

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
Кафедра «Автомобильные дороги и городские сооружения»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.В.Серватинский
подпись инициалы, фамилия
«21» 06 20 17 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

08.03.01 «Строительство»

08.03.01.00.15 «Автомобильные дороги»

Статистический анализ зависимости водонасыщения асфальтобетона от
свойств асфальтобетонной смеси

Руководитель


подпись, дата

доцент, к.т.н.
должность, ученая степень

Н. А. Артемьева
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

Д. Ю. Симановский
инициалы, фамилия

Красноярск 2017 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт
Автомобильные дороги и городские сооружения

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



подпись инициалы, фамилия

« 1 » марта 20 12 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Симановскому Даниилу Юрьевичу

Группа ДС 13-11 Направление (специальность) 08.03.01.00.15

«Автомобильные дороги»

Тема выпускной квалификационной работы: Статистический анализ зависимости водонасыщения асфальтобетона от свойств асфальтобетонной смеси

Утверждена приказом по университету № 306962 от 30.05.17.

Руководитель ВКР Артемьева Н.А., канд.техн.наук, доцент кафедры АД и ГС ИСИ СФУ

Исходные данные для ВКР : результаты испытаний лаборатории Ачинского ДРСУ за период июнь-август 2016г.

Перечень разделов ВКР: исследуемые материалы, методики исследования и свойства материалов, статистический анализ зависимости влияния свойств щебня на физико-механические свойства асфальтобетона.

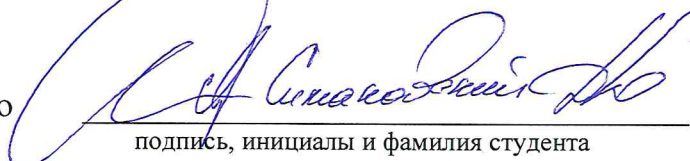
Перечень графического материала: свойства исходных материалов для получения асфальтобетона, матрица планирования и уравнения регрессии, функция желательности Е.К.Харингтона для $Y_2(X_4, X_5, X_6)$ и $Y_4(X_4, X_5, X_6)$, Функция желательности Е.К.Харингтона для $Y_2(X_1, X_2, X_3)$ и $Y_4(X_1, X_2, X_3)$

Руководитель ВКР


подпись


инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению


подпись, инициалы и фамилия студента

« 1 » сентября 2017 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
Кафедра «Автомобильные дороги и городские сооружения»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.В.Серватинский
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 20 ____ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

08.03.01 «Строительство»

08.03.01.00.15 «Автомобильные дороги»

Статистический анализ зависимости водонасыщения асфальтобетона от
свойств асфальтобетонной смеси

Руководитель _____ доцент, к.т.н. Н. А. Артемьева
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ Д. Ю. Симановский
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2017 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 Исследуемые материалы	12
1.1 Песок	12
1.2 Битум	13
1.3 Щебень	14
1.4 Минеральная добавка	17
1.5 Препарат ДАД-1	17
1.6 Топсел	18
2 Методики исследования. Свойства материалов	20
2.1 Методики испытания песка и его свойства	20
2.1.1 Зерновой состав песка	20
2.1.2 Содержание пылевидных и глинистых частиц	21
2.1.3 Модуль крупности	21
2.2 Методика испытания щебня	22
2.2.1 Зерновой состав щебня	22
2.2.2 Содержание зерен лещадной формы	23
2.2.3 Содержание зерен слабых пород	23
2.2.4 Содержание пылевых и глинистых частиц	24
2.2.5 Прочность щебня	25
2.2.5.1 Дробимость	25
2.2.5.2 Истираемость	25
2.2.6 Морозостойкость	26
2.3 Методика испытания битума	26
2.3.1 Растяжимость битума	27
2.3.2 Температура размягчения	27
2.3.3 Изменение температуры размягчения после прогрева	28
2.3.4 Глубина проникания иглы	29
2.3.5 Сцепление с мрамором или песком	30
2.3.6 Температура хрупкости	31

2.3.7 Температура вспышки	31
2.4Подбор состава асфальтобетона	32
2.5Методики определения свойств асфальтобетонной смеси и асфальтобетона.	34
Свойства асфальтобетона	
2.5.1 Методики определения	34
2.5.1.1 Плотность асфальтобетона	35
2.5.1.2 Водонасыщение	35
2.5.1.3 Предел прочности при сжатии	36
2.5.1.4 Коэффициент уплотнения	36
2.5.2 Свойства асфальтобетонной смеси и асфальтобетона	36
2.5.2.1 Результаты испытаний образцов в лаборатории	38
2.5.2.2 Результаты испытаний образцов-вырубок из асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги	41
3 Статистический анализ зависимости влияния свойств щебня на физико-механические свойства асфальтобетона	41
3.1Зависимость плотности и водонасыщения асфальтобетона от свойств щебня методом планирования эксперимента.....	42
3.2Математический анализ зависимости водонасыщения от физико-механических свойств асфальтобетонной смеси.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55
СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	56

Введение

Качество дорог – первое, что волнует каждого, кто садится за руль. Транспортная нагрузка с каждым годом увеличивается, что и приводит к ускоренному износу дорожного полотна. Немаловажным условием износостойкости является и соответствие покрытия нормативным значениям, так как, это влияет на количество и тяжесть дорожно-транспортных происшествий, повышение колебания, среднюю скорость движения транспортного потока, интенсивное разрушение покрытия при отрицательных температурах, вымывание битума и потеря заполнителя. Снижение срока службы дорожного покрытия ведет и к снижению межремонтного срока автомобильной дороги, что в свою очередь обуславливает значительно увеличение материальных, трудовых и энергетических ресурсов, выделяемых на ремонт.

Введенные в действие Минавтодором РСФСР в 1988 году региональные и отраслевые нормы межремонтных сроков службы нежестких дорожных одежд и покрытий ВСН 41-88 отражали состояние дорожных условий тех лет. Данные требования соответствовали прежним условиям обеспеченности ресурсами. С течением времени менялось экономическое, техническое и технологическое состояние отрасли, что требовало изменений норм межремонтных сроков автомобильных дорог. По заказу Федерального дорожного агентства были разработаны новые межремонтные сроки службы нежестких дорожных одежд и покрытий с учетом изменившихся требований к транспортно-эксплуатационному состоянию дорог по условиям движения и введенных в действие новых нормативных актов. По результатам работы был составлен приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 1 ноября 2007 года №157 «О реализации постановления Правительства Российской Федерации от 23 августа 2007 №539 «О нормативах денежных затрат на содержание и ремонт автомобильных дорог федерального значения и правилах их расчета» », где установлены действующие по настоящий

момент межремонтные сроки проведения капитального ремонта и ремонта федеральных автомобильных дорог. Приказ гласит, что межремонтные сроки проведения капитального ремонта нежестких дорожных одежд капитального типа автомобильных дорог I – IV технической категории составляют от 12 до 18 лет. Межремонтные сроки проведения работ по ремонту капитальных нежестких, капитальных жестких с асфальтобетонным покрытием и облегченных дорожных одежд составляют от 3 до 8 лет.

Для увеличения межремонтных сроков работ, улучшения качества покрытий автомобильных дорог и повышения безопасности движения, прибегают к относительно изученному методу – использование в составе смесей различных модификаторов.

Ни для кого не секрет, что качество автомобильной дороги кроме прочих критериев напрямую зависит от качества исходного материала. Материал, поступающий на асфальтобетонный завод, подлежит входному контролю качества и лабораторным исследованиям. Для этого существует государственный стандарт - ГОСТ 12801-98. «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний». Одним из критериев оценки качества асфальтобетонной смеси и готового асфальтобетона контролируемого согласно ГОСТ являются коэффициенты уплотнения и водонасыщения. Оба коэффициента напрямую влияют на качество и срок службы автомобильной дороги. Чем качественнее будет асфальтобетонное покрытие, тем меньше средств придется затратить на содержание и последующий ремонт. Качественное полотно будет меньше подвержено износу, тем самым, уменьшая запыляемость, выкрашивание щебня, выкатывание вяжущего и т.д. Увеличение межремонтных сроков позволит сократить затраты на ремонт и эксплуатацию, сэкономить природные и энергетические ресурсы, а также сократить концентрацию вредных веществ в воздухе от выхлопных газов и испарений в местах проведения ремонтных работ.

На данный момент, было проведено множество исследований об оказании влияния добавок на качество асфальтобетона [16], но не рассматривались показатели исходных материалов в свете того же вопроса. Исходный материал всегда проходит проверку согласно методикам ГОСТа, который дает границы факторов пригодности. О качестве асфальтобетона судят по его водонасыщению и пористости, исследуемым экспериментальным путем, но мы предлагаем новую методику. При помощи математического анализа, уравнений регрессии и функции желательности, найти зависимость влияния свойств исходного материала на показатель водонасыщения асфальтобетона.

Цель работы. Статистический анализ данных физико-механических свойств исходных материалов, полученных на их основе асфальтобетонных смесей и свойств готового асфальтобетона, уложенного в покрытие автомобильной дороги. Поиск зависимости влияния качества материала на итоговый продукт.

Задачи исследования:

1. Проанализировать статистические данные физико-механических свойств исходного материала, асфальтобетонной смеси, полученной на их основе, а так же, свойства готового асфальтобетона, уложенного в покрытие автомобильной дороги;
2. Установить регрессионные зависимости плотности и водонасыщения асфальтобетона от свойств исходных материалов методом планирования эксперимента;
3. Провести анализ уравнений регрессии, полученных на основе обработки результатов исследования лаборатории и проб, взятых на участке;
4. Провести математический анализ зависимости водонасыщения от физико-механических свойств асфальтобетонной смеси материала;

Практическое значение:

1. Результаты исследования позволят сделать вывод о целесообразности использования материалов с другими физико-механическими характеристиками при уже существующем рецепте асфальтобетонной смеси;

2. На основе полученных результатов могут быть проведены дальнейшие исследования влияния и зависимостей других характеристик исходных материалов, на показатели качества асфальтобетонного покрытия.

Объект исследования. Ремонтный участок автомобильной дороги Р-255 «Сибирь», км 656+000 – 664+000, ремонт которого производился подрядной организацией Ачинское ДРСУ. Для статистического анализа были взяты результаты лабораторных испытаний физико-механических свойств щебня, песка, битума и асфальтобетонной смеси полученной на их основе, разработанной лабораторией подрядной организации и вырубок кернов из готового покрытия. Все исследования проводились по стандартным методикам, согласно требованиям соответствующих гостов в течении всего периода ремонта. Был проведен анализ данных за три месяца ежедневных отборов проб и проведения испытаний.

Глава 1

Исследуемые материалы

В настоящей работе были использованы следующие материалы: песок из отсевов дробления карьера «Мазульский»; битум вязкий марки БНД 90/130; щебень фр.5-10 из карьера «Владимировский»; щебень фр.10-15 из карьера «Владимировский»; щебень фр.15-20 из карьера «Владимировский».

1.1 Песок

Для исследования был испытан песок из отсевов дробления карьера «Мазульский». Место отбора: бурт ДСК. Песок завода изготовителя ГП КК «Ачинское ДРСУ». Дата отбор/испытания: 01.02.2016/01.02.2016.

Таблица 1 - Физико-механические показатели

Наименование показателей	Норма по 31424-2010	Фактические показатели
Модуль крупности песка	Св. 3,5	3,74
Группа песка	Очень крупный	Очень крупный
Содержание зерен крупностью Свыше 10мм Свыше 5мм Менее 0,16мм	Не более 5% Не более 15% Не норм. ГОСТ 31015-2002	0,3 9,8 8,8
Полный остаток на сите 0,63	Св.75%	81,3
Класс песка		
Содержание пылевидных и глинистых частиц %, не более	Не норм. ГОСТ 31015-2002	7,3
Содержание зерен лещадной формы, %	До 25%	16,4
Содержание глинистых частиц методом набухания %, не более	По ГОСТ 31015-2002 не более 0,5	0,2
Содержание глины в комках, %	Не более 0,2	0
Марка по прочности	ГОСТ 31015-2002	

Наименование показателей	Норма по 31424-2010	Фактические показатели
песка из отсевов дробления, не менее	1000	1000
Плотность, г/см ³ Истинная Насыпная		2,74 1,46

Таблица 2 - Зерновой состав

Наименование остатков, %	Размер сит, мм								
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	<0,071
Частные	0,3	9,8	44	14,9	14,2	5,9	2,1	1,5	7,3
Прошло сито	99,7	89,9	45,9	31	16,8	10,9	8,8	7,3	0
Полные	0,3	10,1	54,1	69	83,2	89,1	91,2	92,7	100

Отсев(песок, || класса), отвечает требованиям ГОСТ 31424-2010, ГОСТ 31015-2002.

1.2 Битум

Для исследования был взят битум вязкий марки БНД 90/130 завода изготовителя Ачинский НПЗ. Место отбора: АБЗ. Дата отбора/испытания: 01.09.2016/01.09.2016.

Таблица 3 - Свойства битума

Наименование показателей	Норма по ГОСТ 22245-90	Фактические показатели	ГОСТ на испытания
Марка битума		БНД 90/130	
Глубина проникания иглы, 0,1мм При 25С При 0С	91-130 не менее 28	120 34	11501
Растяжимость, см При 25С При 0С	Не менее 65 Не менее 4	93 5,4	11505
Температура размягчения по КиШ, С	Не ниже 43	45	11506
Температура вспышки, С	Не ниже 230	305	11507

Наименование показателей	Норма по ГОСТ 22245-90	Фактические показатели	ГОСТ на испытания
Температура хрупкости, С	Не выше -17	-22	4333
Индекс пенитрации	От -0,1 до +0,1	-0,2	22245-90, Прил.2

Битум БНД 90/130 соответствует требованиям ГОСТ 22245-90, ГОСТ 31015-2002.

1.3 Щебень

Для исследования был испытан щебень фр.5-10 из карьера «Владимировский» завода изготовителя ГП КК «Ачинское ДРСУ». Место отбора: бурт ДСК. Дата отбора/испытания: 20.02.2016/20.02.2016.

Таблица 4 - Физико-механические показатели

Наименование показателей	Норма по ГОСТ 8267-93	Фактические показатели
Зерновой состав, полные остатки на ситах d5 0.5(d/D)7.5 D10 1.25 D 12.5	90-100 30-60 До 10 До 0,5	99.3 59 5,8 0
Марка по дробимости	Не ниже 1000 по ГОСТ 31015-2002	1400
Содержание зерен лещадной формы, %	Не более 15 по ГОСТ 31015-200	7,5
Марка по истираемости	Не ниже И1 по ГОСТ 31015-2002	И1
Марка по морозостойкости	Не ниже F50 по ГОСТ 31015-200	F50
Содержание пылевидных и гл. частиц, %	Не более 1	0,7
Содержание глины в комках, %	Не более 0,25	Отсутствует
Плотность, г/см ³ Истинная Насыпная	Не норм.	2,76 1,42

Таблица 5 - Зерновой состав

Наименование остатков, %	Размер сит, мм						
	12,5	10	7,5	5	2,5	<2.5	<0,071
Частные	0	5,8	53,2	40,3	0	0	0,7
Прошло сито	100	94,2	41	0,7	0,7	0,7	0
Полные	0	5,8	59	99,3	99,3	99,3	100

Щебень, фракции 5-10, отвечает требованиям ГОСТ 8267-93, ГОСТ 31015-2002.

Для исследования был испытан щебень фр.10-15 из карьера «Владимировский» завода изготовителя ГП КК «Ачинское ДРСУ». Место отбора: бурт ДСК. Дата отбора/испытания: 20.02.2016/20.02.2016.

Таблица 6 - Физико-механические показатели

Наименование показателей	Норма по ГОСТ 8267-93	Фактические показатели
Зерновой состав, полные остатки на ситах d10 0.5(d/D)12.5 D15 1.25 D 20	90-100 30-60 До 10 До 0,5	98,2 59,6 9,2 0
Марка по дробимости	Не ниже 1000 по ГОСТ 31015-2002	1400
Содержание зерен лещадной формы, %	Не более 15 по ГОСТ 31015-200	9,1
Марка по истираемости	Не ниже И1 по ГОСТ 31015-2002	И1
Марка по морозостойкости	Не ниже F50 по ГОСТ 31015-200	F50
Содержание пылевидных и гл. частиц, %	Не более 1	0,3
Содержание глины в комках, %	Не более 0,25	Отсутствует
Плотность, г/см ³ Истинная Насыпная	Не норм.	2,76 1,42

Таблица 7 - Зерновой состав

Наименование остатков, %	Размер сит, мм					
	20	15	12,5	10	<10	<0,071
Частные	0	9,2	50,4	38,6	1,5	0,3
Прошло сито	100	90,8	40,4	1,8	0,3	0
Полные	0	9,2	59,6	98,2	99,7	100

Щебень, фракции 10-15, отвечает требованиям ГОСТ 8267-93, ГОСТ 31015-2002

Для исследования был испытан щебень фр.15-20 из карьера «Владимировский» завода изготовителя ГП КК «Ачинское ДРСУ». Место отбора: бурт ДСК. Дата отбора/испытания: 20.02.2017/20.02.2017.

Таблица 8 - Физико-механические показатели

Наименование показателей	Норма по ГОСТ 8267-93	Фактические показатели
Зерновой состав, полные остатки на ситах d15 0.5(d/D)17.5 D20 1.25 D 25	90-100 30-60 До 10 До 0,5	96,8 56,2 2 0
Марка по дробимости	Не ниже 1000 по ГОСТ 31015-2002	1400
Содержание зерен лещадной формы, %	Не более 15 по ГОСТ 31015-200	7,1
Марка по истираемости	Не ниже И1 по ГОСТ 31015-2002	И1
Марка по морозостойкости	Не ниже F50 по ГОСТ 31015-200	F50
Содержание пылевидных и гл. частиц, %	Не более 1	0,8
Содержание глины в комках, %	Не более 0,25	Отсутствует
Плотность, г/см ³ Истинная Насыпная	Не норм.	2,76 1,42

Таблица 9 - Зерновой состав

Наименование остатков, %	Размер сит, мм					
	25	20	17,5	15	<15	<0,071
Частные	0	2	54,2	40,6	2,4	0,8
Прошло сито	100	98	43,8	3,2	0,8	0
Полные	0	2	56,2	96,8	99,2	100

Щебень, фракции 15-20, отвечает требованиям ГОСТ 8267-93, ГОСТ 31015-2002.

1.4 Минеральная добавка

Для исследования был испытан активированный минеральный порошок МП-1 завода изготовителя ГП КК «Ачиснкое ДРСУ». Место обора: ДСК. Дата отбора/испытания: 01.02.2016/01.02.2016.

Таблица 10 - Физико-механические показатели

Наименование показателей	Норма по ГОСТ Р 52129-2003	Фактические показатели
Зерновой состав, % по массе		
Мельче 1,25 мм	Не менее 100	100
0,315	Не менее 90	100
0,071	Не менее 80	95,5
Истинная плотность	Не норм.	2,72
Пористость, %	Не более 30	22
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %	Не более 1,8	1,1
Влажность, % по массе	Не нормируется	0,1

Активированный минеральный порошок МП-1 соответствует требованиям ГОСТ Р 52129-2003.

1.5 Препарат ДАД-1

Техническая информация: Адгезионная добавка ДАД-1 производится научно-производственной компанией ООО «Селена» г. Шебекино, в соответствии с ТУ 0257-028-22320188-2005, Санитарно-эпидемиологическим заключением №31.БО.17.025.П000443.03.08 и Экспертным заключением Белгородского центра стандартизации, метрологии и сертификации № 4.5/1160 от 03.03.2008г.

АД ДАД-1 – вязко-текучая (марка А) или пастообразная (марка Б) масса от коричневого до темно-коричневого цвета. Показатель сцепления

битумов с поверхностью кислых минеральных материалов при содержании присадки ДАД-1 в битуме 0,3-1% мас. – составляет 80-100% (соответствует контрольному образцу №1 ГОСТ 11508). Концентрация добавки подбирается по результатам предварительных лабораторных испытаний для конкретного состава асфальтобетонной смеси.

Препарат ДАД-1 соответствует требованиям, указанным в таблице 11.

Таблица 11 - Технические требования к адгезионной добавке «Препарат ДАД-1»

Наименование показателя	Значение показателя для марки	
	А,С	Б
Внешний вид и цвет	Вязко-текучая масса коричневого и темно-коричневого цвета	Мазеобразная или твердая масса коричневого цвета
Массовая доля воды и легколетучих веществ, % масс, не более	2	3
Показатель сцепление битума БНД 60/90 с поверхностью каменного материала при содержании адгезива 0,3-0,8%, бал, не менее	4	4

1.6 Топсел

Завод изготовитель ООО «Компания Би Эй Ви». Данные из паспорта качества, представленном изготовителем.

Таблица 12 – Физико-механические свойства добавки

Наименование показателей	Характеристики добавки	Методы испытаний
Внешний вид	Цилиндрические гранулы	Визуально
Цвет	Темно-серый	Визуально
Насыпная плотность, кг/м ³	420-480	ГОСТ31015-2002
Показатель стекания вяжущего, % по массе, не более	0,2	ГОСТ31015-2002
Влажность,% по массе, не более	8	ГОСТ31015-2002
Теплостойкость при	7	ГОСТ31015-2002

температуре 220 ⁰ С, изменение массы при прогреве в %, не более		
Отклонение массы материала в упаковке, в % по массе, не более	В пределах (-3/+5)	ТУ5711-001-38956563- 2003
Целостность упаковки	Отсутствие механических повреждений	Визуально

Стабилизирующая добавка Топсел соответствует требованиям нормативной документации ТУ5711-001-38956563-2003, ГОСТ31015-2002.

Глава 2

Методики исследования. Свойства материалов

Разработка методики исследования в соответствии с поставленной задачей и возможностью поиска. Правильно подобранная методика позволяет с наибольшей достоверностью исследовать сложные и многофункциональные объекты. Применение ряда методов позволяет всесторонне изучить исследуемую проблему, все ее аспекты и параметры.

В нашем исследовании мы использовали такие методы, как эксперимент, теоретический анализ, математический и статистический метод.

Эксперимент – проверка той или иной теории, способа действия для установки его эффективности.

Теоретический анализ — это выделение и рассмотрение отдельных сторон, признаков, особенностей, свойств явлений. Анализируя отдельные факты, группируя, систематизируя их, мы выявляем в них общее и особенное, устанавливаем общий принцип или правило. Анализ сопровождается синтезом, он помогает проникнуть в сущность изучаемых явлений.

Математические и статистические методы применяются для обработки полученных данных методами опроса и эксперимента, а также для установления количественных зависимостей между изучаемыми явлениями. Они помогают оценить результаты эксперимента, повышают надежность выводов, дают основания для теоретических обобщений. Для проведения подсчетов имеются соответствующие формулы, применяются справочные таблицы. Результаты, обработанные с помощью этих методов, позволяют показать количественную зависимость в виде графиков, диаграмм, таблиц.

2.1 Методика испытания песка и его свойства

Физико-механические свойства песка определяли по ГОСТ8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний (с изменениями)». Были проанализированы и выведены средние значения по данным за три месяца ежедневных отборов проб и проведений испытаний лаборатории Ачинского ДРСУ. Были проведены испытания на зерновой состав, на содержание пылевидных и глинистых частиц, на модуль упругости.

2.1.1 Зерновой состав песка

Для испытания песка используют сита с отверстиями размером: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. При просеивании через такой набор сит песок разделяется на фракции: 5...2,5; 2,5...1,25; 1,25...0,63; 0,63...0,315 и 0,315...0,16 мм.

Зерновой состав песка определяют следующим образом. Пробу песка массой 2 кг высушивают до постоянной массы, после чего просеивают сквозь два сита с круглыми отверстиями диаметром 10 и 5 мм.

Из пробы песка, прошедшего сквозь указанные сита, отбирают навеску 1000 г для определения зернового состава песка без гравия. Эту навеску просеивают ручным или механическим способом через набор сит с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и с сетками №1,25; 0,63; 0,315 и 0,16.

Продолжительность просеивания любым способом должна быть такой, чтобы при контрольном ручном просеивании каждого сита в течение 1 мин через него проходило не более 0,1% общей массы просеиваемой навески (1 г). При ручном просеивании его окончание допускается определять упрощенным способом. Каждое сито интенсивно трясут над листом бумаги. Просеивание считается законченным, если при этом практически не наблюдается падение зерен песка.

Затем вычисляют с погрешностью не более 0,1% полные остатки на каждом сите. Полным называют остаток, который был бы на данном сите, если бы просеивание производилось только через него. [2]

2.1.2 Содержание пылевидных и глинистых частиц

Содержание пылевидных и глинистых частиц определяют по изменению массы песка после отмучивания частиц крупностью до 0,05 мм.

Аналитическую пробу песка просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм, песок, прошедший через сито, высушивают до постоянной массы и берут из него навеску массой 1000 г.

Навеску песка помещают в цилиндрическое ведро и заливают водой так, чтобы высота слоя воды над песком была около 200 мм. Залитый водой песок выдерживают в течение 2 ч, перемешивая его несколько раз, и тщательно отмывают от приставших к зернам глинистых частиц.

После этого содержимое ведра снова энергично перемешивают и оставляют в покое на 2 мин. Через 2 мин сливают сифоном полученную при промывке суспензию, оставляя слой ее над песком высотой не менее 30 мм. Затем песок снова заливают водой до указанного выше уровня. Промывку песка в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки будет оставаться прозрачной.[2]

После отмучивания промытую навеску высушивают до постоянной массы. Содержание в песке отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц ($P_{отм}$) в процентах по массе вычисляют по формуле

$$P_{отм} = \frac{m - m_1}{m} \times 100$$

где m — масса высушенной навески до отмучивания, г;

m_1 — масса высушенной навески после отмучивания, г.

2.1.3 Модуль крупности

Модуль крупности песка рассчитывают на основании данных его зернового состава по формуле

$$M_{кр} = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16})/100$$

где $A_{2,5}$; $A_{1,25}$; $A_{0,63}$; $A_{0,315}$; $A_{0,16}$ – полные остатки, %.

Физико-механические свойства песка представлены в таблице 13

Таблица 13 - Результаты испытания песка

Дата отбора проб	Зерновой состав, % остатка на ситах									Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Модуль крупности	Содержание глинистых частиц методом набухания, %
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0			
Июнь	100	100	87,85	76,75	31,4	27,2	21,5	17,75	11,9	11,9	3,02	0,2
Июль	100	100	86,7	76,8	32,9	27,33	21,23	17,17	11,47	11,47	3	0,2
Август	100	100	93,95	79,2	29,85	25,2	18,5	14,7	19,2	9,6	3,1	0,2

Испытанный песок соответствует требованиям и стандартам ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия(с поправкой)».

2.2 Методика испытания щебня

Физико-механические свойства щебня определяли по ГОСТ8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний». Были проанализированы и выведены средние значения по данным за три месяца ежедневных отборов проб и проведения испытаний лаборатории Ачинского ДРСУ. Были проведены испытания на зерновой состав, на содержание зерен лещадной формы, на содержание зерен слабых пород, на содержание пылевых и глинистых частиц, на прочность, на морозостойкость.

2.2.1 Зерновой состав щебня

Зерновой состав партии щебня определяется путем отсева пробы на стандартном наборе сит. Минимальная масса пробы для фракций щебня: до 10 мм – 5.0 кг, до 20 мм – 10.0 кг, до 40 мм – 20.0 кг, свыше 40 мм – 40.0 кг. Пробу щебня предварительно высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу. Отверстия стандартного набора сит: 1.25Д, Д, 0.5(Д+д), д, а также 2.5 и 1.25 мм. Сита устанавливают друг на друга в колонну, от большего к меньшему. Сита просеивают до тех пор, пока все меньшие фракции не пройдут через отдельно взятое сито.

По завершению просеивания определяют частный остаток на каждом из сит. Для этого делят массу остатка на каждом сите на начальную массу пробы и умножают на 100%. После определяют полный остаток на каждом сите в процентном отношении по массе от начальной пробы (должно получиться 100%). [3]

2.2.2 Содержание зерен лещадной формы

Из лабораторной пробы от каждой фракции испытываемого щебня берут аналитические пробы. Содержание зерен лещадной формы определяют отдельно для каждой фракции щебня. Аналитическую пробу взвешивают и из нее выбирают зерна, толщина которых меньше длины в три раза и более.

Соотношение размеров зерен определяют при помощи передвижного шаблона или штангенциркуля. При использовании шаблона измеряемое зерно вкладывают наибольшим размером между губками, положение шаблона фиксируют стопорным винтом и измеряют размер зерна, затем зерно пропускают наименьшим размером между губками шаблона, установленными на расстоянии в три раза меньшем. Если зерно пройдет между губками, то его относят к зернам лещадной формы. Зерна лещадной формы взвешивают. [3] Содержание в каждой фракции щебня зерен лещадной формы Π , %, определяют по формуле

$$\Pi = \frac{m_1}{m} \times 100$$

где m - масса аналитической пробы, г;

m_1 - масса зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, г.

2.2.3 Содержание зерен слабых пород

От каждой фракции щебня берут аналитическую пробу. Пробу высушивают до постоянной массы. Содержание в щебне зерен слабых пород определяют отдельно для каждой фракции щебня.

Проводят разборку пробы каждой фракции щебня, выделяя зерна слабых пород с пределом прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии менее 20 МПа (200 кгс/см²).

При выделении зерен слабых пород руководствуются следующими отличительными признаками: зерна слабых пород легко разламываются руками и разрушаются легкими ударами молотка. При царапании иглой по поверхности зерна остается след (на поверхности зерен изверженных и метаморфических пород оставляет след стальная игла, на поверхности зерен осадочных карбонатных пород - алюминиевая). Кроме того, слабые зерна карбонатных пород обычно имеют скатанную форму.

В целях уточнения содержания зерен слабых пород в щебне допускается использование механического индикатора прочности камня типа Т-3.

В зависимости от размера испытываемой фракции щебня (гравия) на приборе устанавливают сменный щелевой упор с шириной щели 2,9 мм для

зерен фракции св. 10 до 20 мм, 4,2 мм - для более крупных зерен. При этом расстояние между краем ребер щелевого упора и осью, проходящей через острие зубьев прибора, должно быть равно ширине щели.

Каждое выделенное при разборке пробы щебня сомнительное по прочности зерно вставляют клиновидным концом между зубьями прибора до щелевого упора. После этого вращением диска винтового механизма прибора сжимают зубья и «откусывают» кусочек камня. По контрольной стрелке манометра определяют предел прочности камня. Шкала манометра градуирована для случая применения упора со щелью шириной 4,2 мм; при применении упора со щелью 2,9 мм показания манометра удваивают. [3]

Выделенные из пробы зерна слабых пород взвешивают и определяют их содержание $X_{сл}$, %, по формуле

$$X_{сл} = \frac{m_1}{m} \times 100$$

где m - масса аналитической пробы, г;

m_1 - масса зерен слабых пород, г.

2.2.4 Содержание пылевых и глинистых частиц

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне определяют по изменению массы пробы после отмучивания пылевидных и глинистых частиц. Берут аналитическую пробу щебня массой не менее 5 кг, высушенную до постоянной массы. При этом для испытания щебня фракции от 5 до 10 мм используют целиком пробу, применяемую при определении зернового состава. Пробу щебня помещают в сосуд для отмучивания или ведро, заливают водой несколько выше уровня щебня и оставляют в таком состоянии до полного размокания глинистой пленки (определяется визуально) на зернах щебня или комков глины, если они имеются в пробе. После этого в сосуд или ведро со щебнем доливают воду в таком количестве, чтобы высота слоя воды над щебнем была 200 мм; содержимое сосуда перемешивают деревянной мешалкой и оставляют в покое на 2 мин. Через 2 мин сливают полученную суспензию. При сливе суспензии необходимо оставлять слой ее над щебнем высотой не менее 30 мм. Затем щебень вновь заливают водой до указанного выше уровня. Промывку щебня в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки не будет оставаться прозрачной. Воду в сосуд для отмучивания щебня наливают до верхнего сливного отверстия. Суспензию сливают через два нижних отверстия. Из ведра суспензию сливают с помощью сифона, конец которого должен быть на расстоянии не менее 30 мм от поверхности щебня. После отмучивания промытую пробу высушивают до постоянной массы. [3]

Содержание в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц Π , % по массе, определяют с точностью до 0,1 % по формуле

$$\Pi = \frac{m - m_1}{m} \times 100$$

где m — первоначальная масса пробы, г;

m_1 — масса пробы после отмучивания, г.

2.2.5 Прочность щебня

2.2.5.1 Дробимость

Дробимость щебня и гравия определяют по степени разрушения зерен после раздавливания в специальном цилиндре со съемным дном (ФОД).

Перед испытанием проба щебня просеивается, разделяясь, на фракции и каждая фракция испытывается отдельно. При определении марки щебня используется цилиндр диаметром 150 мм, а при приемке допускается цилиндр диаметром 75 мм. Для испытания в цилиндре диаметром 75 мм одна проба должна составлять не менее 0.5 кг, а для цилиндра 150 масса пробы составляет не менее 4.0 кг. Щебень может испытываться как в сухом так и мокром состоянии. Для испытания в сухом состоянии проба высушивается в сушильном шкафу до постоянной массы, а для испытания во влажном проба помещается в воду на 2 часа (после извлечения щебня из воды он протирается тканью). Щебень засыпается в цилиндр с высоты 50 мм. Цилиндр заполняется так, чтобы верхний край плунжера был вровень с краем цилиндра. Нагрузка в прессе увеличивается со скоростью 1-2 кН в секунду. Нагрузку доводят в цилиндре 75 до 50 кН, а в цилиндре 150 до 200 кН. После пробу цилиндра высыпают и взвешивают, затем просеивают на сите в зависимости от фракции и остаток на сите взвешивают. [3]

2.2.5.2 Истираемость

Истираемость (износ) щебня определяют по потере массы зерен при испытании пробы в полочном барабане с шарами.

Барабан полочный диаметром 700, длиной 500 мм, снабженный на внутренней поверхности полкой шириной 100 мм.

Шары стальные или чугунные диаметром 48 мм, массой (405 ± 10) г каждый - 12 шт.

Испытываемый щебень не должен содержать пылевидных и глинистых частиц более 1 % по массе. Щебень фракций от 5 до 10, св. 10 до 20 и св. 20 до 40 мм в состоянии естественной влажности просеивают через два сита с отверстиями размерами, соответствующими наибольшему D и наименьшему d номинальным размерам зерен данной фракции. Из остатка на сите с отверстиями размером d отбирают две аналитические пробы по 5 кг с предельной крупностью зерен до 20 мм и две пробы по 10 кг фракции св. 20 до 40 мм.

Подготовленную пробу загружают в полочный барабан вместе с чугунными или стальными шарами, закрепляют крышку барабана и приводят его во вращение со скоростью 30-33 об/мин. По окончании испытания содержимое барабана просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм и контрольное сито с сеткой № 1,25. Остатки на ситах соединяют и взвешивают. [3]

Истираемость щебня И, %, определяют по формуле

$$И = \frac{m - m_1}{m} \times 100$$

где m - масса пробы щебня, г;

m_1 - суммарная масса остатков на сите с отверстиями диаметром 5 мм и контрольном сите, г.

2.2.6 Морозостойкость

Морозостойкость щебня определяют по потере массы пробы путем попеременного замораживания и оттаивания в морозильной камере при температуре до -20 С. Каждую фракцию щебня испытывают отдельно. В зависимости от фракции масса пробы для определения морозостойкости может быть от 1 до 5 кг. Перед проведением испытаний пробу щебня насыщают в воде 48 часов. Продолжительность одного цикла замораживания должна составлять 4 часа, а оттаивания не менее 2 часов. Каждые 15 , 25 циклов щебень высушивают, взвешивают и просеивают через контрольное сито. Если потеря по массе превысила допустимую, испытания прекращают. [3]

Физико-механические свойства щебня представлены в таблице 14

Таблица 14 -Средние значения физико-механических характеристик щебня

Дата испытаний	Зерновой состав, %					Зерновой состав, %		Содержание зерен лещадной формы	Содержание зерен слабых пород	Содержание пылевых и глинистых частиц	Прочность		Средняя плотность щебня, г/см ³	Морозостойкость, %
	40	20	10	5	2,5	Д наиб.	Д наим.				Дробимость, %	Истираемость (потеря по массе), %		
Июнь	5,2	4	57	56	2,2	4,8	98,6	15,9	1,48	0,25	9,93	14,3	2,69	F100
Июль	4,6	5	58	58	1,3	4,25	99,5	6,82	0,56	0,32	8,44	11,02	2,7	F100
Август		6	6	45		5,18	99,6	6,25	0,45	0,15	5,7	6,1	2,72	F100

Испытанный щебень соответствует требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ».

2.3 Методика испытания битума

Были проанализированы и выведены средние значения по данным за три месяца ежедневных отборов проб и проведений испытаний лаборатории Ачинского ДРСУ. Были проведены испытания на пенетрацию, растяжимость, температуру размягчения, на изменение температуры размягчения после прогрева, сцепление с мрамором, температуру хрупкости, температуру вспышки.

2.3.1 Растяжимость битума

Испытание проводится в соответствии с ГОСТ 11505-75* «Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости». Растяжимость определяется при помощи дуктилометра. Битум расплавляют и наливают в три формы тонкой струей от одного конца формы до другого, пока она не наполнится выше краев. Залитый в форму битум оставляют охлаждаться на воздухе в течение 30-40 мин при комнатной температуре, но не ниже 18 °С, а затем гладко срезают излишек битума горячим острым ножом от середины к краям так, чтобы битум заполнял формы вровень с их краями.

Формы с битумом, не снимая с пластинки, помещают в водяную ванну, объем воды в которой должен быть не менее 10 дм³ (можно в ванну дуктилометра). Высота слоя воды над битумом должна быть не менее 25 мм; в ванне поддерживают температуру испытания, добавляя горячую или холодную воду или лед. При определении растяжимости при 25 °С температура воды поддерживается (25±0,5) °С, при определении растяжимости при 0 °С температура воды поддерживается 0 + 0,5 °С.

По истечении 1ч формы с битумом вынимают из воды, снимают с пластинки и закрепляют в дуктилометре, для чего кольца зажимов формы надевают на штифты, находящиеся на салазках и настойке дуктилометра. После этого отнимают боковые части форм. Если образцы выдерживались не в дуктилометре, а в другой ванне, то прежде чем переносить их в дуктилометр, его также наполняют водой, имеющей температуру испытания, в таком количестве, чтобы вода покрывала штифты не менее чем на 25 мм. После того, как температура воды в дуктилометре установится (25±0,5) °С при испытании при 25 °С и 0 + 0,5 °С - при испытании при 0 °С, включают мотор дуктилометра и наблюдают за растяжением битума.

Скорость растяжения при испытаниях при 25 °С и 0 °С должна быть 5 см/мин.

За растяжимость битума принимают длину нити битума в сантиметрах, отмеченную указателем в момент ее разрыва. Для каждого образца проводят три определения. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение трех параллельных определений. При растяжимости до 10,0 см результат округляют до 0,1 см, при большем значении результат округляют до целого числа. [6]

2.3.2 Температура размягчения

Температура размягчения определяется согласно ГОСТ 11506-73 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару».

Обезвоженный и расплавленный до подвижного состояния битум пропускают через сито и затем тщательно перемешивают до полного исчезновения пузырьков воздуха. Масса пробы битума около 50 г.

Битум наливают с небольшим излишком в два гладких или ступенчатых кольца (для битумов с температурой размягчения свыше 80 °С используют два ступенчатых кольца, которые первоначально подогревают с помощью горелки или электрической плитки до предполагаемой температуры размягчения битума), помещенные на пластинку, покрытую смесью декстрина с глицерином (1:3) или талька с глицерином (1:3), при этом образование пузырьков воздуха недопустимо.

После охлаждения колец с битумом на воздухе в течение 30 мин при (25 ± 10) °С избыток битума гладко срезают нагретым ножом вровень с краями колец.

Кольца с битумом помещают на верхнюю пластинку аппарата. В среднее отверстие верхней пластинки вставляют термометр так, чтобы нижняя точка была на одном уровне с нижней поверхностью битума в кольцах. Штатив с испытуемым битумом в кольцах и направляющими накладками погружают в стеклянный стакан (баню), наполненный дистиллированной свежевскипиченной водой, температура которой (5 ± 1) °С, уровень воды над поверхностью колец не менее 50 мм. По истечении 15 мин штатив вынимают из бани, на каждое кольцо в центре поверхности битума кладут стальной шарик, охлажденный в бане до (5 ± 1) °С, и опускают подвеску обратно в баню, избегая появления пузырьков воздуха на поверхности битума. Устанавливают баню на нагревательный прибор так, чтобы плоскость колец была строго горизонтальной. Температура воды в бане после первых 3 мин подогрева должна подниматься со скоростью $(5 \pm 0,5)$ °С в минуту.

Для каждого кольца и шарика отмечают температуру, при которой выдавливаемый шариком битум коснется нижней пластинки. [7]

2.3.3 Изменение температуры размягчения после прогрева

Испытание проводится согласно требованиям и условиям ГОСТ 18180-72* «Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева».

Битум, обезвоженный и расплавленный до подвижного состояния, процеживают через металлическое сито и перемешивают для полного удаления пузырьков воздуха. Тщательно вымытые чашки помещают не менее чем на 30 мин в сушильный шкаф при (105 ± 1) °С. Затем чашки охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

Битум наливают не менее чем в две чашки (в металлические по $(50 \pm 0,1)$ г, в стеклянные по $(28 \pm 0,1)$ г в каждую) и при осторожном наклоне чашки распределяют его по дну равномерным слоем (приблизительно 4 мм). После охлаждения битума до комнатной температуры в эксикаторе пробы взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. Взвешенные пробы устанавливают на горизонтальную решетку сушильного шкафа,

предварительно подогретого до (163 ± 1) °С. Температуру контролируют термометром, ртутный резервуар которого находится на уровне чашек. Во время испытания сушильный шкаф не открывают. Прогрев битума продолжают 5 ч. Так как при установлении проб температура сушильного шкафа понижается, то 5 ч отсчитывают от момента достижения 163 °С. Время достижения заданной температуры не должно превышать 15 мин. Во время испытания сушильный шкаф нельзя открывать. По истечении 5 ч чашки с битумом вынимают из сушильного шкафа, устанавливают в эксикаторе и после охлаждения до комнатной температуры взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. Для определения изменения показателей битума после прогрева содержимое чашек расплавляют в сушильном шкафу при 163°С и после перемешивания определяют показатели, предусмотренные в технических требованиях. [8]

Изменение массы битума после прогрева X в процентах вычисляют по формуле

$$X = \frac{m - m_1}{m} \times 100$$

m_1 - масса битума после прогрева, г.

2.3.4 Глубина проникания иглы

Испытание проводится согласно ГОСТ11501-78* «Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы». Определяется при использовании пенетрометра.

Испытуемый образец битума нагревают до подвижного состояния, при наличии влаги его обезвоживают путем нагрева до температуры на 90 °С выше температуры размягчения, но не выше 180 °С (для дорожных битумов - не выше 160 °С) при осторожном перемешивании, избегая перегревов. Время нагревания битума, при указанных условиях, не должно превышать 30 мин. Обезвоженный и расплавленный до подвижного состояния битум пропускают через металлическое сито и наполняют две пенетрационные чашки так, чтобы поверхность битума была не более чем на 5 мм ниже верхнего края чашки. Наличие пузырько воздуха строго недопустимо.

Чашу с битумом охлаждают на воздухе при 18-30 °С, предохраняя образец от пыли. Продолжительность охлаждения 60-90 мин при испытании битума с глубиной проникания иглы до 250 и 90-120 мин - с глубиной проникания иглы более 250. Затем чашки с битумом помещают в баню для термостатирования при заданной температуре испытания. Время чашек в бане высотой 35 мм - 60- 90 мин, а чашек высотой 60 мм - 90-120 мин.

Если нормативно-технической документацией на битумы не предусмотрены условия испытания, то глубину проникания иглы определяют при температуре 25 °С, нагрузке 100 г в течение 5 с.

По истечении заданного времени выдерживания чашу с образцом битума вынимают из бани для термостатирования и помещают в плоскодонный сосуд вместимостью не менее 0,5 дм³, наполненный водой так, чтобы высота

жидкости над поверхностью битума была не менее 10 мм, температура воды в сосуде должна соответствовать температуре испытания. Сосуд устанавливают на столик пенетрометра и подводят острие иглы к поверхности битума так, чтобы игла слегка касалась ее.

Доводят кремальеру до верхней площадки плунжера, несущего иглу, и устанавливают стрелку на нуль или отмечают ее положение, после чего одновременно включают секундомер и нажимают кнопку пенетрометра, давая игле свободно входить в испытуемый образец в течение 5 с, по истечении которых отпускают кнопку. После этого доводят кремальеру вновь до верхней площадки плунжера с иглой и отмечают показание пенетрометра.

Определение повторяют не менее трех раз в различных точках на поверхности образца битума, отстоящих от краев чашки и друг от друга не менее чем на 10 мм. После каждого погружения иглу вынимают из гнезда, отмывают ее толуолом, бензином или другим растворителем и насухо вытирают в направлении острия. [9]

2.3.5 Сцепление с мрамором или песком

Испытание проводится согласно стандартам ГОСТ11508-74 «Битумы нефтяные. Метод определения сцепления битума с мрамором и песком».

Испытания проводят на мраморе или песке.

Мрамор измельчают, отсеивают через металлические сита фракцию размером от 2 до 5 мм. Кусочки с полированной поверхностью отбрасывают. Образцы мрамора или песка промывают дистиллированной водой и сушат при 105-110 °С, песок - в течение 2 ч, мрамор - 5 ч.

Перед испытанием образец битума обезвоживают осторожным нагреванием до 105 °С при перемешивании стеклянной палочкой. Битум, обезвоженный и расплавленный до подвижного состояния, процеживают через сито с сеткой № 07.

Для приготовления битумоминеральной смеси в две фарфоровые чашки взвешивают по 30 г мрамора или песка, приготовленного по п. 1.2.1 с погрешностью не более 0,1 г, и по 1,20 г испытуемого битума с погрешностью не более 0,01 г. Чашки выдерживают в течение 20 мин в термостате при 130-140 °С. Чашки вынимают из термостата и перемешивают мрамор или песок с битумом металлической ложкой до покрытия всей поверхности минерального материала. Затем смесь выдерживают при комнатной температуре в течение 20 мин.

На металлическую сетку № 025 или 05 с проволочными дужками выкладывают из одной чашки примерно половину подготовленной битумоминеральной смеси, распределяют ее равномерным слоем и опускают сетку в стакан с кипящей дистиллированной водой (высота слоя воды под сеткой и над смесью должна быть по 40-50 мм). Аналогичную операцию производят с битумоминеральной смесью из второй чашки. Сетки с испытуемыми образцами выдерживают в кипящей воде в течение 30 мин.

Кипение воды не должно быть бурным. Битум, отделившийся от смеси и всплывший на поверхность воды в процессе кипячения, снимают фильтровальной бумагой. Сетки с испытуемым битумом сразу по окончании кипячения переносят в стаканы с холодной водой, где выдерживают в течение 3-5 мин, после этого смеси переносят на фильтровальную бумагу.

Для оценки сцепления битума с поверхностью минерального материала битумо-минеральную смесь сравнивают с фотографиями контрольных образцов. [10]

2.3.6 Температура хрупкости

Определяется согласно технологии указанной в ГОСТ 11507-78* «Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу».

Настоящий стандарт распространяется на нефтяные битумы и устанавливает метод определения температуры хрупкости по Фраасу.

Сущность метода заключается в охлаждении и периодическом изгибе образца битума и определении температуры, при которой появляются трещины или образец битума ломается. [11]

2.3.7 Температура вспышки

Определяется согласно ГОСТ 4333-2014 «Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле».

Сущность метода заключается в том, что заполняют испытательный тигель пробой до заданного уровня. Вначале пробу нагревают быстро, а затем продолжают медленный нагрев с постоянной скоростью по мере приближения к температуре вспышки. Через заданные температурные интервалы подводят источник зажигания к испытательному тиглю. За температуру вспышки принимают наименьшую температуру, при которой при поднесении источника зажигания происходит воспламенение паров над поверхностью жидкости. Для определения температуры воспламенения продолжают испытание, пока применение источника зажигания не вызовет воспламенение паров над образцом и горение в течение не менее 5 с. Температуру вспышки и температуру воспламенения, определенные при барометрическом давлении окружающей среды, корректируют на стандартное атмосферное давление, используя уравнения. [12]

Результаты физико-механических свойств представлены в таблице 15

Дата	Марка	Глубина проникания иглы, 0,1мм		Растяжимость, см		Температура размягчения по кшС, С	Изменение температуры размягчения после прогрева, С	Индекс пенетрации	Сцепление с мрамором или песком	Температура хрупкости, 0С	Температура вспышки, С
		при 25	при 0	при 25	при 0						
Июнь	БНД 90/130	112,5	35,5	92	4,55	46,9	3	-0,5	хор	-25	312
Июль	БНД 90/130	112,1	34,9	91,4	5,5	44,6	4,2	-0,6	хор	-25	312
Август	БНД 90/130	106,04	33,9	87,3	5,1	42,8	4	-0,5	хор	-25	312

Испытанный битум полностью соответствует требованиям ГОСТ 22245-90 «Битумы нефтяные дорожные вязкие».

2.4 Подбор состава асфальтобетона

Рецепт составляется на строительный сезон, для каждой смеси, используемой на данном объекте. Допускается оформлять один рецепт на несколько однотипных объектов. В случае корректировки рецепта по результатам производственного контроля, при замене материалов и т.д., рецепт подвергается повторному согласованию. Рецепт должен соответствовать требованиям проектной документации, СНиП 2.05.02-85, ГОСТ 9128-97, другим нормативным документам (ВСН, ОСТ, СТП и т.д.).

Состав ЩМА подбирался экспериментальным путем лабораторией Ачинского ДРСУ.

Ниже представлен рецепт щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМА-20, для устройства верхнего слоя покрытия исследуемого участка трассы. Рецепт составлен на основе требований ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия» для ЩМА-20.

№ п/ п	Наименование материалов	Состав а/б	Зерновой состав(прошло сито с отв.,мм)%										
			40	20	15	10	5	2,5	1,2 5	0,6 3	0,3 15	0,1 6	0,0 71
1	Минеральный порошок ХМЗ	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11,8	11,5
2	Песок из отсевов дробления	10	10	10	10	10	9,5	5,7	4,4	3,1	2,3	1,9	1,5
3	Щебень фр.5-10	10	10	10	10	9,8	0,1	0	0	0	0	0	0
4	Щебень фр. 10-15	30	30	30	28,9	0,5	0,1	0	0	0	0	0	0
5	Щебень фр. 15-20	38	38	35,2	1,4	1,4	0,1	0	0	0	0	0	0
	ИТОГО	100	100	97,2	62,3	33,7	21,8	17,7	16,4	15,1	14,3	13,7	13
	Требования ГОСТ 31015-2002		100	90	50	25	20	15	13	11	9	8	8
			100	100	70	42	30	25	24	21	19	15	13

Таблица 17 – Состав асфальтобетонной смеси

№ п/п	Наименование материалов	Состав минеральной части а/б смеси,% (битум сверх 100%)	Состав минеральной части а/б смеси,% (битум в 100%)	Дозировка материалов на замес, кг
				1000
1	Песок фр.0-5	9,8	9,24	92,4
2	Щебень фр. 5-10	11,9	11,22	112,2
3	Щебень фр. 10-20	66,3	62,49	624,9
4	Минеральный порошок	12,0	11,23	112,3
5	Битум+ДАД-1 0,3% от массы битума	5,8	5,47	54,7
6	Топсел	0,37	0,35	3,5

Состав минеральной части смеси на выходе: щебень(78,2%), песок(8,8%), мельче 0,071(13%).

Таблица 18 - Физико-механические свойства смеси

Наименование показателя		ГОСТ 31015-2002	Фактические показатели
Средняя плотность, г/см ³		Не нормируется	2,47
Пористость минерального остова, % по объему		15-19	16,5
Остаточная пористость, % по объему		1,5-4	3,4
Водонасыщение, % по объему		1-4	2,5
Предел прочности при сжатии, Мпа	20	Не менее 2,2	3,1
	50	Не менее 0,65	1,4
Водостойкость при длительном водонасыщении		Не менее 0,85	0,87
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения		Не менее 0,93	0,96
Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при 50С		Не менее 0,18	0,32
Трещиностойкость		2,5-6	4,1
Показатель стекания вяжущего, %		Не более 0,2	0,13
Сцепление битума с минеральной частью а/б смеси		Выдерживает	Выдерживает

Составленный рецепт полностью соответствует требованиям ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия» для ЦМА-20.

2.5 Методики определения свойств асфальтобетонной смеси и асфальтобетона.

2.5.1 Плотность асфальтобетона

Определяется по предписаниям ГОСТ12801-84 «Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний».

Сущность метода заключается в определении плотности асфальтобетона с учетом имеющихся в нем пор на образцах, приготовленных в лаборатории из смеси.

Образцы взвешивают с погрешностью 0,01 г на воздухе, затем погружают на 30 мин в сосуд с водой, имеющей температуру (20±2)°С, после этого образцы взвешивают в воде, температура которой должна быть (20±2)°С, вытирают и вторично взвешивают на воздухе.

За среднюю плотность принимают среднее арифметическое результатов определений плотности трех образцов, расхождение между результатами параллельных определений которых не превышает 0,02 г/см³.

2.5.2 Водонасыщение

Определяется исходя из ГОСТ12801-84 «Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний».

Водонасыщение определяют на образцах, ранее использованных для определения средней плотности.

Образцы асфальтобетона, помещают в сосуд с водой, температура которой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Уровень воды над образцами должен быть не менее 3 см. Сосуд с образцами устанавливают под стеклянный колпак вакуум-прибора или в вакуум-сушильный шкаф, где создают и поддерживают остаточное давление, равное 2000 Па (15 мм рт. ст.), в течение 1 ч 30 мин при испытании образцов из горячих и теплых смесей, 30 мин — при испытании образцов из холодных смесей, затем давление доводят до атмосферного и образцы выдерживают в том же сосуде с водой при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Время выдерживания в воде образцов из горячих и теплых смесей — 1 ч, образцов из холодных смесей — 30 мин. После этого образцы извлекают из воды, вытирают мягкой тканью или фильтровальной бумагой и взвешивают с погрешностью 0,01 г на воздухе и в воде.

Увеличение массы образца соответствует количеству поглощенной образцом воды. Приращение массы образца, отнесенное к первоначальному объему образца, составляет его водонасыщение по объему.

2.5.3 Предел прочности при сжатии

Определяется исходя из ГОСТ12801-84 «Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний».

Сущность метода заключается в определении нагрузки, необходимой для разрушения образца.

Перед испытанием образцы выдерживают при заданной температуре $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$, $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ или $(0 \pm 2)^\circ\text{C}$. Образцы горячего и теплого асфальтобетона выдерживают в течение 1 ч в водяной бане вместимостью 3—8 л (в зависимости от количества и размера образцов), образцы холодного асфальтобетона — 2 ч в воздушной среде в емкости того же объема. Температуру $(0 \pm 2)^\circ\text{C}$ создают смешением воды со льдом.

Предел прочности при сжатии асфальтобетонных образцов определяют на прессах с механическим приводом при скорости деформирования образца $(3,0 \pm 0,5)$ мм/мин.

Образец, извлеченный из водяной или воздушной бани, устанавливают в центре нижней плиты пресса, затем опускают верхнюю плиту и останавливают ее выше уровня поверхности образца на 1,5—2 мм. Это же может быть достигнуто соответствующим подъемом нижней плиты. После этого включают электродвигатель пресса и начинают нагружать образец. Для

уменьшения потерь тепла образцов при соприкосновении с металлическими плитами между образцом и плитами прокладывают плотную бумагу.

Максимальное показание силоизмерителя принимают за разрушающую нагрузку.

2.5.4 Коэффициент уплотнения

Определяется исходя из ГОСТ12801-84 «Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний».

Степень уплотнения характеризуется коэффициентом уплотнения. Коэффициент уплотнения определяют расчетом на основании предварительно установленных средних плотностей вырубок или кернов и переформованных из них образцов. Образцы-вырубки и образцы-керны отбирают, подготавливают их к испытанию и готовят из них переформованные образцы.

Коэффициент уплотнения асфальтобетона в покрытии вычисляют как отношение средней плотности образцов из покрытия (кернов или вырубок) к средней плотности образцов, переформованных в лаборатории из тех же кернов или вырубок. За коэффициент уплотнения принимают среднее арифметическое результатов определения коэффициента для трех образцов, расхождение между результатами параллельных определений которых не превышает 0,02.

2.6 Свойства асфальтобетонной смеси и асфальтобетона

2.6.1 Результаты испытаний образцов в лаборатории

В лаборатории были проведены испытания асфальтобетонной смеси и асфальтобетона, испытания проводились пять дней в неделю, в течение 8 недель, в лаборатории Ачинского ДРСУ. Результаты испытаний приведены в таблице 19

Таблица 19 – Свойства асфальтобетонных образцов полученных формованием в лаборатории.

Неделя	Средняя плотность а/б, г/см ³	Водонасыщение	Стекание ЩМА	Предел прочност и при сжатии, Мпа		Водостойкость при длительном водонасыщении
				R50	R20	
1	2,48	2,41	0,15	0,74	2,7	0,91
	2,47	2,76	0,13	0,73	2,71	0,91
	2,47	2,2	0,17	0,72	2,68	0,91
	2,47	2,07	0,11	0,7	2,7	0,91
	2,47	2,17	0,17	0,71	2,72	0,91

Неделя	Средняя плотность а/б, г/см ³	Водонасыщение	Стекание ЦМА	Предел прочност и при сжатии, Мпа		Водостойкость при длительном водонасыщении
				R50	R20	
Среднее за неделю	2,47	2,32	0,15	0,72	2,70	0,91
2	2,47	2,16	0,11	0,69	2,7	0,91
	2,48	2,03	0,16	0,73	2,42	0,91
	2,47	1,96	0,14	0,71	2,71	0,91
	2,47	1,74	0,17	0,69	2,7	0,91
	2,47	1,84	0,13	0,72	2,68	0,91
Среднее за неделю	2,47	1,95	0,14	0,71	2,64	0,91
3	2,47	1,03	0,12	0,73	2,72	0,91
	2,48	2,41	0,15	0,8	2,74	0,91
	2,47	2,11	0,12	0,7	2,62	0,91
	2,47	1,96	0,18	0,68	2,6	0,91
	2,48	1,84	0,09	0,74	2,78	0,91
Среднее за неделю	2,47	1,87	0,13	0,73	2,69	0,91
4	2,47	1,92	0,12	0,74	2,64	0,91
	2,47	0,99	0,08	0,82	2,68	0,91
	2,47	0,86	0,17	0,78	2,7	0,91
	2,48	1,16	0,15	0,69	2,56	0,91
	2,48	1,32	0,13	0,76	2,64	0,91
Среднее за неделю	2,47	1,25	0,13	0,76	2,64	0,91
5	2,48	1,96	0,14	0,72	2,68	0,91
	2,47	3,24	0,18	0,68	3,07	0,91
	2,47	3,01	0,2	0,78	2,64	0,91
	2,47	2,76	0,17	0,69	2,7	0,91
	2,47	2,16	0,15	0,77	2,61	0,9
Среднее за неделю	2,47	2,63	0,17	0,73	2,74	0,91
6	2,47	2,07	0,08	0,7	2,58	0,9
	2,48	1,76	0,2	0,68	2,71	0,9
	2,47	1,64	0,2	0,72	2,78	0,9
	2,47	2,17	0,17	0,7	2,69	0,91
	2,47	2,11	0,18	0,69	2,6	0,91
Среднее за неделю	2,47	1,95	0,17	0,70	2,67	0,90
7	2,48	3,07	0,17	0,76	2,48	0,91
	2,48	2,78	0,18	0,72	2,62	0,91
	2,48	2,66	0,18	0,69		0,91
	2,48	3,15	0,09	0,71		0,91
	2,48	3,18	0,13	0,69		0,91

Неделя	Средняя плотность а/б, г/см ³	Водонасыщение	Стекание ЩМА	Предел прочност и при сжатии, Мпа		Водостойкость при длительном водонасыщении
				R50	R20	
Среднее за неделю	2,48	2,97	0,15	0,71	2,55	0,91
8	2,47	2,51	0,16	0,74	2,82	0,91
	2,47	1	0,16	0,88	2,6	0,92
	2,48	1,8	0,13	0,92	2,7	0,91
	2,48	1,3	0,09	0,94	2,3	0,91
	2,48	1,5	0,11	0,98	2,45	0,91
Среднее за неделю	2,48	1,62	0,13	0,89	2,57	1,62
Среднее за период	2,47	2,07	0,15	0,74	2,65	0,91

Все показатели соответствуют требованиям ГОСТ12801-84 «Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний».

Таблица 20 – Средние показатели свойств образцов за период

	Средняя плотность а/б, г/см ³	Водонасыщение	Стекание ЩМА	Предел прочности при сжатии, Мпа		Водостойкость при длительном водонасыщении
				R50	R20	
Δ	2,47	2,07	0,15	0,74	2,65	0,91

2.6.2 Результаты испытаний образцов-вырубок из асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги

Укладку ЩМА смеси на битуме марки БНД 90/130 следует осуществлять при температуре воздуха не ниже +5 0С. Температура ЩМА смеси при выпуске из смесителя должна составлять 150-165 0С.

Толщина укладываемого слоя при использовании гусеничного асфальтоукладчикаVogele, с трамбующим брусом и виброплитой – на 10-15%. Толщина слоя покрытия составила от 5,15 до 5,2 см.

Уплотнение слоя осуществляется статическими гладковальцовыми катками ДУ-96 8 т, ДУ-99 10 т. Для эффективного уплотнения смеси катки начинают работу непосредственно после прохода асфальтоукладчика.

Температура смеси в начале уплотнения должна быть в диапазоне 140 °С, а закончено должно быть при температурах смеси не ниже 80 °С.

Для определения качества асфальтобетонного покрытия на исследуемом участке были произведены вырубki образцов согласно методике описанной в ГОСТ12801-84 «Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний» и определены свойства асфальтобетона. Результаты испытаний представлены в таблице 21

Таблица 21 -Свойства асфальтобетонных образцов-вырубок из асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги

Неделя	Объем сухого образца, см ³	Средняя плотность а/б, г/см ³	Водонасыщение, % объема
1	345,6	2,4	2,8
	385,4	2,39	2,5
	282,9	2,37	2,5
	338,3	2,4	2,7
	316,8	2,36	2,16
Среднее за неделю	333,80	2,38	2,53
2	371,1	2,36	2,1
	267,1	2,44	3,3
	342,58	2,45	2,9
	315,58	2,4	3,2
	400,1	2,46	3
Среднее за неделю	339,29	2,42	2,90
3	309,1	2,45	1,8
	259,89	2,42	2,7
	351,3	2,43	3,4
	316,2	2,47	3,3
	308,2	2,51	1,1
Среднее за неделю	308,94	2,46	2,46
4	254,8	2,49	1,6
	269,3	2,54	0,5
	187,48	2,4	3
	220,3	2,5	1,1
	334,1	2,48	1,8
Среднее за неделю	253,20	2,48	1,60
5	337,17	2,48	1,7
	260,2	2,45	3
	453,3	2,47	2,2
	25,37	2,52	1,3
	344,94	2,47	1,2
Среднее за неделю	284,20	2,48	1,88
6	297,08	2,48	2,2
	281,1	2,45	2,6
	254,81	2,43	1,6
	183,02	2,45	2,4
	240,79	2,48	2,1
Среднее за неделю	251,36	2,46	2,18
7	387,4	2,4	2,5
	172,07	2,41	1,1

Неделя	Объем сухого образца, см ³	Средняя плотность а/б, г/см ³	Водонасыщение, % объема
	253,44	2,47	1,1
	298,4	2,5	1,5
	245,88	2,46	1,2
Среднее за неделю	271,44	2,45	1,48
8	306,99	2,52	1,6
	302,76	2,47	1,2
	360,2	2,45	1,6
	264,5	2,46	1,7
	321,73	2,46	2,4
Среднее за неделю	311,24	2,47	1,70
Среднее за период	294,18	2,45	2,09

Все показатели соответствуют требованиям ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

Таблица 22 – Средние показатели образцов-вырубок за период

	Объем сухого образца, см ³	Средняя плотность а/б, г/см ³	Водонасыщение, % объема
Δ	294,18	2,45	2,09

Глава 3

Статистический анализ зависимости влияния свойств щебня на физико-механические свойства асфальтобетона

Все показатели, приведенные выше, были найдены экспериментальным путем. Мы найдем взаимосвязь показателей с помощью математического анализа и уравнений регрессии.

Мы решили рассмотреть влияние свойств щебня (содержание пыли и глины, дробимость, прочность) на свойства асфальтобетона (плотность, водонасыщение). Учитывая большую выборку результатов исследуемых показателей, для проведения статистического анализа методом планирования эксперимента были взяты средние показания значений.

Таблица 23 – средние показатели свойств образцов, сформированных в лаборатории за весь период исследований

	Средняя плотность а/б, г/см ³	Водонасыщение	Стекание ЦМА	Предел прочности при сжатии, Мпа		Водостойкость при длительном водонасыщении
				R50	R20	
Δ	2,47	2,07	0,15	0,74	2,65	0,91

Таблица 24 – средние показатели свойств образцов-вырубок за весь период исследований

	Объем сухого образца, см ³	Средняя плотность а/б, г/см ³	Водонасыщение, % объема
Δ	294,18	2,45	2,09

Таблица 25 – средние значения испытания щебня за период

Неделя	Содержание пылевых и глинистых частиц	Дробимость, %	Средняя плотность щебня, г/см ³
1	0,25	6,20	2,72
2	0,27	8,07	2,70
3	0,23	9,93	2,69
4	0,13	5,70	2,72
5	0,20	5,70	2,72
6	0,15	5,70	2,72
7	0,10	5,70	2,72
8	0,70	11,8	2,67

Неделя	Содержание пылевых и глинистых частиц	Дробимость, %	Средняя плотность щебня, г/см ³
Среднее за период	0,25	7,35	2,71

3.1 Зависимость плотности и водонасыщения асфальтобетона от свойств щебня методом планирования эксперимента

Чтобы определить статистическую зависимость исследуемых показателей необходимо получить уравнения регрессии. Коэффициенты и знаки стоящие при каждом из факторов X покажут степень влияния фактора на результат Y .

В качестве независимых переменных были приняты факторы:

X_1 - содержание пыли и глины;

X_2 - плотность щебня;

X_3 -дробимость щебня;

В качестве функций отклика Y_i рассматривались:

Y_1 -плотность образцов асфальтобетона, сформированных в лаборатории;

Y_2 - водонасыщение образцов асфальтобетона, сформированных в лаборатории;

Y_3 - плотность образцов-вырубок;

Y_4 -водонасыщение образцов-вырубок;

Для удобства вычисления, привели исходные данные в вид матрицы планирования трехфакторного эксперимента, на двух уровнях варьирования показателей. Мы взяли максимальные и минимальные значения. Матрица включает в себя значения факторов и эффектов их взаимодействий за восемь недель отбора проб.

Таблица 26 – Матрица планирования в кодированном виде

X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
+	+	+	2,47	2,32	2,38	2,53
+	-	+	2,47	1,95	2,42	2,90
-	+	+	2,47	1,87	2,46	2,46
-	-	+	2,47	1,25	2,48	1,60
+	+	-	2,47	2,63	2,48	1,88
+	-	-	2,47	1,95	2,46	2,18
-	+	-	2,47	2,97	2,45	1,48
-	-	-	2,48	1,62	2,47	1,7

Таблица 27 – Матрица планирования в натуральном выражении

X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
0,7	2,72	11,8	2,47	2,32	2,38	2,53
0,7	2,67	11,8	2,47	1,95	2,42	2,90
0,1	2,72	11,8	2,47	1,87	2,46	2,46
0,1	2,67	11,8	2,47	1,25	2,48	1,60
0,7	2,72	5,7	2,47	2,63	2,48	1,88
0,7	2,67	5,7	2,47	1,95	2,46	2,18
0,1	2,72	5,7	2,47	2,97	2,45	1,48
0,1	2,67	5,7	2,48	1,62	2,47	1,7

Для получения уравнений регрессии и статистического анализа влияния факторов X_i на эффект Y_i использовали программу «STATISTICA». Анализ результатов исследования влияния физико-механических свойств щебня на плотность асфальтобетона, показал, что данные по плотности практически одинаковые, что говорит об отсутствии влияния факторов на результат Y₁, поэтому мы исключили этот показатель из дальнейшего расчета.

Уравнения регрессии остальных откликов Y имеют следующий вид:

$$Y_2 = -64,44 + 20,87X_1 + 25,23X_2 + 2,56X_3 - 8,3X_1X_2 + 0,22X_1X_3 - 1,02X_2X_3$$

$$Y_3 = -2,99 + 2,03X_1 + 1,99X_2 + 0,54X_3 - 0,7X_1X_2 - 0,03X_1X_3 - 0,197X_2X_3$$

$$Y_4 = -64,86 + 112,7X_1 + 24,008X_2 + 0,79X_3 - 41X_1X_2 - 0,09X_1X_3 - 0,23X_2X_3$$

Построим графики данных уравнений, взятых за функцию.

График уравнения регрессии Y₂(X₁, X₂, X₃)

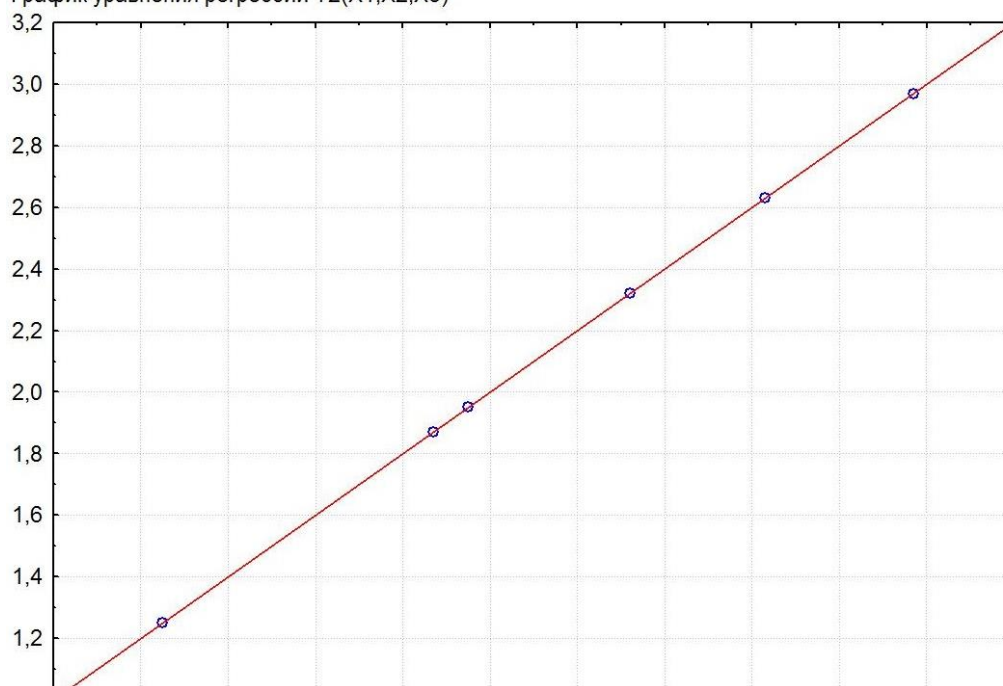


Рисунок 1 – График уравнения регрессии водонасыщения

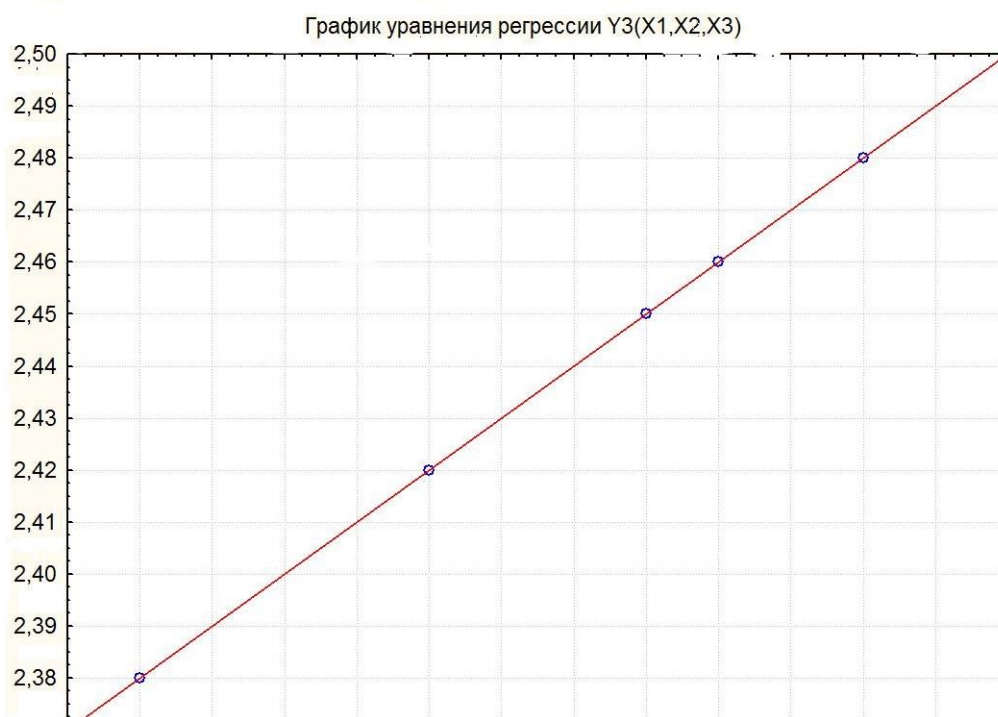


Рисунок 2 – График уравнения регрессии плотности

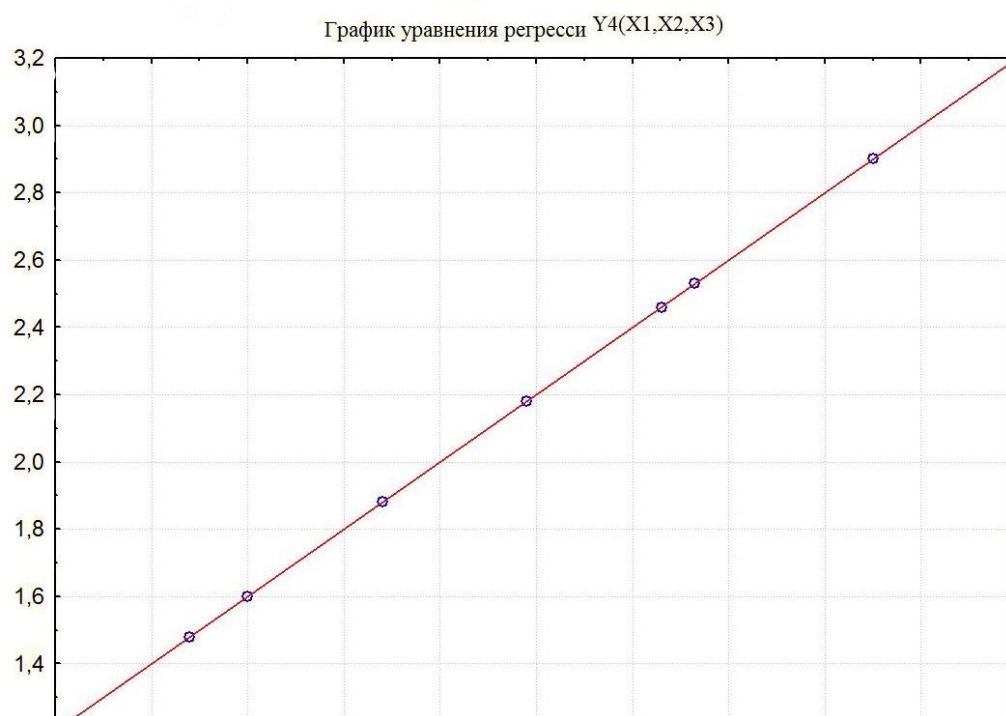


Рисунок 3 – График уравнения регрессии водонасыщения

Для решения много критериальных задач (какой является оптимизация влияния свойств щебня на показатели качества асфальтобетона) используют методы построения обобщенного показателя. Одним из наиболее удобных способов является обобщенная функция желательности Е.К. Харрингтона.[17]

В основу построения функции желательности мы приняли идею преобразования натуральных значений факторов и откликов в безразмерную величину желательности. Функции желательности для водонасыщения асфальтобетонных вырубок и асфальтобетонных образцов полученных в лаборатории представлены на рисунках 4-6. На графике виден предел, при котором влияние наших факторов на показатель будет максимальным, либо минимальным.

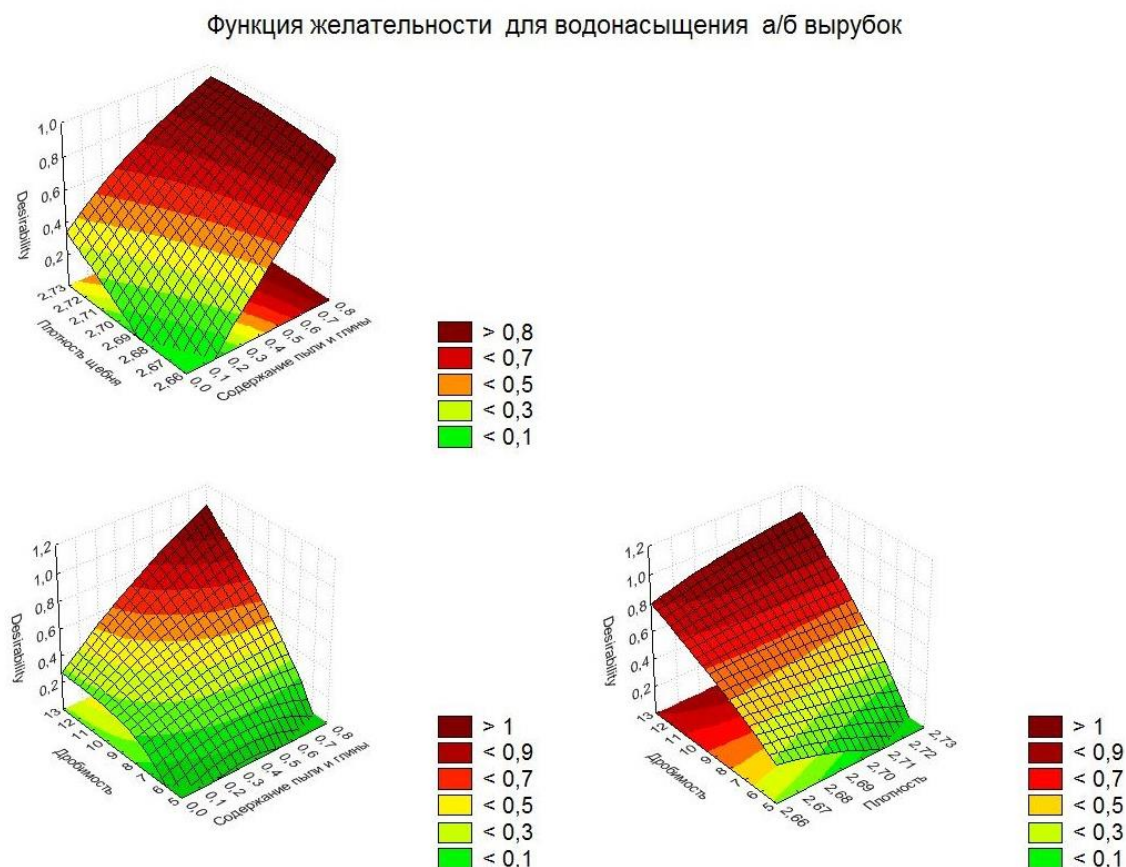


Рисунок 4 – Функция желательности для водонасыщения асфальтобетонных вырубок

Функция желательности для водонасыщения а/б образцов

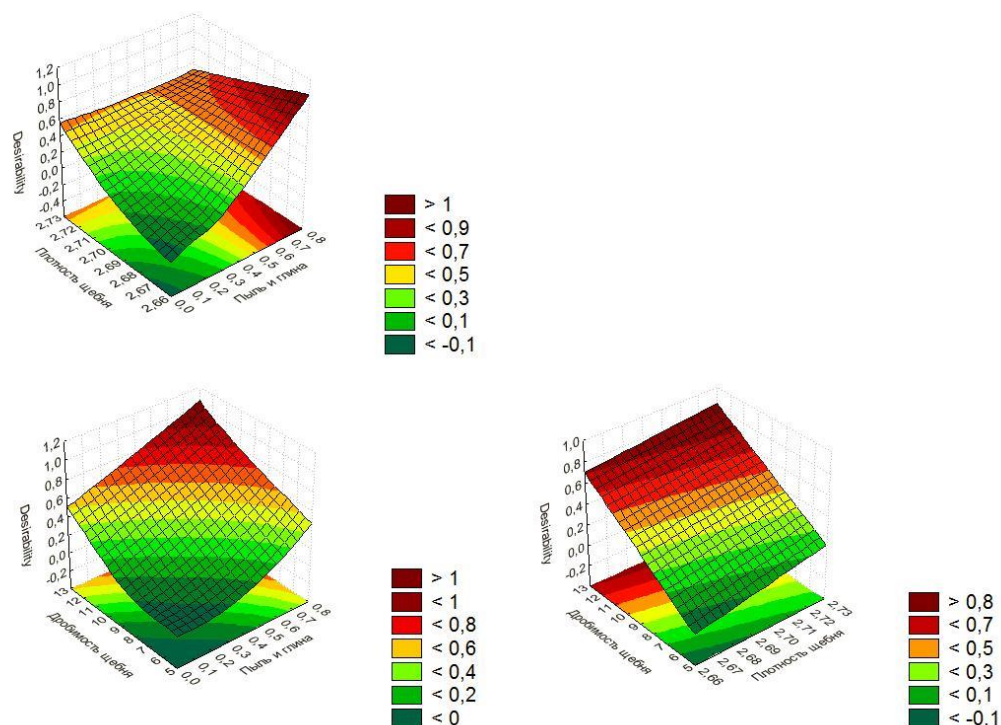


Рисунок 5 – Функция желательности для водонасыщения асфальтобетонных образцов, сформированных в лаборатории

Функция желательности для плотности а/б вырубков

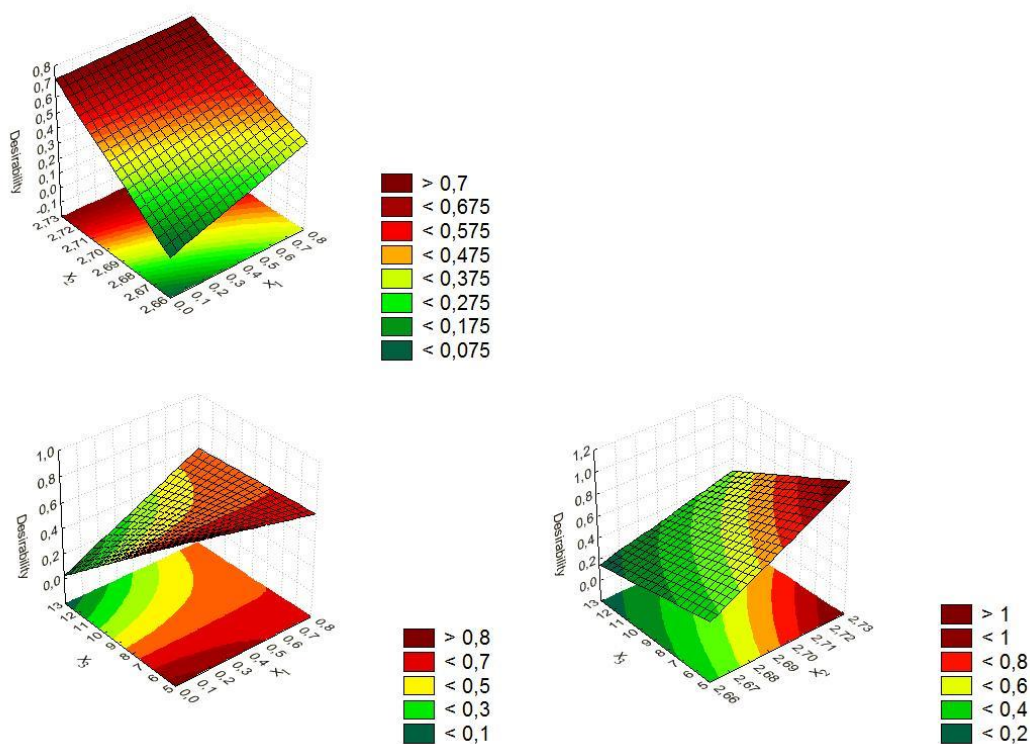


Рисунок 6 – Функция желательности для плотности вырубков

Чтобы оптимизировать полученные значения и получить конкретные значения для улучшения смеси, построим еще одну функцию желательности. Исходя из графика, можно будет сказать, при каких значениях показателей свойств щебня мы получим максимальную плотность и минимальное водонасыщение асфальтобетона в покрытии автомобильной дороги (вырубок).

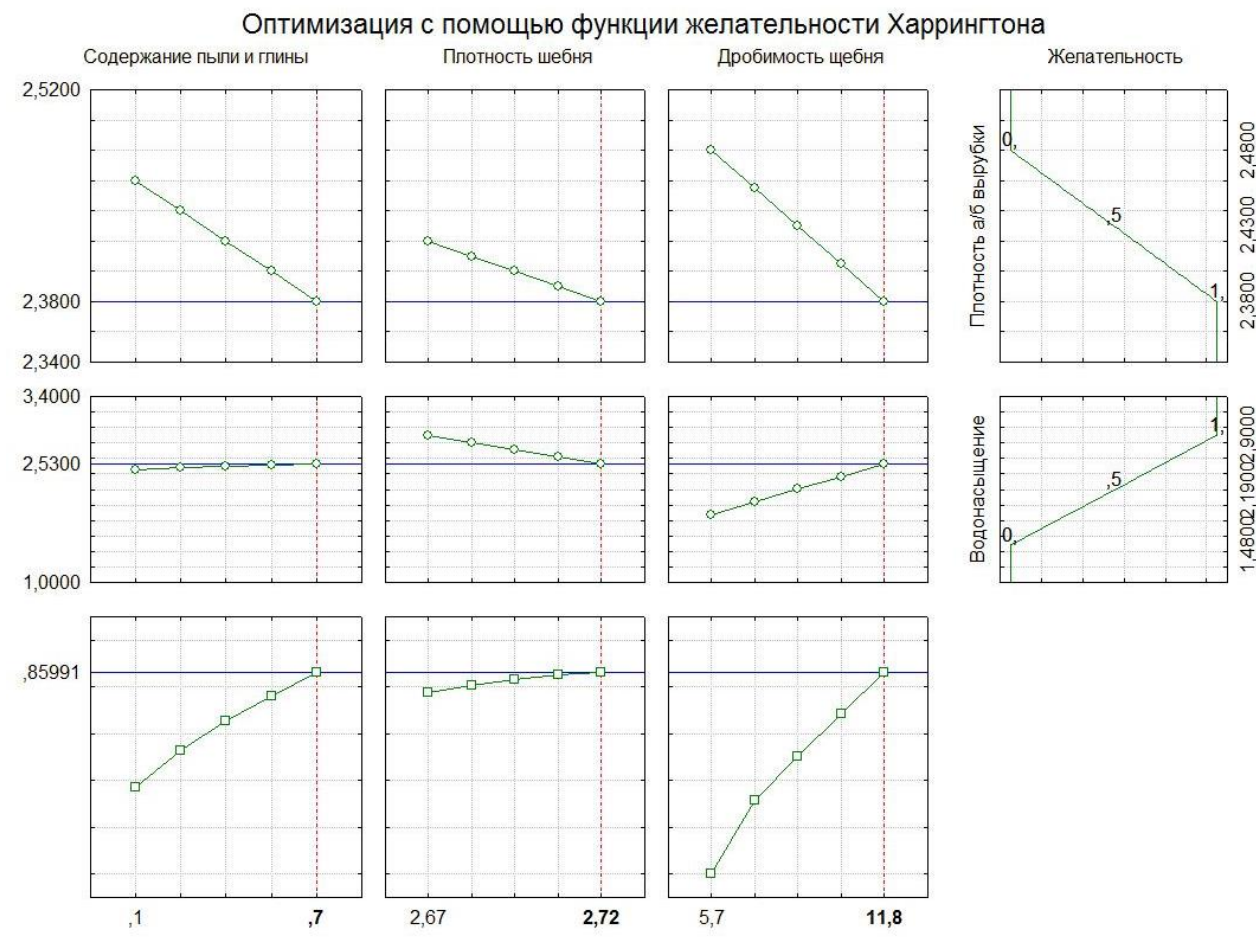


Рисунок 7 – Оптимизация функции желательности Харрингтона для асфальтобетонных вырубок

Из графика видно, чтобы достичь минимального водонасыщения и максимальной плотности, значения показателей свойств щебня должны быть следующие:

1. Содержание пыли и глины – 7;
2. Плотность щебня – 2,72
3. Дробимость щебня – 11,8.

3.2. Математический анализ зависимости водонасыщения от физико-механических свойств асфальтобетонной смеси.

В нашем исследовании, мы решили рассмотреть, как показатели асфальтобетонной смеси (плотность, стекание, прочность R20) влияют на

водонасыщение образцов, сформированных в лаборатории и образцов – вырубков, полученных из покрытия автомобильной дороги.

Для статистических расчетов методом математического планирования, мы взяли средние значения исследуемых показателей. Чтобы определить статистическую зависимость исследуемых показателей необходимо получить уравнения регрессии. Коэффициенты и знаки стоящие при каждом из факторов X покажут степень влияния фактора на результат Y.

Уравнение регрессии – уравнение, отражающие взаимоотношения между значениями одной переменной (X) и наблюдаемыми значениями другой (Y).

За факторы мы решили принять:

X₄– плотность асфальтобетонной смеси;

X₅–стекание асфальтобетонной смеси;

X₆–прочность при сжатии R20.

Функция отклика Y_i:

Y₂ – водонасыщение образцов асфальтобетона, полученных в лаборатории;

Y₄–водонасыщение образцов асфальтобетона, полученных из покрытия автомобильной дороги.

Для удобства вычисления, привели исходные данные в вид матрицы планирования трехфакторного эксперимента, на двух уровнях варьирования показателей. Мы взяли максимальные и минимальные значения. Матрица включает в себя значения факторов и эффектов их взаимодействий за восемь недель отбора проб.

Таблица 28– Матрица планирования в кодированном виде

X ₄	X ₅	X ₆	Y ₂	Y ₄
+	+	+	2,32	2,53
+	-	+	1,95	2,90
-	+	+	1,87	2,46
-	-	+	1,25	1,60
+	+	-	2,63	1,88
+	-	-	1,95	2,18
-	+	-	2,97	1,48
-	-	-	1,62	1,7

Далее, переведем матрицу из кодированного вида в натуральный

Таблица 29 – Матрица планирования в натуральном выражении

X ₄	X ₅	X ₆	Y ₂	Y ₄
2,48	0,17	2,74	2,32	2,53
2,48	0,13	2,74	1,95	2,90
2,47	0,17	2,74	1,87	2,46
2,47	0,13	2,74	1,25	1,60

X_4	X_5	X_6	Y_2	Y_4
2,48	0,17	2,55	2,63	1,88
2,48	0,13	2,55	1,95	2,18
247	0,17	2,55	2,97	1,48
2,47	0,13	2,55	1,62	1,7

Для получения уравнений регрессии и статистического анализа влияния факторов X_i на эффект Y_i использовали программу «STATISTICA».

Уравнения регрессии откликов Y имеют следующий вид:

$$Y_2 = -2810,86 + 1407,26X_4 + 536,65X_5 + 719,21X_6 - 60,27X_4X_5 - 503,57X_4X_6 - 141,70X_5X_6$$

$$Y_4 = -14546,3 + 5902X_4 - 702,9X_5 + 5413,4X_6 - 59,4X_4X_5 - 2189,3X_4X_6 + 216X_5X_6$$

Построим графики данных уравнений, взятых за функцию.

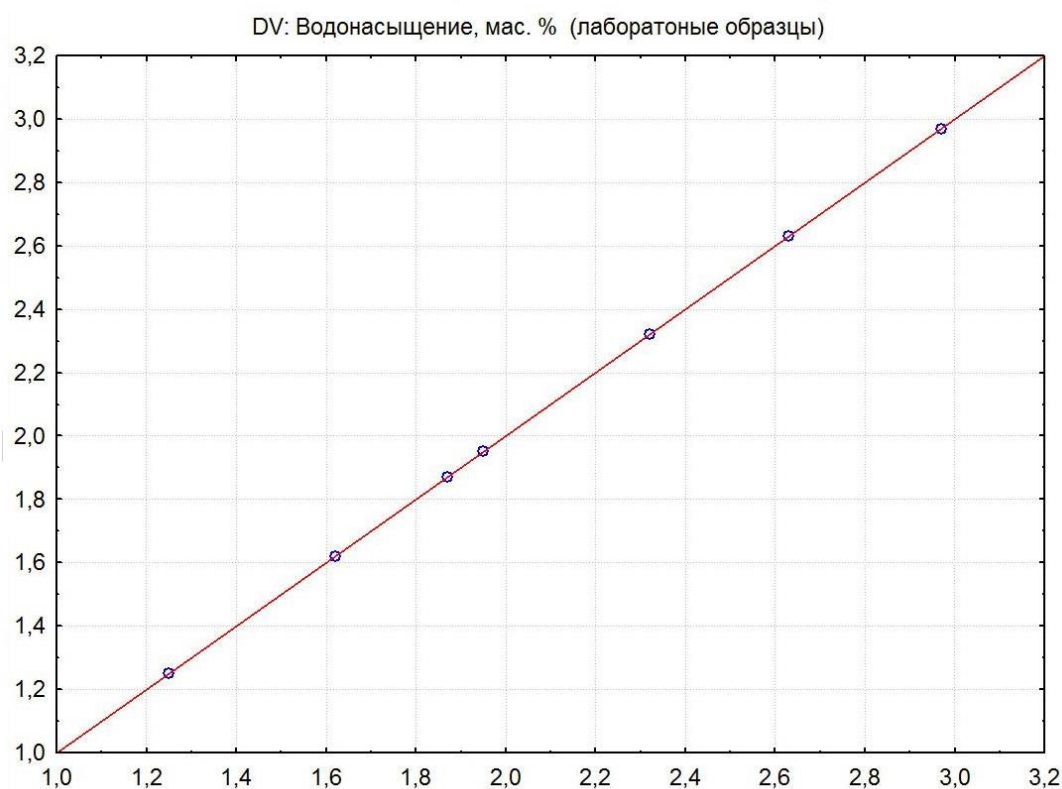


Рисунок 8 – График уравнения регрессии водонасыщения

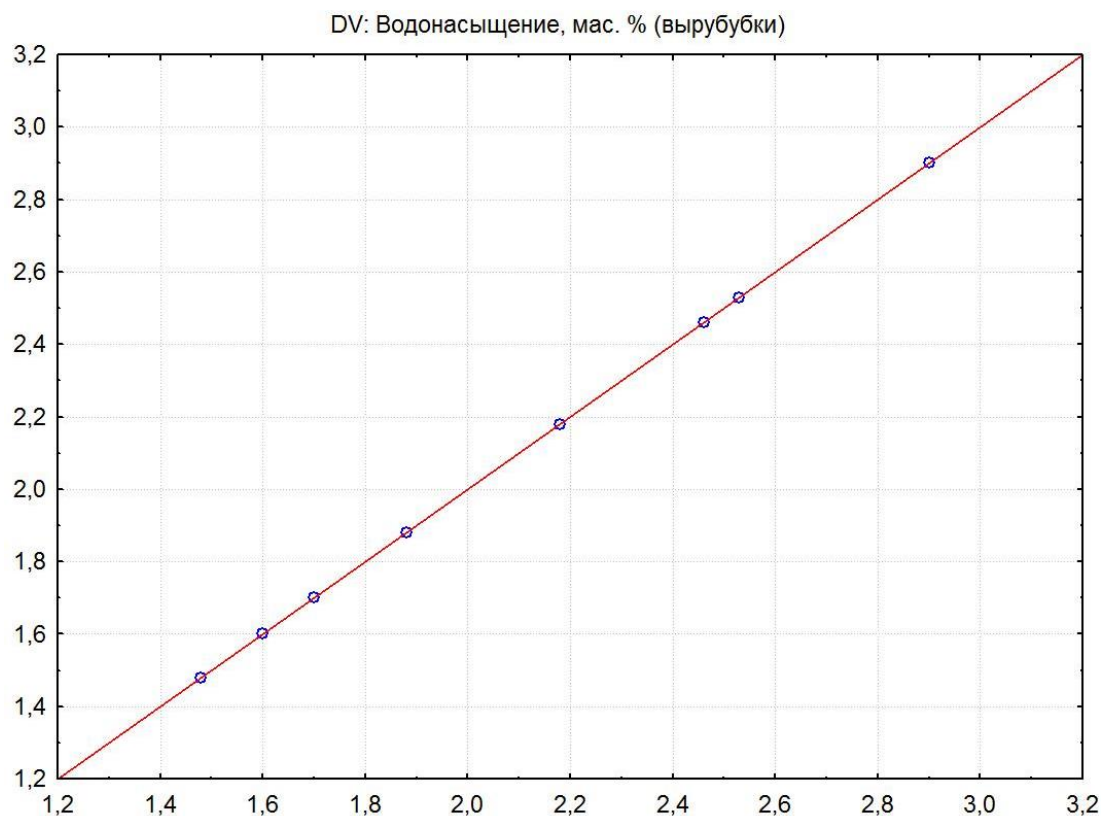


Рисунок 9 – График уравнения регрессии водонасыщения образцов –
вырубубок

Из графиков видно, что наши усредненные значения коррелируют между собой и находятся на прямой, большие значения коэффициентов в уравнении регрессии говорят о действительном влиянии факторов X_i на отклик Y_i

Чтобы визуализировать полученные нами данные, построим функции желательности Харрингтона. На графике будет ясно виден придел, при котором влияние наших факторов на показатель будет максимальным, либо минимальным.

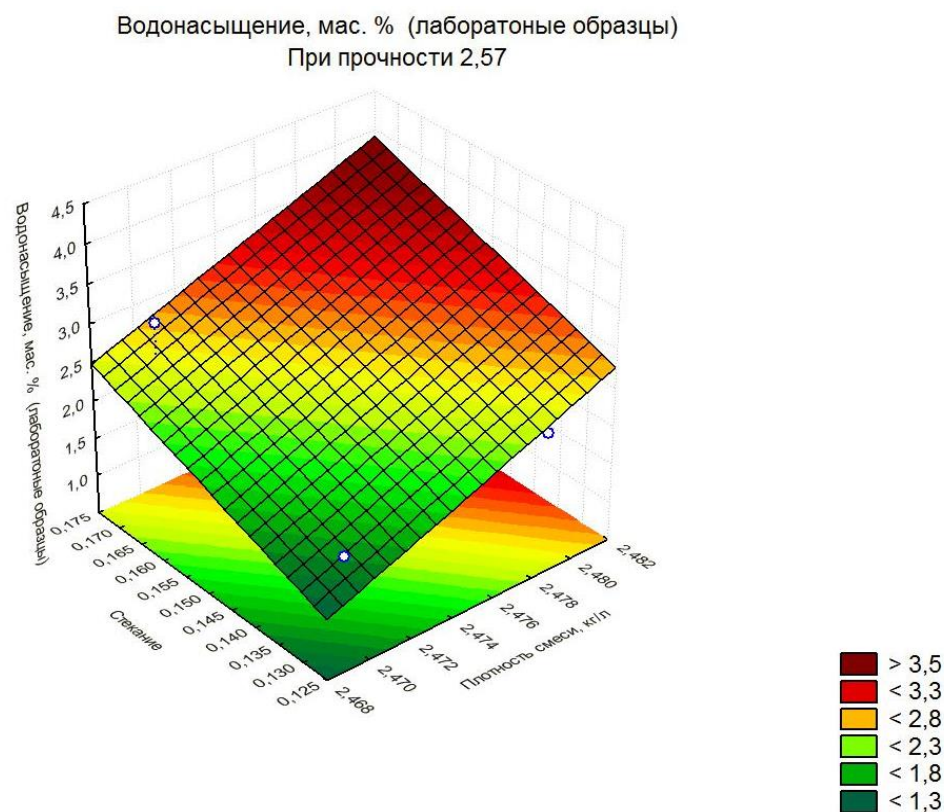


Рисунок 10 – Функция желательности водонасыщения при минимальном значении прочности лабораторных образцов

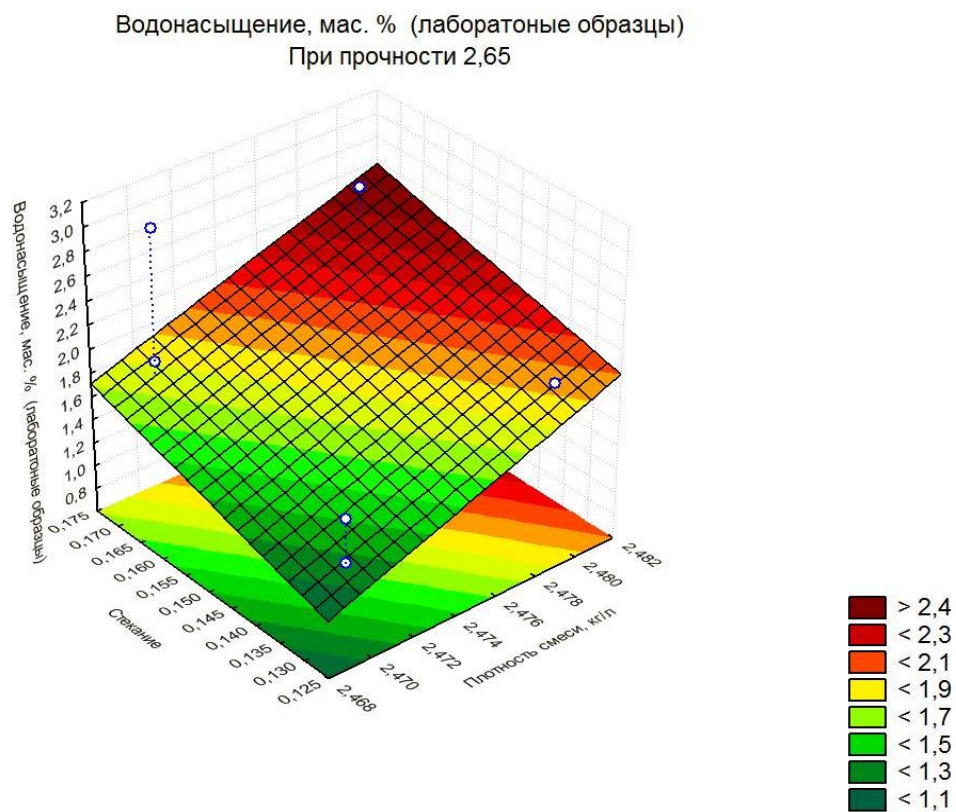


Рисунок 11 – Функция желательности водонасыщения при среднем значении прочности лабораторных образцов

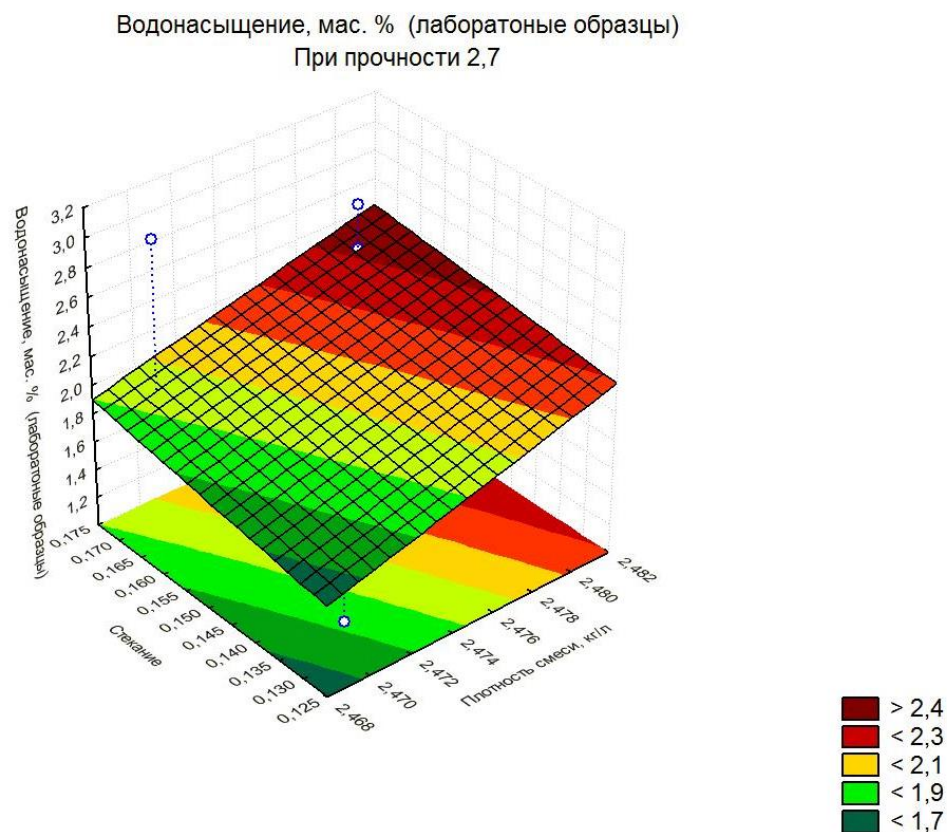


Рисунок 12 – Функция желательности водонасыщения при
максимальном значении прочности лабораторных образцов
Водонасыщение, мас. % (вырубки)
При прочности 2,57

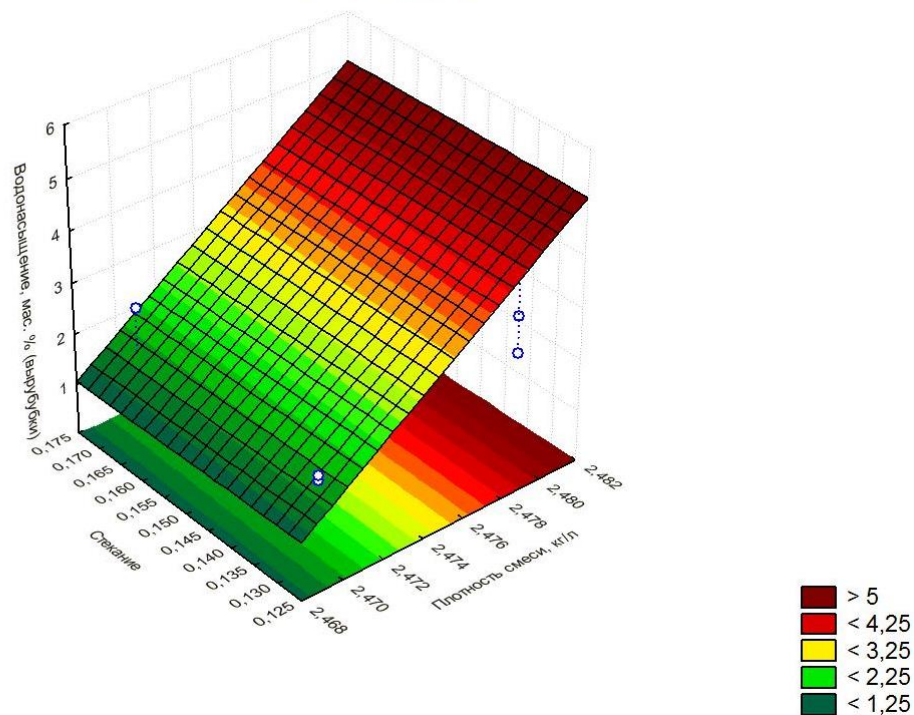


Рисунок 13 – Функция желательности водонасыщения при
минимальном значении прочности образцов вырубок

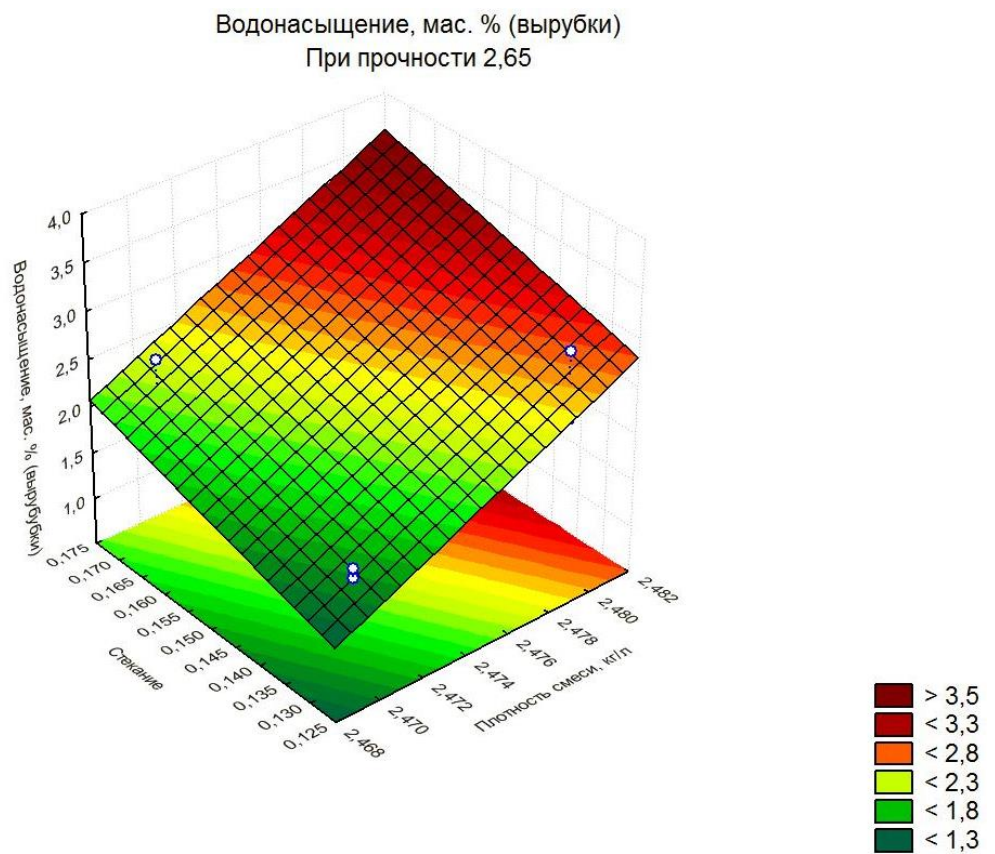


Рисунок 14 – Функция желательности водонасыщения при среднем значении прочности образцов вырубок

Водонасыщение, мас. % (вырубки)
При прочности 2,74

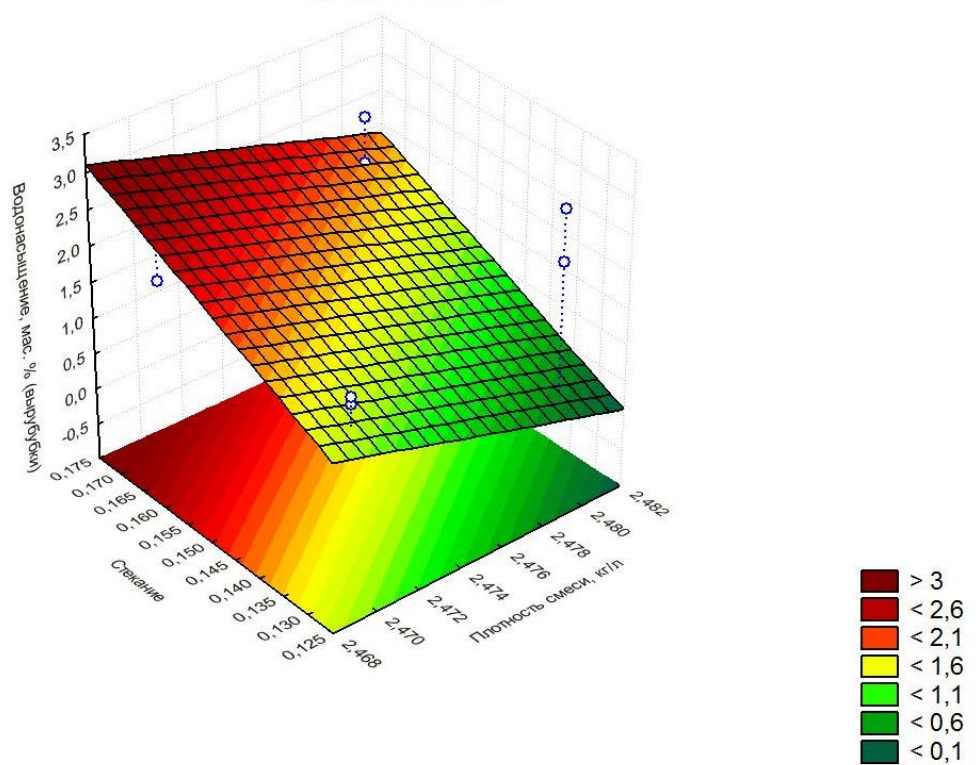


Рисунок 15 – Функция желательности водонасыщения при максимальном значении прочности

Как видно из графиков, зависимость показателей линейна и не имеет резких изгибов или скачков.

Проверку адекватности полученных моделей уравнений регрессии проводились с помощью критерия Фишера (двухвыборочного F – теста для дисперсии значений), а также критерия Кохрена путем определения однородности дисперсии.

Таблица 30 – Двухвыборочный F-тест для дисперсии

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	2,07	2,09
Дисперсия	0,30	0,26
Наблюдения	8	8
dF	7	7
F	1,181	
P(F<=f) одностороннее	0,416	
Fкрит	3,787	

Из таблицы видно, что расчетный коэффициент Фишера(F) меньше Fкрит(табличное значение), что говорит о том, что полученные нами уравнения регрессии адекватны и показатели, полученные на их основе верны.

$$Y_2 = -2810,86 + 1407,26X_4 + 536,65X_5 + 719,21X_6 - 60,27X_4X_5 - 503,57X_4X_6 - 141,70X_5X_6$$

$$Y_4 = -14546,3 + 5902X_4 - 702,9X_5 + 5413,4X_6 - 59,4X_4X_5 - 2189,3X_4X_6 + 216X_5X_6$$

Анализ уравнений регрессии водонасыщения лабораторных образцов, показал, что наибольшее влияние на водонасыщение оказывает плотность асфальтобетонной смеси, в то время как влияние прочности при сжатии и стекание асфальтобетонной смеси в 2 и в 3 раза меньше соответственно.

Однако, анализируя уравнение регрессии водонасыщения асфальтобетонных вырубков из покрытия автомобильной дороги, степень влияния плотности и прочности асфальтобетона увеличивается в 4 и 7,5 раз соответственно. Это позволяет сделать вывод о непосредственном влиянии технологии укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси в покрытие.

Заключение

1. В работе были рассмотрены результаты ежедневных исследований свойств материалов для получения асфальтобетонной смеси и ее свойства полученные за период июль-август 2016 года и использованных на участке ремонта автомобильной дороги Р-255 «Сибирь», км 656+000 – 664+000, который производился подрядной организацией Ачинское ДРСУ. Анализ выборки результатов показал, что, несмотря на изменение свойств в каждом отборе результаты физико-механических показателей основных компонентов асфальтобетонной смеси соответствуют требованиям ГОСТ 31015-2002 Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичный. Технические условия.
2. Методом планирования эксперимента была установлена регрессионная зависимость плотности и асфальтобетона от чистоты крупного заполнителя, его дробимости и плотности. Анализ уравнений регрессии показал, что наибольшее влияние на показатель водонасыщения в лабораторных образцах оказывает плотность щебня, а также его чистота характеризующаяся содержанием пыли и глины. В тоже время следует отметить, что влияние плотности щебня на водонасыщение асфальтобетонных вырубков из покрытия увеличивается примерно в 2 раз, а влияние содержания пыли и глины остается практически неизменным в сравнении с образцами из лаборатории.
3. С помощью функции желательности было установлено, что для получения оптимального значения водонасыщения асфальтобетонных образцов-вырубков возможно при плотности щебня – $2,72 \text{ кг/м}^3$, дробимости – 11,8 % и содержании пыли и глины 7 %.
4. Проверку адекватности полученных моделей уравнений регрессии показывающих влияние свойств асфальтобетонной смеси на водонасыщение лабораторных образцов и вырубков проводились с помощью критерия Фишера, а также критерия Кохрена путем определения однородности дисперсии. Сравнение расчетных критериев с табличными данными показал, что расчетные показатели меньше табличных значений, что доказывает адекватность полученных нами уравнений регрессии.

Список используемых источников

1. ГОСТ 12801-98 Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. – Взамен ГОСТ 12801-94; дата введ. 01.01.1999. – М.: Госстрой, 1999. – 53 с.
2. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний (с изменениями). Переизд.; дата введ. 01.07.1989. – М.: Стандартформ, 2006. – 67 с.
3. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. Взамен ГОСТ 3344-83; дата введ. 01.07.1998. – М.: Госстрой, 1998. – 96 с.
4. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия(с поправкой). Взамен ГОСТ 8736-93; дата введ. 01.04.2015. – М.: ФГУП «ВНИПИИстромсырьё», 2014. – 11 с.
5. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Взамен ГОСТ 8267-82, ГОСТ 8268-82, ГОСТ 10260-82, ГОСТ 23254-78, ГОСТ 26873-86; дата введ. 01.01.1995. – М.: Госстрой, 1993. – 13 с.
6. ГОСТ 11505-75* Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости. Взамен ГОСТ 11505-65; дата введ. 01.01.1977. – М.: Стандартиформ, 2008. - 4 с.
7. ГОСТ 11506-73 Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. Введ. впервые; дата введ. 01.01.1974. – М.: Стандартиформ, 2008. – 7с.
8. ГОСТ 18180-72* Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева. Введ. впервые; дата введ. 01.01.1974. – М.: Стандартиформ, 2009. - 4 с.
9. ГОСТ11501-78* Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы. Взамен ГОСТ 11501-73; дата введ. 01.01.1980.- М.: Стандартиформ, 2008. – 7 с.
10. ГОСТ 11508-74 Битумы нефтяные. Метод определения сцепления битума с мрамором и песком. Взамен ГОСТ 11508-65, ГОСТ 11509-65; дата введ. 01.01.1975. – М.: Стандартиформ, 2005. – 7с.
11. ГОСТ11507-78* Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу. Взамен ГОСТ 11507-65; дата введ. 01.01.1980. – М.: Стандартиформ, 2008. – 7 с.
12. ГОСТ 4333-2014 Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле. Взамен ГОСТ 4333-87; дата введ. 01.07.2016. – М.: Стандартиформ, 2015. – 19 с.
13. ГОСТ 22245-90 Битумы нефтяные дорожные вязкие. Взамен ГОСТ 22245-76; дата введ. 01.01.1991. – М.: Госстандарт, 1990. – 9с.

14. ГОСТ 31015-2002 Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичный. Технические условия. Введ. впервые; дата введ. 30.04.2003. – М.: Госстрой, 2003. – 20 с.
15. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента [Текст] :учебн. пособие для вузов / Г. И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Мн.: БГУ, 1982. – 302 с.
16. Краюшкина, К. К. Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.: дис. докт: защищена 28.05.2013. - ТЕХНИКА ВТУ им. Гедиминаса, 2013. – 202 с.

Матрица планирования в натуральном выражении

X ₄	X ₅	X ₆	Y ₂	Y ₄
2,48	0,17	2,74	2,32	2,53
2,48	0,13	2,74	1,95	2,90
2,47	0,17	2,74	1,87	2,46
2,47	0,13	2,74	1,25	1,60
2,48	0,17	2,55	2,63	1,88
2,48	0,13	2,55	1,95	2,18
2,47	0,17	2,55	2,97	1,48
2,47	0,13	2,55	1,62	1,7

Матрица планирования в кодированном виде

X ₄	X ₅	X ₆	Y ₂	Y ₄
+	+	+	2,32	2,53
+	-	+	1,95	2,90
-	+	+	1,87	2,46
-	-	+	1,25	1,60
+	+	-	2,63	1,88
+	-	-	1,95	2,18
-	+	-	2,97	1,48
-	-	-	1,62	1,7

Двухвыборочный F-тест для дисперсии

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	2,07	2,09
Дисперсия	0,30	0,26
Наблюдения	8	8
dF	7	7
F		1,181
P(F<=f) одностороннее		0,416
Fкрит		3,787

X₄ - плотность асфальтобетонной смеси;

X₅ - стекание асфальтобетонной смеси;

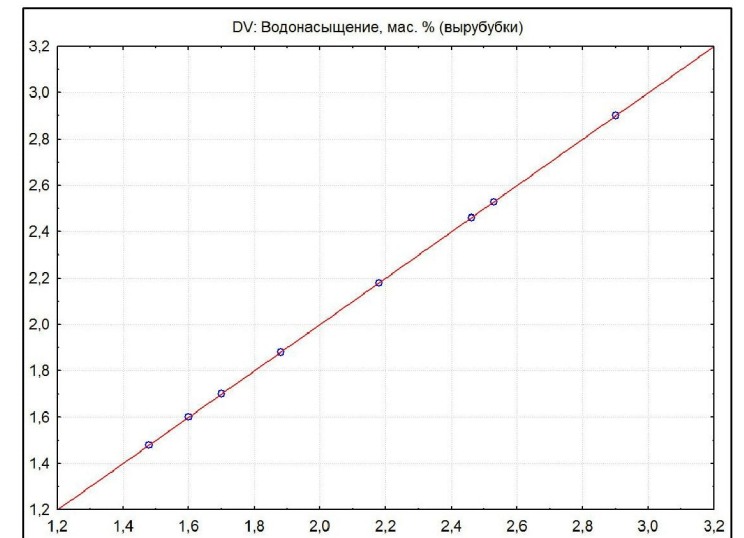
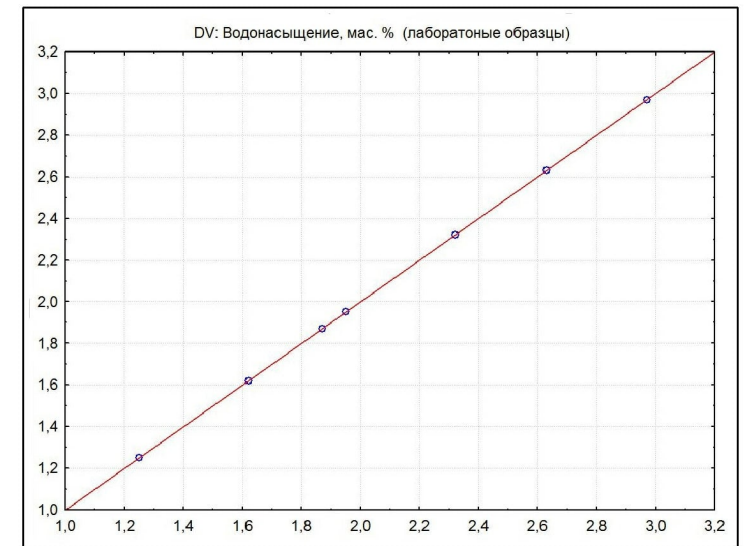
X₆ - прочность R20.

Y₂ - водонасыщение образцов асфальтобетона, полученных в лаборатории;

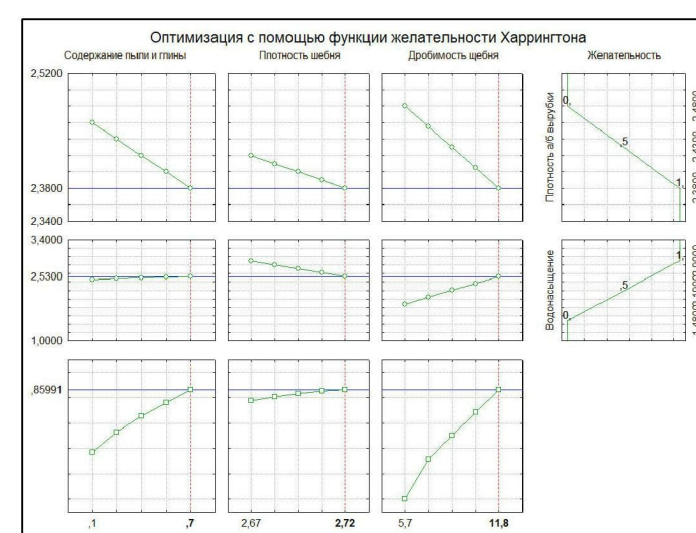
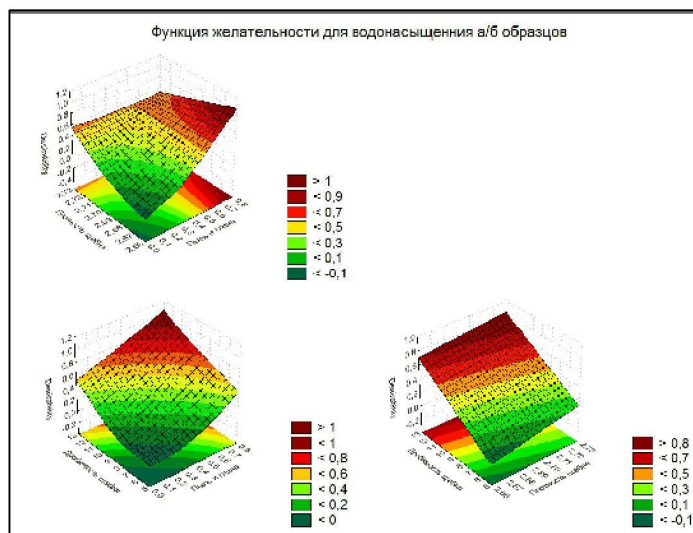
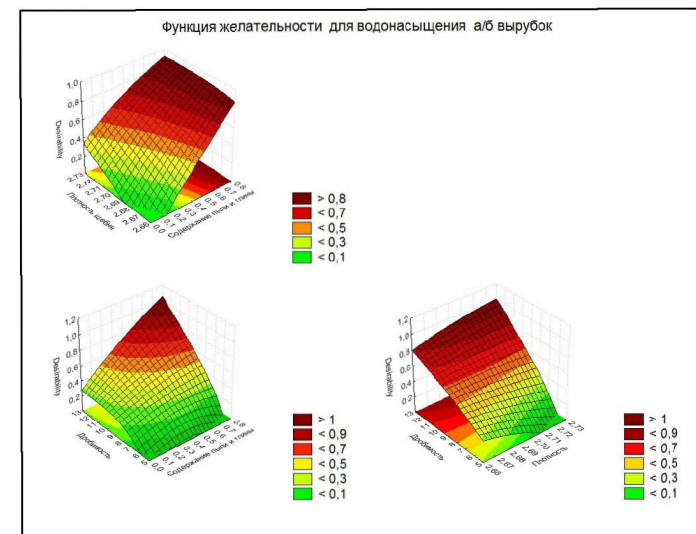
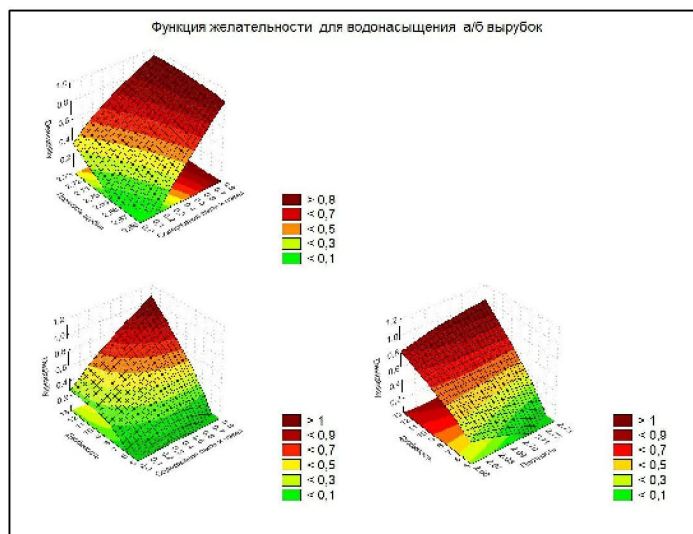
Y₄ - водонасыщение образцов асфальтобетона, полученных из покрытия
автомобильной дороги.

$$Y_2 = -2810,86 + 1407,26X_4 + 536,65X_5 + 719,21X_6 - 60,27X_4X_5 - 503,57X_4X_6 - 141,70X_5X_6$$

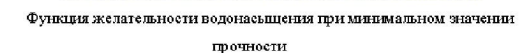
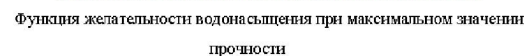
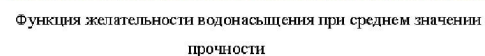
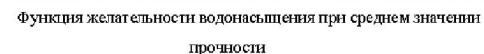
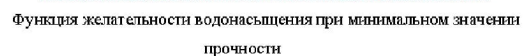
$$Y_4 = -14546,3 + 5902X_4 - 702,9X_5 + 5413,4X_6 - 59,4X_4X_5 - 2189,3X_4X_6 + 216X_5X_6$$



						ВКР – 06.03.01.0015 – 2017		
						Сибирский федеральный Университет Инженерно-строительный институт		
Имя	Фамилия	Паспорт	группа	Пол	Дата			
Разработчик	Дисциплина	Статистический анализ задачи водонасыщения асфальтобетона от свойств параметрических данных				Страница	Лист	Листов
Проф.	АД					у	4	5
Матрица планирования и уравнения регрессии						Кафедра АДГС		
Заб. номер	Регистрация	Р.З.						



ВКР – 08.03.01.0015 – 2017					
Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт					
Имя	Имя	Лист	Форм	Полн	Дати
Разраб	Одобрено	Лист	Лист	Лист	Лист
Проб	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Статистический анализ Заб. образцов, водонасыщение от образцов Функция желательности Е.К.Харрингтона для УЗ(К1,К2,К3) и УЗ(К1,К2,К3)				Статист	Лист
Заб. образцов, водонасыщение				УЗ	Лист
Заб. образцов, водонасыщение				УЗ	Лист



				ВКР – 06.03.01.0015 – 2017					
				Сибирский федеральный Университет Инженерно-строительный институт					
Имя, Котур	Васильев	Александр	Полн.	Отличительный анализ технологии изготовления соединения на основе аэрогеля/полимерной пены			Специ.	Лист	Лист
Родит.	Александр	Александр	Дополн.				у	3	5
Проф.	И.А.	И.А.	И.А.						
Заб. кафедр.				Функция: преподаватель Е.К.Курбатова 720443368			Кафедра АШСт		

Матрица планирования в кодированном виде

X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
+	+	+	2,47	2,32	2,38	2,53
+	-	+	2,47	1,95	2,42	2,90
-	+	+	2,47	1,87	2,46	2,46
-	-	+	2,47	1,25	2,48	1,60
+	+	-	2,47	2,63	2,48	1,88
+	-	-	2,47	1,95	2,46	2,18
-	+	-	2,47	2,97	2,45	1,48
-	-	-	2,48	1,62	2,47	1,7

Матрица планирования в натуральном выражении

X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
0,7	2,72	11,8	2,47	2,32	2,38	2,53
0,7	2,67	11,8	2,47	1,95	2,42	2,90
0,1	2,72	11,8	2,47	1,87	2,46	2,46
0,1	2,67	11,8	2,47	1,25	2,48	1,60
0,7	2,72	5,7	2,47	2,63	2,48	1,88
0,7	2,67	5,7	2,47	1,95	2,46	2,18
0,1	2,72	5,7	2,47	2,97	2,45	1,48
0,1	2,67	5,7	2,48	1,62	2,47	1,7

X₁ - содержание пыли и глины;

X₂ - плотность щебня;

X₃ - дробимость щебня;

Y₁ - плотность образцов асфальтобетона, сформированных в лаборатории;

Y₂ - водонасыщение образцов асфальтобетона, сформированных в лаборатории;

Y₃ - плотность образцов-вырубок;

Y₄ - водонасыщение образцов-вырубок;

$$Y_2 = -64,44 + 20,87X_1 + 25,23X_2 + 2,56X_3 - 8,3X_1X_2 + 0,22X_1X_3 - 1,02X_2X_3$$

$$Y_3 = -2,99 + 2,03X_1 + 1,99X_2 + 0,54X_3 - 0,7X_1X_2 - 0,03X_1X_3 - 0,197X_2X_3$$

$$Y_4 = -64,86 + 112,7X_1 + 24,008X_2 + 0,79X_3 - 41X_1X_2 - 0,09X_1X_3 - 0,23X_2X_3$$

График уравнения регрессии Y₂(X₁,X₂,X₃)

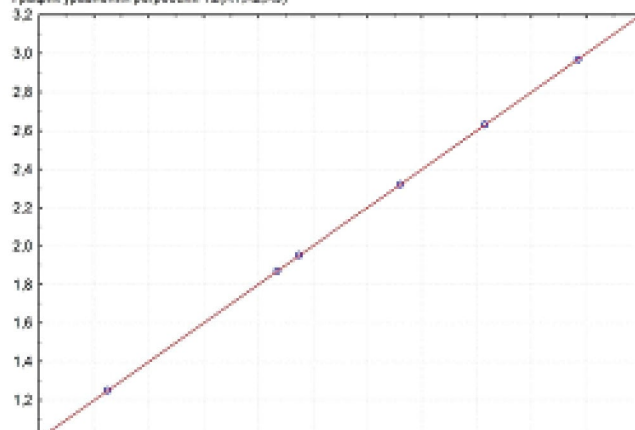


График уравнения регрессии Y₃(X₁,X₂,X₃)

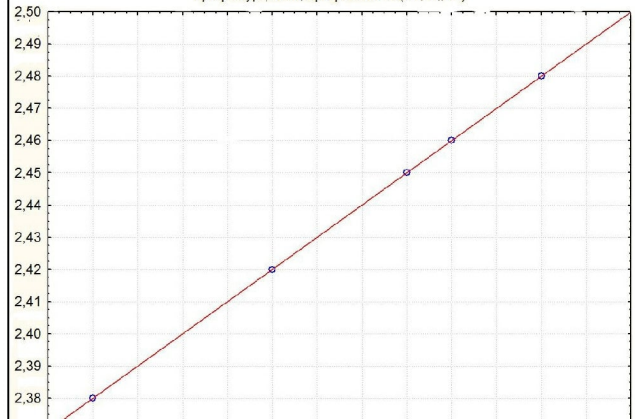
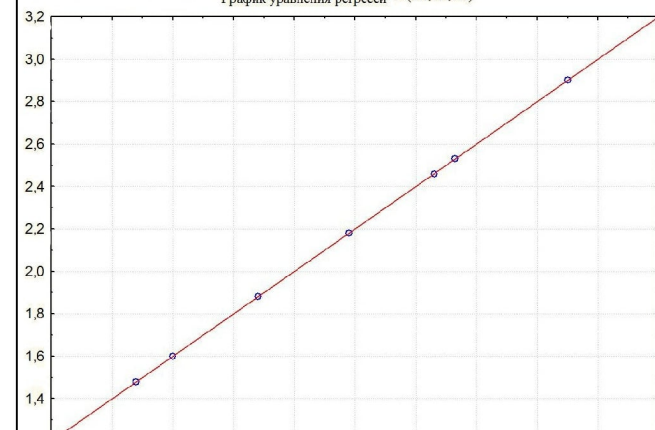


График уравнения регрессии Y₄(X₁,X₂,X₃)



ВКР – 08.03.01.0015 – 2017					
Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт					
Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия
Разработчик	Проверенный	Доработанный	Доработанный	Доработанный	Доработанный
Проверенный	Доработанный	Доработанный	Доработанный	Доработанный	Доработанный
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					
Итого					

Свойства асфальтобетонных образцов полученных формованием в лаборатории.

Неделя	Средняя плотность г/см³	Водопоглощение	Стеkanie ЩМА	Предел прочности и при сжатии, МПа R50 R20	Водоустойчивость при динамическом водопоглощении
1	2,48	2,41	0,15	0,74 2,7	0,91
	2,47	2,76	0,13	0,73 2,71	0,91
	2,47	2,2	0,17	0,72 2,68	0,91
	2,47	2,07	0,11	0,7 2,7	0,91
	2,47	2,17	0,17	0,71 2,72	0,91
Среднее за неделю	2,47	2,32	0,15	0,72 2,70	0,91
	2,47	2,16	0,11	0,69 2,7	0,91
	2,48	2,03	0,16	0,73 2,42	0,91
	2,47	1,96	0,14	0,71 2,71	0,91
	2,47	1,74	0,17	0,69 2,7	0,91
Среднее за неделю	2,47	1,84	0,13	0,72 2,68	0,91
	2,47	1,95	0,14	0,71 2,64	0,91
	2,47	1,03	0,12	0,73 2,72	0,91
	2,48	2,41	0,15	0,8 2,74	0,91
	2,47	2,11	0,12	0,7 2,62	0,91
Среднее за неделю	2,47	1,96	0,18	0,68 2,6	0,91
	2,48	1,84	0,09	0,74 2,78	0,91
	2,47	1,87	0,13	0,73 2,69	0,91
	2,47	1,92	0,12	0,74 2,64	0,91
	2,47	0,99	0,08	0,82 2,68	0,91
Среднее за неделю	2,47	0,86	0,17	0,78 2,7	0,91
	2,48	1,16	0,15	0,69 2,56	0,91
	2,48	1,32	0,13	0,76 2,64	0,91
	2,47	1,25	0,13	0,76 2,64	0,91
	2,48	1,96	0,14	0,72 2,68	0,91
Среднее за неделю	2,47	3,24	0,18	0,68 3,07	0,91
	2,47	3,01	0,2	0,78 2,64	0,91
	2,47	2,76	0,17	0,69 2,7	0,91
	2,47	2,16	0,15	0,77 2,61	0,9
	2,47	2,63	0,17	0,73 2,74	0,91
Среднее за неделю	2,47	2,07	0,08	0,7 2,58	0,9
	2,48	1,76	0,2	0,68 2,71	0,9
	2,47	1,64	0,2	0,72 2,78	0,9
	2,47	2,17	0,17	0,7 2,69	0,91
	2,47	2,11	0,18	0,69 2,6	0,91

Результаты испытания песка

Дата отбора проб	Зерновой состав, % остатка на ситах									Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Модуль крупности	Содержание глинистых частиц методом набухания, %
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0			
Июнь	100	100	87,85	76,75	31,4	27,2	21,5	17,75	11,9	11,9	3,02	0,2
Июль	100	100	86,7	76,8	32,9	27,33	21,23	17,17	11,47	11,47	3	0,2
Август	100	100	93,95	79,2	29,85	25,2	18,5	14,7	19,2	9,6	3,1	0,2

Свойства асфальтобетонных образцов-вырубок из асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги

Неделя	Объем сухого образца, см³	Средняя плотность г/см³	Водопоглощение, % объема
1	343,6	2,4	2,8
	385,4	2,39	2,5
	282,9	2,37	2,5
	338,3	2,4	2,7
	316,8	2,36	2,16
Среднее за неделю	333,80	2,38	2,53
	371,1	2,36	2,1
	267,1	2,44	3,3
	342,58	2,45	2,9
	315,58	2,4	3,2
Среднее за неделю	409,1	2,46	3
	339,29	2,42	2,90
	309,1	2,45	1,8
	259,89	2,42	2,7
	351,3	2,43	3,4
Среднее за неделю	316,2	2,47	3,3
	308,2	2,51	1,1
	308,94	2,46	2,46
	254,8	2,49	1,6
	269,3	2,54	0,5
Среднее за неделю	187,48	2,4	3
	220,3	2,5	1,1
	334,1	2,48	1,8
	253,20	2,48	1,80
	337,17	2,48	1,7
Среднее за неделю	260,2	2,45	3
	453,3	2,47	2,2
	25,37	2,52	1,3
	344,94	2,47	1,2
	284,20	2,48	1,88
Среднее за неделю	297,08	2,48	2,2
	281,1	2,45	2,6
	254,81	2,43	1,6
	183,02	2,45	2,4
	246,79	2,48	2,1
Среднее за неделю	251,36	2,46	2,18
	387,4	2,4	2,5
	172,07	2,41	1,1
	253,44	2,47	1,1
	208,4	2,5	1,5
Среднее за неделю	242,88	2,46	1,2
	271,44	2,45	1,48
	306,99	2,52	1,6
	302,76	2,47	1,2
	360,2	2,45	1,6
Среднее за неделю	264,5	2,46	1,7
	321,72	2,46	2,4
	311,24	2,47	1,70

Средние значения физико-механических характеристики щебня

Дата испытаний	Зерновой состав, %					Зерновой состав, %		Содержание зерен лещадной формы	Содержание зерен слабых поперечном направлении	Содержание пылевых и	Прочность		Средняя плотность щебня, г/см³
	40	20	10	5	2,5	Д наиб.	Д наим.				Дробимость, %	Испыраемость (потери), %	
Июнь	5,2	4	57	56	2,2	4,8	98,6	15,9	1,48	0,25	9,93	14,3	2,69 F100
Июль	4,6	5	58	58	1,3	4,25	99,5	6,82	0,56	0,32	8,44	11,02	2,7 F100
Август		6	6	45		5,18	99,6	6,25	0,45	0,15	5,7	6,1	2,72 F100

Результаты испытания битума

Дата	Марка	Глубина проникания иглы, 0,1 мм		Растяжимость, см		Температура размягчения по	Изменение температуры	Индекс	Сцепление с асфальтобетоном	Температура хрупкости, 0С	Температура вспышки, С
		при 25	при 0	при 25	при 0						
Июнь	БНД 90/130	112,5	35,5	92	4,55	46,9	3	0,5	хор	-25	312
Июль	БНД 90/130	112,1	34,9	91,4	5,5	44,6	4,2	0,6	хор	-25	312
Август	БНД 90/130	106,04	33,9	87,3	5,1	42,8	4	0,5	хор	-25	312