot C + 8,387$	107,895	8,387	0,11	0,019	0,131	690
Ш-3	6,3	$E = -108,034 \cdot C + 8,716$	108,034	8,716	0,14	0,024	0,163	679
Ш-4	6,8	$E = -108,034 \cdot C + 8,716$	108,034	8,716	0,14	0,024	0,168	698

Таблица Ж.34 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления  $C$  на 156 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации $E$ , МПа	$E = a \cdot e^b \cdot C$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{\text{расч}}$	$C_{\text{экс}}$	$\Delta C = C_{\text{экс}} - C_{\text{расч}}$	$\gamma = \Delta C / C_{\text{экс}}, \%$
Ш-1	3,4	$E = 39,548 \cdot C + 4,637$	39,548	4,637	0,20	0,024	0,179	747
Ш-2	3,7	$E = 39,548 \cdot C + 4,637$	39,548	4,637	0,21	0,020	0,191	954
Ш-3	6,9	$E = -86,068 \cdot C + 8,216$	86,068	8,216	0,18	0,026	0,202	776
Ш-4	6,4	$E = -86,068 \cdot C + 8,216$	86,068	8,216	0,17	0,024	0,194	808

Таблица Ж.35 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 171 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot C}$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{\text{расч}}$	$C_{\text{экс}}$	$\frac{\Delta C}{C_{\text{расч}}} = \frac{C_{\text{экс}} - C_{\text{расч}}}{C_{\text{расч}}}$	$\gamma = \frac{\Delta C}{C_{\text{экс}}}, \%$
Ш-1	7,2	$E = 2,0345e^{39,93C}$	2,035	39,930	0,07	0,032	0,038	118
Ш-1	5,9	$E = 5,8404 \ln(C) + 27,253$	5,840	27,253	291,92	0,027	291,897	1081101
Ш-1	3,7	$E = 275,61C^{1,0565}$	275,610	1,057	0,12	0,020	0,102	512
Ш-1	5,8	$E = 222,59C + 0,0712$	222,590	0,071	0,03	0,022	0,004	20
Ш-2	7,2	$E = 2,0345e^{39,93C}$	2,035	39,930	0,07	0,032	0,038	118
Ш-2	5,2	$E = 5,8404 \ln(C) + 27,253$	5,840	27,253	258,95	0,026	258,925	995867
Ш-2	4,9	$E = 275,61C^{1,0565}$	275,610	1,057	0,14	0,022	0,119	540
Ш-2	6,3	$E = 222,59C + 0,0712$	222,590	0,071	0,03	0,024	0,005	19
Ш-3	7,5	$E = 2,2812e^{39,031C}$	2,281	39,031	0,06	0,028	0,035	124
Ш-3	6,8	$E = 6,0031 \ln(C) + 28,34$	6,003	28,340	348,54	0,026	348,509	1340421
Ш-3	6,4	$E = 291,08C^{1,048}$	291,080	1,048	0,16	0,024	0,131	548
Ш-3	6,3	$E = 225,11C + 0,5254$	225,110	0,525	0,03	0,024	0,006	26
Ш-4	7,4	$E = 2,2812e^{39,031C}$	2,281	39,031	0,06	0,028	0,034	122
Ш-4	7,1	$E = 6,0031 \ln(C) + 28,34$	6,003	28,340	366,40	0,027	366,369	1356922
Ш-4	6,9	$E = 291,08C^{1,048}$	291,080	1,048	0,16	0,026	0,135	521
Ш-4	6,1	$E = 225,11C + 0,5254$	225,110	0,525	0,03	0,022	0,007	34

Таблица Ж.36 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 180 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot C}$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{\text{расч}}$	$C_{\text{экс}}$	$\frac{\Delta C}{C_{\text{расч}}} = \frac{C_{\text{экс}} - C_{\text{расч}}}{C_{\text{расч}}}$	$\gamma = \frac{\Delta C}{C_{\text{экс}}}, \%$
Ш-1	7,3	$E = -20,732 \cdot C + 6,359$	-20,732	6,359	0,66	0,028	0,687	2453
Ш-2	8,2	$E = -20,732 \cdot C + 6,359$	-20,732	6,359	0,70	0,020	0,722	3611
Ш-3	8,2	$E = -84,135 \cdot C + 8,296$	-84,135	8,296	0,20	0,020	0,216	1080
Ш-4	7,7	$E = -84,135 \cdot C + 8,296$	-84,135	8,296	0,19	0,019	0,209	1101

Таблица Ж.37 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 182 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot C}$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{расч}$	$C_{экс}$	$\frac{\Delta C}{C_{расч}} = C_{экс} - C_{расч}$	$\gamma = \frac{\Delta C}{C_{экс}}, \%$
Ш-1	7,2	$E = 1,5511e^{54,883C}$	1,551	54,883	0,08	0,028	0,054	193
Ш-1	5,9	$E = 8,0796 \ln(C) + 36,077$	8,080	36,077	180,45	0,022	180,424	820108
Ш-1	3,7	$E = 912,19C^{1,3547}$	912,190	1,355	0,09	0,021	0,065	311
Ш-2	7,2	$E = 1,5511e^{54,883C}$	1,551	54,883	0,08	0,028	0,054	193
Ш-2	5,2	$E = 8,0796 \ln(C) + 36,077$	8,080	36,077	165,47	0,023	165,447	719337
Ш-2	4,9	$E = 912,19C^{1,3547}$	912,190	1,355	0,10	0,024	0,075	314
Ш-3	6,3	$E = 78,400 \cdot C + 4,563$	78,400	4,563	0,14	0,024	0,115	477
Ш-4	6,1	$E = 78,400 \cdot C + 4,563$	78,400	4,563	0,14	0,022	0,114	518

Таблица Ж.38 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 201 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot C}$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{расч}$	$C_{экс}$	$\frac{\Delta C}{C_{расч}} = C_{экс} - C_{расч}$	$\gamma = \frac{\Delta C}{C_{экс}}, \%$
Ш-1	4,3	$E = -47,314 \cdot C + 6,382$	-47,314	6,382	0,23	0,025	0,251	1003
Ш-2	3,9	$E = -47,314 \cdot C + 6,382$	-47,314	6,382	0,22	0,025	0,242	969
Ш-3	6,9	$E = -54,989 \cdot C + 7,359$	-54,989	7,359	0,26	0,026	0,285	1097
Ш-4	6,6	$E = -54,989 \cdot C + 7,359$	-54,989	7,359	0,25	0,025	0,279	1115

Таблица Ж.39 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 205 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot C}$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{расч}$	$C_{экс}$	$\frac{\Delta C}{C_{расч}} = C_{экс} - C_{расч}$	$\gamma = \frac{\Delta C}{C_{экс}}, \%$
Ш-1	7,3	$E = 1,4039e^{58,807C}$	1,404	58,807	0,10	0,028	0,072	256
Ш-1	6,1	$E = 8,1832 \ln(C) + 36,466$	8,183	36,466	181,57	0,022	181,546	825211
Ш-1	3,7	$E = 1273,7C^{1,4451}$	1273,700	1,445	0,08	0,020	0,058	289
Ш-2	7,5	$E = 1,4039e^{58,807C}$	1,404	58,807	0,10	0,028	0,073	261
Ш-2	6,2	$E = 8,1832 \ln(C) + 36,466$	8,183	36,466	183,80	0,023	183,778	799034
Ш-2	4,6	$E = 1273,7C^{1,4451}$	1273,700	1,445	0,09	0,025	0,062	247
Ш-3	6,2	$E = 121,238 \cdot C + 3,507$	121,238	3,507	0,08	0,023	0,057	248
Ш-4	5,6	$E = 121,238 \cdot C + 3,507$	121,238	3,507	0,08	0,023	0,052	227

Таблица Ж.40 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 226 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^b \cdot C$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{расч}$	$C_{экс}$	$\Delta C = C_{экс} - C_{расч}$	$\gamma = \Delta C / C_{экс}, \%$
Ш-1	6,5	$E = 51,042 \cdot C + 5,163$	51,042	5,163	0,23	0,024	0,204	852
Ш-2	6,4	$E = 51,042 \cdot C + 5,163$	51,042	5,163	0,23	0,024	0,203	844
Ш-3	6,5	$E = -43,165 \cdot C + 7,750$	43,165	7,750	0,33	0,024	0,354	1476
Ш-4	6,5	$E = -43,165 \cdot C + 7,750$	43,165	7,750	0,33	0,025	0,355	1421

Таблица Ж.41 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 228 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^b \cdot C$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{расч}$	$C_{экс}$	$\Delta C = C_{экс} - C_{расч}$	$\gamma = \Delta C / C_{экс}, \%$
Ш-1	6,1	$E = 62,791 \cdot C + 4,500$	62,791	4,500	0,17	0,023	0,146	634
Ш-2	4,9	$E = 62,791 \cdot C + 4,500$	62,791	4,500	0,15	0,022	0,128	581
Ш-3	5,1	$E = 45,509 \cdot C + 5,262$	45,509	5,262	0,23	0,022	0,206	935
Ш-4	6,2	$E = 45,509 \cdot C + 5,262$	45,509	5,262	0,25	0,023	0,229	995

Таблица Ж.42 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 289 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^b \cdot C$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{расч}$	$C_{экс}$	$\Delta C = C_{экс} - C_{расч}$	$\gamma = \Delta C / C_{экс}, \%$
Ш-1	7,2	$E = -9,565 \cdot C + 6,244$	9,565	6,244	1,41	0,027	1,433	5306
Ш-2	7,8	$E = -9,565 \cdot C + 6,244$	9,565	6,244	1,47	0,019	1,487	7828
Ш-3	5,1	$E = -104,972 \cdot C + 8,669$	104,972	8,669	0,13	0,022	0,153	696
Ш-4	6,1	$E = -104,972 \cdot C + 8,669$	104,972	8,669	0,14	0,023	0,164	712

Таблица Ж.43 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 303 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot C}$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{расч}$	$C_{экс}$	$\frac{\Delta C}{C_{расч}}$ $= C_{экс} -$	$\gamma = \frac{\Delta C}{C_{экс}}, \%$
Ш-1	6,3	$E = -57,563 \cdot C + 7,432$	57,563	7,432	0,24	0,024	0,263	1094
Ш-2	6,1	$E = -57,563 \cdot C + 7,432$	57,563	7,432	0,24	0,023	0,258	1122
Ш-3	6,1	$E = -100,000 \cdot C + 8,675$	100,000	8,675	0,15	0,023	0,171	742
Ш-4	6,3	$E = -100,000 \cdot C + 8,675$	100,000	8,675	0,15	0,023	0,173	751

Таблица Ж.44 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 327 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot C}$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{расч}$	$C_{экс}$	$\frac{\Delta C}{C_{расч}}$ $= C_{экс} -$	$\gamma = \frac{\Delta C}{C_{экс}}, \%$
Ш-1	5,6	$E = 81,928 \cdot C + 4,552$	81,928	4,552	0,12	0,022	0,102	463
Ш-2	6,1	$E = 81,928 \cdot C + 4,552$	81,928	4,552	0,13	0,023	0,107	465
Ш-3	6,1	$E = 70,210 \cdot C + 4,989$	70,210	4,989	0,16	0,023	0,135	587
Ш-4	6,0	$E = 70,210 \cdot C + 4,989$	70,210	4,989	0,16	0,022	0,135	611

Таблица Ж.45 – Оценка точности моделирования параметра удельного сцепления С на 334 км а/д «К-17р»

№ Шурфа	Модуль деформации Е, МПа	$E = a \cdot e^{b \cdot C}$ $E = c \cdot \ln(C) - d$ $E = f \cdot C^g$ $E = k \cdot C - h$	a c f k	b d g h	$C_{расч}$	$C_{экс}$	$\frac{\Delta C}{C_{расч}}$ $= C_{экс} -$	$\gamma = \frac{\Delta C}{C_{экс}}, \%$
Ш-1	6,3	$E = 131,250 \cdot C + 4,078$	131,250	4,078	0,08	0,023	0,056	244
Ш-2	5,6	$E = 131,250 \cdot C + 4,078$	131,250	4,078	0,07	0,022	0,052	235
Ш-3	6,0	$E = 81,224 \cdot C + 5,220$	81,224	5,220	0,14	0,022	0,116	528
Ш-4	6,4	$E = 81,224 \cdot C + 5,220$	81,224	5,220	0,14	0,024	0,119	496