

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РЕМОНТА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ
ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДОНБАССА**

МОНОГРАФИЯ

Горловка

2023

УДК 625.72:622.834

ББК 38.74

С-458

Рекомендовано ученым советом
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»
(Протокол № 1 от 17.02.2023 г.)

Рецензенты:

Братчун В. И. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобильные дороги и аэродромы» ГОУВПО «ДонНАСА»

Мельникова Е. П. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент организаций» АДИ ГОУВПО ДОННТУ

Коллектив авторов: Скрыпник Т. В., Морозова Л. Н., Губа В. В., Шилин И. В., Бушева В. М., Пархоменко В. В., Третьякова Л. Н., Коноплястова Е. В., Ляшенко Ю. П.

С-458 **Совершенствование технологий ремонта автомобильных дорог и конструктивных схем автодорожных мостов при восстановлении транспортной инфраструктуры Донбасса :** монография / Коллектив авторов: Т. В. Скрыпник, Л. Н. Морозова, В. В. Губа [и др.]. – Донецк : ГОУВПО «ДОННТУ», 2023. – 146 с.

Монография посвящена проблеме совершенствования технологии ремонта автомобильных дорог и конструктивных схем автодорожных мостов при восстановлении транспортной инфраструктуры Донбасса.

Освещены вопросы оптимизации методики стабилизации грунта с указанием вида стабилизаторов и пластифицирующих добавок, вводимых в грунт; усовершенствования состава органоминеральной смеси за счет использования асфальтогранулята в ее составе; организации строительства слоя дорожного покрытия из органоминеральной смеси за счет применения ВІМ-технологии с разработкой регламента устройства слоя основания из горелой отвальной породы; оптимального проектирования габаритов железобетонных автодорожных мостов с определением количества балок и оптимального расстояния между ними. Приведены рекомендации по приготовлению и технологии стабилизации грунтовой смеси ферментом Perma-Zyme с учетом техники безопасности.

Монография предназначена для специалистов дорожной отрасли, студентов направлений подготовки «Строительство», «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей»

УДК 625.72:622.834

ББК 38.74

© Скрыпник Т. В., Морозова Л. Н., Губа В. В., Шилин И. В., Бушева В. М., Пархоменко В. В., Третьякова Л. Н., Коноплястова Е. В., Ляшенко Ю. П., 2023

© АДИ ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	8
1. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	10
1.1. Требования к дорожно-строительным материалам.....	10
1.1.1. Классификация грунтов по степени их пригодности для различных видов стабилизации и комплексного укрепления грунтов.....	10
1.1.2. Рекомендуемые физико-химические показатели стабилизаторов	11
1.1.3. Рекомендуемые элементы дорожной конструкции из грунтов стабилизированных, комплексно стабилизированных и укрепленных.....	13
1.1.4. Рекомендуемые показатели водно-физических свойств грунтов, обработанных стабилизаторами для дорожного строительства.....	14
1.1.5. Рекомендуемые показатели прочностных и водно-физических свойств комплексно стабилизированных грунтов.....	16
1.1.6. Рекомендуемые показатели физико-механических (прочностных) свойств грунтов, укрепленных вяжущими с добавками стабилизаторов	16
1.1.7. Классификация стабилизаторов грунтов.....	17
1.1.8. Пластифицирующие добавки	19
1.1.9. Виды стабилизаторов и стабилизации грунта	19
1.1.10. Область применения и преимущества фермента Perma-Zyme.....	22
1.2. Рекомендации по выполнению технологии стабилизации грунтовых конструкций.....	25
1.2.1. Анализ технологий по устройству стабилизированных грунтовых конструкций.....	25
1.2.2. Возведение покрытий автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения на основе использования фермента Perma-Zyme	28
1.2.3. Рекомендации по приготовлению грунтовой смеси с ферментом Perma-Zyme и технологии устройства дорожной конструкции.....	31
1.2.4. Операционный контроль качества укрепленного грунта	32
1.2.5. Приемочный контроль качества укрепленного грунта	33

1.2.6. Последовательность уплотнения слоя покрытия из укрепленного грунта	34
1.3. Техника безопасности при работе с ферментом Perma-Zyme	35
1.4. Транспортировка и хранение	37
1.5. Выводы	38
2. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ СМЕСИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА.....	39
2.1. Подбор состава органоминеральной смеси с использованием асфальтогранулята.....	39
2.1.1. Проведение испытаний асфальтогранулята для возможности использования его в органоминеральной смеси	44
2.2. Разработка рекомендаций по подготовке и использованию асфальтогранулята в составе органоминеральной смеси.....	49
2.3. Выводы	51
3. ВМ-ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СЛОЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ СМЕСИ.....	52
3.1. Аспекты применения ВМ-технологии в строительстве	52
3.2. Анализ исходных технических характеристик объекта дорожного строительства	57
3.3. Оптимизация проекта организации строительства слоя дорожного покрытия из органоминеральной смеси за счет применения ВМ-технологии	69
3.4. Разработка технологического регламента устройства слоя основания из горелой отвалной породы с использованием ВМ-технологии.....	78
3.5. Выводы	84
4. ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГАБАРИТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ.....	86
4.1. Общие положения	86
4.2. Определение оптимального количества балок для заданного габарита и оптимального расстояния между ними.....	90
4.3. Исследование влияния геометрических характеристик на несущую способность пролетного строения	94
4.4. Оценка точности результатов расчета определения коэффициента поперечной установки и несущей способности	96
4.5. Результаты исследований	97

4.6. Выводы	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	99
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	101
ПРИЛОЖЕНИЕ А Определение физико-механических свойств грунта	110
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Результаты испытания образцов грунта с ферментом	112
ПРИЛОЖЕНИЕ В Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов.....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Характеристика пролетных строений.....	120
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Результаты расчета коэффициента поперечной установки и несущей способности пролетного строения по украинским нормативам	121
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Графики зависимости коэффициента поперечной установки и расстояния между балками для габаритов моста по украинским нормативам	125
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Результаты расчета коэффициента поперечной установки и несущей способности пролетного строения по российским нормативам	127
ПРИЛОЖЕНИЕ И Графики зависимости коэффициента поперечной установки и расстояния между балками для габаритов моста по российским нормативам	133

ПРЕДИСЛОВИЕ

Монография «Совершенствование технологий ремонта автомобильных дорог и конструктивных схем автодорожных мостов при восстановлении транспортной инфраструктуры Донбасса» является результатом научных исследований кафедры автомобильные дороги и искусственные сооружения Автомобильно-дорожного института ГОУВПО «ДОННТУ» и охватывает четыре вопроса: стабилизация грунта в зависимости от условий эксплуатации земляного полотна и дорожной одежды; возможность использования асфальтогранулята в составе органоминеральной смеси; применение ВМ-технологии при строительстве слоя дорожного покрытия; определение оптимального количества балок для заданного габарита автодорожного моста и оптимального расстояния между ними.

Первый раздел посвящен проблеме стабилизации грунта, находящегося в земляном полотне под дорожной одеждой. Приведена классификация грунтов по степени их пригодности к укреплению и стабилизации; рассмотрены физико-химические показатели и водно-физические свойства грунтов, а также виды стабилизаторов и пластифицирующих добавок для стабилизации грунта. Для качественной стабилизации грунта рекомендовано использование фермента Perma-Zyme, который хорошо себя зарекомендовал при возведении дорожных покрытий автомобильных дорог с низкой интенсивностью. Даны рекомендации по приготовлению грунтовой смеси с предложенным ферментом с учетом техники безопасности при проведении данных работ. Уделено внимание операционному контролю качества укрепленного грунта, а также хранению и транспортировке фермента Perma-Zyme.

Во втором разделе рассмотрена возможность использования асфальтогранулята в составе органоминеральной смеси для выполнения ремонта дорожного покрытия автомобильных дорог. Выполнен анализ и подбор оптимального состава органоминеральной смеси с использованием асфальтогранулята. Асфальтогранулят является материалом, получаемым путем фрезерования старого асфальтобетона, который ранее вывозился как строительный мусор. Современные технологии позволяют использовать любой строительный материал в качестве основного материала или наполнителя в производстве асфальтобетона. Приведены рекомендации по подготовке и использованию асфальтогранулята в составе органоминеральной смеси.

В третьем разделе рассматривается использование BIM-технологий при строительстве слоя дорожного покрытия. В настоящее время применение BIM-технологий в строительстве является перспективным направлением при организации технологических процессов строительства. BIM-технологии необходимо рассматривать как инструмент цифровизации дорожного хозяйства, который позволит вести экономически выгодную политику. Данная технология позволяет выполнить информационное моделирование всей дороги в целом и нужную информацию визуализировать в различных представлениях (чертежи, ведомости и другие документы). Оптимизирован проект организации строительства слоя дорожного покрытия, а также предложен технологический регламент по его устройству.

Четвертый раздел посвящен оптимальному проектированию габаритов железобетонных автодорожных мостов при проведении восстановительных мероприятий транспортной инфраструктуры. Исследовано влияние количества балок в поперечном сечении и расстояния между ними на коэффициент поперечной установки, а также влияние геометрических и прочностных характеристик бетона на несущую способность пролетных строений мостов. Предложены рациональные схемы габаритов автодорожных мостов с оптимальным количеством элементов.

1. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

1.1. Требования к дорожно-строительным материалам

1.1.1. Классификация грунтов по степени их пригодности для различных видов стабилизации и комплексного укрепления грунтов

Грунты, обработанные стабилизаторами и пластифицирующими добавками, подразделяют на: стабилизированные; комплексно стабилизированные; комплексно укрепленные.

Грунты получают по технологии их перемешивания при оптимальной влажности с малыми дозами стабилизаторов-активных добавок, не являющимися вяжущими. Комплексно стабилизированные грунты получают по той же технологии, но с использованием до 2 % вяжущих (органических или минеральных). Комплексно укрепленные грунты отличаются от комплексно стабилизированных содержанием вяжущих более 2 % [1].

Все разновидности грунтов и стабилизаторов по своим химическим свойствам должны быть совместимы вне зависимости от вида этой обработки и элемента дорожной конструкции, где данный грунт предполагается использовать. Общие условия химической совместимости грунтов и стабилизаторов следует определять по дорожной классификации стабилизаторов.

После определения вида грунта и выбора совместимой с ним группы стабилизаторов по их виду (катионные, анионные или универсальные), следует дополнительно провести лабораторные исследования (приложение А, таблицы А.1–А.5, рисунки А.1 и А.2), поскольку при том или ином виде химической активности реальный грунт может иметь различный гранулометрический состав и содержать различное количество пылеватых и глинистых частиц, а также других составляющих своей структуры [1].

На эффективность стабилизированных и комплексно укрепленных грунтов оказывают влияние следующие характеристики естественных грунтов:

- содержание глинистых частиц, %;
- содержание песчаных частиц, %;
- число пластичности;

- водородный показатель, рН;
- содержание гумусовых веществ, %;
- содержание гипса, %;
- содержание легкорастворимых солей: хлоридов и сульфатов, %;
- емкость обмена, мг-экв. на 100 г грунта.

Рекомендуемые параметры этих величин, а также степень пригодности грунтов к способу их обработки (стабилизации, комплексной стабилизации и комплексного укрепления) приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Виды обработки грунта, степень их пригодности

Наименование показателей грунтов	Виды обработки грунта, степень их пригодности					
	Стабилизация грунтов		Комплексная стабилизация грунтов		Комплексное укрепление грунтов	
	Наиболее пригодны	Пригодны	Наиболее пригодны	Пригодны	Наиболее пригодны	Пригодны
Содержание глинистых частиц, %	3–12	12–15	3–15	12–25	3–25	12–30
Содержание песчаных частиц, % от веса сухого грунта (2–0,05 мм)	20–50	не менее 20	более 50	более 40	более 50	более 40
Число пластичности	3–12	12–17	3–17	12–20	3–20	12–22
Водородный показатель, рН	6–8	5–10	6–8	5–10	6–8	5–10
Содержание гумусовых веществ, %	не более 1	не более 2	не более 1	не более 2	не более 2	не более 4
Содержание гипса, %	не более 2	не более 2	не более 3	не более 3	не более 10	не более 10
Содержание легкорастворимых солей, %, хлориды; сульфаты	не более 2	не более 1	не более 2	не более 3	не более 3	не более 3
	отсутствует	не более 1	не более 1	не более 1	не более 2	не более 4
Емкость обмена, мг-экв. на 100 г грунта	3–15	3–20	3–15	3–20	3–15	3–20

Данные требования позволяют, не выполняя специальных лабораторных работ, произвести более полный и обоснованный предварительный отбор и оценку грунтов на предмет целесообразности их обработки стабилизаторами с пластифицирующими добавками и вяжущими [1].

1.1.2. Рекомендуемые физико-химические показатели стабилизаторов

При подборе вида стабилизатора следует также учитывать технологические особенности грунтосмесительной техники и способ внесения в обрабатываемый слой грунта стабилизатора и пластифицирующих добавок,

которые часто зависят от их физического состояния (водный раствор или порошок).

Одним из основных показателей эффективности подбираемого стабилизатора и пластифицирующих добавок является их ионная активность. Она определяет силу взаимодействия стабилизатора и пластифицирующих добавок с поверхностью пылевато-глинистых частиц грунта.

С учетом сложности определения данной характеристики существующими методами, следует при сравнении нескольких видов стабилизаторов и пластифицирующих добавок или уточнении его расхода (или концентрации раствора) ориентироваться на способность водного раствора стабилизатора или обработанного стабилизатором грунта изменять высоту капиллярного поднятия в сравнении с аналогичной характеристикой для дистиллированной воды.

Чем больше будет разница по высоте капиллярного поднятия в сравнении с аналогичной характеристикой для дистиллированной воды, тем активнее будет исследуемый стабилизатор и пластифицирующая добавка. Сравнительные испытания подобного вида следует проводить на одних и тех же грунтах в аналогичных условиях [1].

В таблице 1.2 представлены рекомендуемые физико-химические показатели стабилизаторов.

Таблица 1.2 – Рекомендуемые физико-химические показатели стабилизаторов

Наименование показателей	Физическая величина
Плотность, кг/м ³	0,98–1,15
Водородный показатель, pH	До 10
Степень гидрофобизации грунта, обработанного стабилизатором определяется по формуле $B = \frac{W}{W_L},$ где $W = 0,5 \cdot W \cdot I_g$ – влажность грунта в %; $W \cdot I_g$ – влажность на границе текучести гидрофобизированного (обработанного стабилизатором) грунта; W_L – влажность на пределе текучести исходного грунта)	Менее 0,2
Снижение высоты капиллярного поднятия воды (добавкой растворимого стабилизатора) в грунте или дистиллированной воды в стабилизированном порошком грунте	Не менее, чем на 96 %

1.1.3. Рекомендуемые элементы дорожной конструкции из грунтов стабилизированных, комплексно стабилизированных и укрепленных

В зависимости от вида обработки грунта стабилизаторами и вяжущими, а также элемента дорожной конструкции следует учитывать, что физико-механические и водно-физические свойства обработанных грунтов должны удовлетворять вполне определенным требованиям, при которых обеспечивается их надежная работа в данном конструктивном элементе [1].

Физико-механические и водно-физические свойства следует отличать по следующим показателям, каждому из которых присвоен определенный индекс:

индекс А – капиллярное водонасыщение;

индекс В – степень гидрофобности;

индекс С – снижение оптимальной влажности по сравнению с исходным грунтом, %;

индекс D – степень пучинистости (относительное морозное пучение образца), %;

индекс E – модуль упругости, МПа;

индекс F – размокаемость, %;

индекс G – набухание, % по объему;

индекс H – предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, МПа;

индекс K – предел прочности при растяжении при изгибе, МПа;

индекс L – коэффициент морозостойкости.

Набор требуемых характеристик обработанных грунтов, обозначаемых индексом, и их конкретная величина зависят от конструктивного элемента (слоя дорожной одежды или земляного полотна) и вида стабилизации.

В таблице 1.3 представлены рекомендуемые типы конструктивных слоев дорожной одежды и земляного полотна, в которых следует использовать грунты, обработанные по технологиям: стабилизации, комплексной стабилизации (стабилизатор с малыми – до 2 % – добавками вяжущих) и комплексного укрепления (стабилизатор с добавками вяжущих более 2 %) [1].

Применительно к каждому конструктивному элементу относится свой набор индексов свойств, которыми должен обладать грунт, обработанный стабилизаторами.

Приведенные значения показателей прочностных свойств грунтов,

обработанных по методу стабилизации, комплексной стабилизации (стабилизатор с малыми – до 2 % – добавками вяжущих) и комплексного укрепления (стабилизатор с добавками вяжущих более 2 %) получены после 28 суток твердения [1].

Таблица 1.3 – Рекомендуемые типы конструктивных слоев дорожной одежды и земляного полотна

Конструктивный слой	Рекомендуемые типы показателей
Верхний слой основания дорожной одежды	E3, G2, H, K, L
Нижний слой основания дорожной одежды	A2, B2, E2, F2, G1
Рабочий слой (верхняя часть земляного полотна)	A1, B1, C1, D, E1, F1
Покрытие с поверхностной обработкой для дорог V технической категории	E3, F2, G2, H, K, L
Покрытие с поверхностной обработкой для внутрихозяйственных, местных и лесовозных дорог, площадей, стоянок автотранспорта	E3, F2, G2, H, K, L

1.1.4. Рекомендуемые показатели водно-физических свойств грунтов, обработанных стабилизаторами для дорожного строительства

Для отсыпки рабочего слоя земляного полотна используются только стабильные грунты, которые не являются просадочными, засоленными, пучинистыми, повышенной влажности, переувлажненными, размокаемыми и неводостойкими [2], если не используются грунты скальные [3].

Данные требования, а также высокая степень их уплотнения ($K_y = 0,98-1,0$), обусловлены необходимостью обеспечения благоприятного воднотеплового режима и прочности конструкций дорожных одежд в условиях постоянного воздействия погодно-климатических факторов и транспортной нагрузки в той или иной дорожно-климатической зоне (ДКЗ) и типе местности по условиям ее увлажнения. При этом учитывают, что назначение величины расчетной влажности и модуля упругости деформации грунтов рабочего слоя относится к их состоянию на момент весеннего оттаивания, как наиболее неблагоприятному периоду года, и рассчитывается в соответствии с требованиями [4].

Стабилизация грунтов рабочего слоя может придать этим грунтам дополнительные положительные качества: гидрофобность, снижение капиллярного водонасыщения, повышение плотности при снижении оптимальной влажности и расчетной влажности при весеннем оттаивании,

возможность использовать местные связные грунты за счет снижения до требуемых величин их морозного пучения.

В качестве основных показателей, определяющих водно-физические свойства стабилизированных грунтов и учитывающих особенности их работы в дорожной конструкции, следует принимать следующие:

- капиллярное водонасыщение, %;
- степень гидрофобности;
- снижение оптимальной влажности, %;
- степень пучинистости (относительное морозное пучение образца, %);
- размокаемость (% по объему);
- модуль упругости, МПа.

Рекомендуемые показатели водно-физических свойств грунтов, обработанных стабилизаторами (технология стабилизации грунтов), в соответствии с принятыми индексами представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Рекомендуемые показатели водно-физических свойств грунтов, обработанных стабилизаторами

Индексы	Наименование показателей	Грунты, обработанные стабилизатором
A1	Капиллярное водонасыщение, %	не более 6
B1	Степень гидрофобности	не менее 0,2
C1	Снижение оптимальной влажности, % по сравнению с исходным грунтом	не менее 1
D	Степень пучинистости – относительное морозное пучение образца, % (не пучинистый)	не более 1
F1	Размокаемость (очень медленно размокающий)	менее 25 % объема за 24 часа
E1	Модуль упругости, МПа	не менее 80

Наиболее целесообразная область практического применения полученных материалов в дорожных конструкциях определяется в соответствии с принятыми индексами и полученными показателями свойств стабилизированных грунтов.

Определение этих характеристик следует производить на образцах обработанного грунта, приготовленных и выдержанных в соответствии с [6].

1.1.5. Рекомендуемые показатели прочностных и водно-физических свойств комплексно стабилизированных грунтов

Комплексно стабилизированные грунты содержат, кроме стабилизаторов и пластифицирующих добавок, еще до 2 % вяжущих материалов, и характеризуются более высокими показателями своих водно-физических и прочностных характеристик. Они могут быть рекомендованы к использованию как в конструктивных слоях дорожных одежд (слои грунтового основания), так и в грунтовых покрытиях с поверхностной обработкой дорог V технической категории и внутрихозяйственных дорог и проездов, не исключая возможности, при соответствующем технико-экономическом обосновании, использования этих грунтов и для рабочего слоя в дорогах высших технических категорий [1].

1.1.6. Рекомендуемые показатели физико-механических (прочностных) свойств грунтов, укрепленных вяжущими с добавками стабилизаторов

Комплексно укрепленные грунты отличаются от укрепленных грунтов [5] наличием стабилизаторов и пластифицирующих добавок, совместимых по своим свойствам с укрепляемым грунтом, что позволяет придать обрабатываемым грунтам дополнительно гидрофобизирующие свойства, повысить их морозостойкость и снизить расход вяжущего при сохранении высоких прочностных характеристик. Это позволяет использовать их в конструктивных слоях дорожных одежд жесткого и нежесткого типа автомобильных дорог с усовершенствованным и капитальным типом покрытий.

С учетом существующих требований, предъявляемых к укрепленным грунтам, комплексно укрепленные грунты, содержащие стабилизатор, пластифицирующие добавки и более 2 % вяжущего, по своим прочностным показателям должны удовлетворять рекомендуемым требованиям, приведенным в таблице 1.5.

В таблице 1.6 представлены рекомендуемые показатели пригодности грунтов для различных видов их стабилизации и комплексного укрепления, рекомендуемые показатели водно-физических свойств стабилизированных грунтов, показатели прочностных и водно-физических свойств комплексно стабилизированных грунтов, показатели прочностных свойств грунтов, укрепленных вяжущими с добавками стабилизаторов. То есть обобщены все виды обработки грунтов стабилизаторами без вяжущих и в присутствии

вяжущих, а также предлагаемые рекомендуемые показатели к указанным смесям и стабилизаторам [1].

Таблица 1.5 – Рекомендуемые показатели физико-механических свойств грунтов, обработанных стабилизаторами

Индексы	Наименование показателей	Грунты, обработанные стабилизатором с добавками вяжущих (от 2 % и менее)
A2	Капиллярное водонасыщение, %	не более 0,5
B2	Степень гидрофобности	не менее 0,2
D	Степень пучинистости – относительное морозное пучение образца, % (непучинистый)	не более 1
E2	Модуль упругости, МПа	не менее 120
F2	Размокаемость (неразмокающий)	менее 10 % объема за 48 часов
G1	Набухание, % по объему	не более 4

Таблица 1.6 – Рекомендуемые показатели пригодности грунтов для различных видов стабилизации и комплексного укрепления

Индексы	Наименование показателей	Грунты, укрепленные вяжущими с добавками стабилизаторов (содержание вяжущего более 2 %)
E3	Модуль упругости, МПа	не менее 200
G2	Набухание, % по объему	не более 2
H3	Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов, МПа	не менее 1,0
K3	Предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов, МПа	не менее 1,0
L3	Коэффициент морозостойкости	не менее 1,65

1.1.7. Классификация стабилизаторов грунтов

При разработке общей классификации стабилизаторов и пластифицирующих добавок для дорожного строительства учитывались следующие основные факторы [1]:

- сложившиеся в практике транспортного строительства технологические схемы и способы механизированного внесения стабилизаторов в грунты;
- особенности химической природы поверхностной активности стабилизаторов, в которой находит отражение наиболее принципиальное и важное свойство их химического состава;
- наличие или отсутствие в их составе компонентов, способных в различной степени и глубине оказывать структурообразующий эффект на глинистые грунты.

Для учета перечисленных факторов в качестве «делителей» базового понятия «стабилизатор и пластифицирующая добавка» в основу формирования общей классификации стабилизаторов и пластифицирующих добавок были заложены следующие признаки как [1]:

- физическое состояние стабилизатора;
- способность стабилизатора растворяться в воде;
- физико-химическая основа строения стабилизатора;
- вид стабилизатора в зависимости от его физико-химической основы.

Общая классификация стабилизаторов представлена на рисунке 1.1, где все производимые стабилизаторы разделены по основным уровням [1]:

- тип стабилизатора (жидкий концентрат, порошкообразный и смешанный, т. е. жидкий и порошкообразный);
- класс стабилизатора (водорастворимые стабилизаторы, водонерастворимые и частично нерастворимые стабилизаторы);
- подкласс стабилизатора (поверхностно-активные вещества (ПАВ), биопрепараты, наноструктурированные системы, ПАВ совместно со структурообразователями);
- вид стабилизатора (катионные, анионные, универсальные, биологические, наноструктурированные и структурированные).

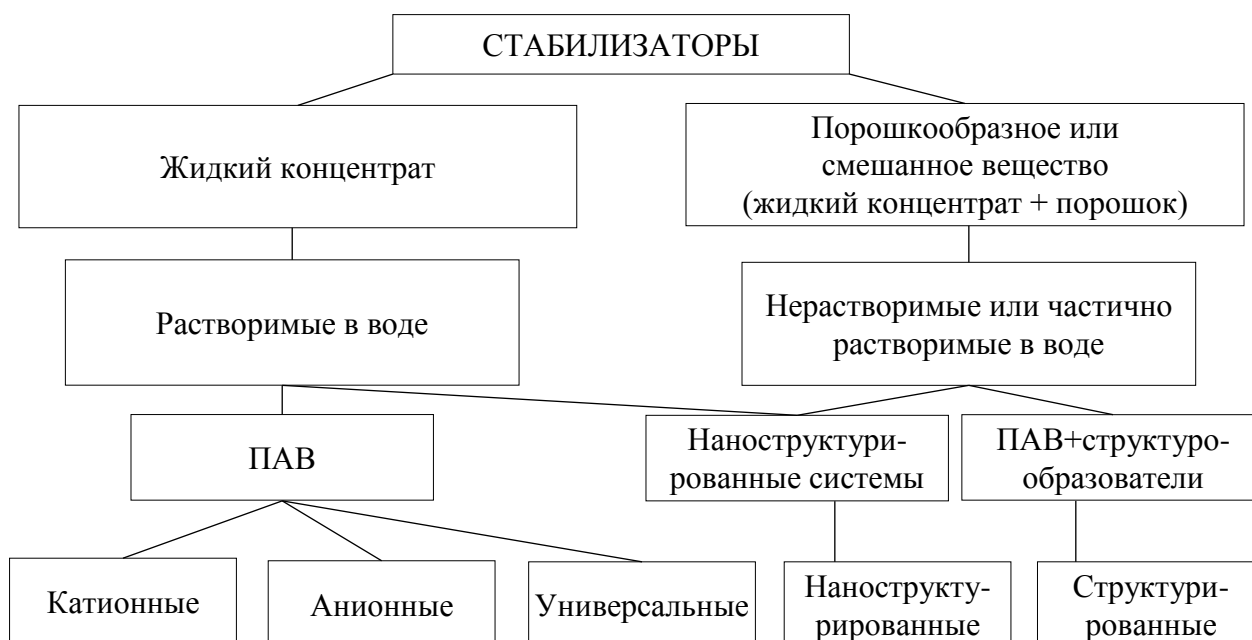


Рисунок 1.1 – Общая классификация стабилизаторов

Практическая ценность наличия исходной информации от производителя по типу и классу конкретного стабилизатора и пластифицирующей добавки

заключается в том, что она позволяет произвести предварительную оценку имеющихся у строительной организации средств механизации (дозаторов, ресайклеров и т. п.) с точки зрения их способности с требуемым качеством распределить и перемешать с глинистым грунтом данную добавку [1].

1.1.8. Пластифицирующие добавки

Пластифицирующий эффект таких добавок повышается с увеличением тонкости помола цемента, его расхода в растворе и исходной жесткости (подвижности) бетонных и растворных смесей. При применении, например, мелких песков и приготовлении смесей с умеренным содержанием цемента добавки способствуют вовлечению в смесь до 2 % воздуха, повышающего ее вязкость и улучшающего укладываемость.

Перечень добавок, применяемых при укреплении грунтов, приведен в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Добавки, применяемые при укреплении грунтов

Назначение добавки	Состав и условное обозначение
Повышение водо- и морозостойкости грунтов, укрепленных цементом	Лигносульфонаты технические. Лигносульфонаты технические, модифицированные
Повышение деформативности, прочности и морозостойкости грунтов, укрепленных цементом	Кислый гудрон, нейтрализованный аммиаком. Кислый гудрон, кубовый остаток производства синтетических жирных кислот, синтетическая поверхностноактивная добавка, жидкость гидрофобизирующая, глицериновый гудрон
Ускорение процессов твердения, повышение прочности, водо- и морозостойкости грунтов (в т. ч. кислых, гумусированных, засоленных, переувлажненных), укрепленных цементом или известью	Этилсиликонат натрия, хлопковый гудрон, суперпластификатор, суперпластификатор, суперпластификатор, хлорид кальция, сульфат железа, сульфат натрия, каустическая сода, углекислый натрий, сернокислый аммоний

1.1.9. Виды стабилизаторов и стабилизации грунта

Стабилизаторы – это широкий класс разных по составу и происхождению веществ, которые в малых дозах положительно влияют на улучшение свойств дорожно-строительных материалов за счет активизации физико-химических процессов.

Стабилизаторы могут быть различного происхождения, отличаясь по свойствам; их объединяет то, что они увеличивают плотность, влагостойкость и

морозостойкость грунтов, снижая их пучинистость.

Преимуществами ферментов являются:

- высокие физико-механические показатели укрепленных грунтов;
- экологичность материала на всех этапах применения;
- имеющийся в наличии грунт, который невозможно использовать без предварительной обработки, становится рабочим материалом;
- сокращение общих затрат за счет смешивания материалов на месте производства работ;
- необязательный вывоз старого грунта и ввоз новых материалов высокой стоимости;
- не требуются удаление и замена неподходящего грунта;
- возможность существенного сокращения сроков строительства, открытие новых дорожных полотен и дорог для проезда в ускоренном темпе;
- общедоступность применяемой технологии.

Стабилизаторы грунтов характеризуются как многокомпонентные системы, которые имеют кислую среду и обладают свойствами поверхностно-активных веществ. В состав стабилизаторов входят суперпластификаторы, гидрофобизаторы, сложные органические соединения, которые включают сложноэфирные группы и ионогенные комплексы.

Стабилизаторы применяют в виде разбавленного водяного раствора. Вода активизируется за счет ионизации, после того, как стабилизатор растворится в ней. На состояние глинистых и коллоидных частиц грунта раствор стабилизатора влияет активнее всего. Он изменяет их заряд за счет энергичного обмена электрическими зарядами между ионизированной водой и частицами грунта. После обмена зарядами с ионизированной водой между грунтовыми частицами нарушаются естественные связи с капиллярной и пленочной водой. Вода легко отделяется от частиц грунта, тем самым создавая благоприятные условия для уплотнения грунтов [7].

Существует множество стабилизаторов (таблица 1.8), различных по составу и своим свойствам [8]. Классификацией стабилизаторов разработанной для дорожного строительства, учтен накопленный отечественный и зарубежный опыт использования стабилизаторов и вяжущих. Применительно к отечественной практике дорожного строительства следует различать следующие существующие технологии: стабилизацию, комплексную стабилизацию и комплексное укрепление грунтов.

Таблица 1.8 – Виды стабилизаторов

Название стабилизатора	Страна, где используется стабилизатор
Perma-Zyme	США
Roadbond	США
EH-1	США
LBS	США
ECORoads	США
M10+50	США
SPP	ЮАР
RRP-235 Special	Германия
Terrastone	Германия
Дорзин	Украина
Дортех	РФ

Технология стабилизации грунтов рекомендуется к применению для грунтов, укладываемых в рабочем слое земляного полотна, так как наиболее интенсивно процессы водно-теплового режима (ВТР) и влагопереноса затрагивают верхнюю часть земляного полотна дорожной конструкции. При этом стабилизация грунтов рабочего слоя не только благоприятно влияет на ВТР, но и дает возможность использовать местные глинистые грунты, которые были не пригодными для этих целей. Это становится возможным за счет улучшения их воднофизических характеристик по водопроницаемости, пучинистости, набухаемости и размокаемости до требуемых величин. Основная функция этой технологии – гидрофобизация грунтов (несмачиваемость грунта, а именно улучшение его физико-механических свойств введением веществ, делающих грунт устойчивым к воздействию воды) в рабочем слое или нижних слоях оснований дорожных одежд [8].

Технология комплексной стабилизации грунтов отличается от технологии стабилизации грунтов тем, что глинистые грунты обрабатываются стабилизаторами и неорганическими вяжущими материалами в количестве, не превышающем 2 % от массы грунта. Использование этой технологии позволяет улучшить водно-физические и физико-механические свойства обрабатываемых грунтов за счет упрочнения связей, имеющих водно-коллоидную природу. Увеличение прочностных и деформационных характеристик комплексно стабилизированных глинистых грунтов дает возможность использовать их для устройства рабочего слоя, обочин, а также грунтовых оснований дорожных одежд и покрытий сельских дорог. Основная функция этой технологии – структуризация и гидрофобизация грунтов в основаниях дорожных одежд [8].

Технологией комплексного укрепления грунтов называют такую

технологию, при которой в грунты вводятся в небольшом количестве (до 0,1 %), поверхностно-активные вещества и вяжущие – более 2 % (по массе грунта). Наличие в укрепленном глинистом грунте добавок стабилизаторов приводит к снижению требуемого расхода вяжущего и дает возможность увеличить морозостойкость и трещиностойкость укрепленных грунтов.

Основная функция этой технологии заключается в повышении морозостойкости и трещиностойкости укрепленных грунтов в конструктивных слоях дорожных одежд [8].

Характер классификации стабилизаторов выражен в ее функциональной направленности, она ясно отражает цель и область использования стабилизатора в дорожной конструкции.

Выделяют следующие основные целевые функции [7]:

- гидрофобизация грунта в рабочем слое;
- структуризация и гидрофобизация грунта в основании дорожных одежд;
- повышение морозо- и трещиностойкости укрепленных грунтов в конструктивных слоях дорожных одежд.

Все выделенные целевые функции процесса воздействия на грунт добавками стабилизатора реализуются с помощью сходной технологии, в основе которой лежит объединение грунта с добавками и его уплотнение при оптимальной влажности [7].

Стабилизаторы следует применять при оптимальной влажности грунтов с числом пластичности от 1 до 22, при содержании песчаных частиц не менее 40 % по массе и пределом текучести W_L не более 50 %, а также всех разновидностей крупнообломочных и песчаных грунтов, содержащих в своем составе пылеватые и глинистые частицы в количестве не менее 15 % по массе, с содержанием легкорастворимых солей – сульфатов – не более 2 % по массе, хлоридов – не более 4 % по массе, гумуса – не более 2 % по массе и примеси гипса – не более 10 % [7].

1.1.10. Область применения и преимущества фермента Perma-Zyme

Фермент Perma-Zyme – это перспективный материал для строительства дорожных покрытий, дна водоемов, отстойников, а также для закрепления грунта. Стабилизатор Perma-Zyme – это продукт на основе высококонцентрированной ферментной формулы, которая полностью изменяет

свойства грунтовых материалов, благодаря чему можно производить более прочную дорожную одежду и земляное полотно по сравнению со всеми другими материалами, которые используются в настоящее время.

Фермент дает дополнительные преимущества дорожным строителям, позволяя им обойтись без асфальта, бетона и гравия; он безопасен для людей и окружающей среды, поскольку нетоксичен, не вызывает коррозию.

Когда фермент смешивают с водой и вносят в грунт до уплотнения, он воздействует на мелкодисперсные органические примеси, содержащиеся в грунте; в итоге происходит каталитический связующий процесс, вызывающий сильное цементирующее действие в процессе последующего уплотнения. В отличие от материалов на неорганической или нефтяной основе, которые временно связывают компоненты грунта вместе, фермент Perma-Zyme заставляет грунт «спекаться» в процессе сжатия (уплотнения) в плотную долговременную основу, устойчивую к проникновению воды и износу. При нормальных летних условиях этот процесс продолжается 72 часа. Помимо того, что фермент создает новые и лучшие условия для строительства дорог и поддержания их в рабочем состоянии, он успешно используется в сооружении основы дна озер, водоемов, креплений шахтных стволов и других конструкций, где требуется увеличение несущей способности грунта и уменьшение пластичности и проницаемости.

Стабилизатор грунта Perma-Zyme снижает поверхностное натяжение воды, что способствует быстрому и равномерному проникновению и впитыванию влаги. Благодаря этому свойству насыщенные влагой частицы глины вдавливаются в пустоты грунта и полностью заполняют их, при этом формируется плотная и прочная основа. Благодаря повышенной смазывающей способности частиц грунта, необходимая плотность грунта достигается меньшим усилием сжатия.

Этот фермент уменьшает на 25 % количество воды, требуемое для достижения оптимального уровня влажности грунта, поскольку он способствует быстрому насыщению и препятствует поверхностному испарению. Цементирующее действие фермента Perma-Zyme повышает несущие характеристики грунта, способствуя более тесному связыванию частиц грунта. Из-за этого свойства снижается тенденция грунта к расширению после сжатия, и в результате возникает плотный, стабильный земляной слой. При достижении большей связующей плотности компоненты грунта

сопротивляются проникновению воды.

С ферментом Perma-Zyme возможно конструировать новую дорожную одежду, используя существующие грунтовые материалы, без внесения дополнительного наполнителя (если уже имеются достаточно мелкие фракции). Смешивая фермент с верхним слоем грунта на глубину до 13–15 см, можно получить более прочное дорожное основание.

Для связывания материала нужны глины с содержанием в грунте от 15 % до 65 % мелкодисперсных связующих частиц, проходящих сквозь сито с размером ячеек 0,075 мм. В случае недостаточного количества мелкодисперсных частиц в данном грунте достаточно добавление глины в его верхний обрабатываемый слой. Одним из главных преимуществ фермента Perma-Zyme является его незначительный расход, составляющий 37 литров для обработки одного километра дорожной одежды шириной 8 м и толщиной 15 см.

Данный фермент может применяться при строительстве в широком диапазоне климатических условий.

Новые или реконструируемые дороги, обработанные Perma-Zyme на рекомендуемую глубину, сохраняют прочную и стойкую против трещин поверхность, не требующую больших усилий по поддержке в рабочем состоянии и дополнительного покрытия на протяжении многих лет.

Фермент Perma-Zyme поставляется в виде жидкого концентрата. Это делает ненужными его хранение в больших объемах, предварительное смешивание и обработку больших количеств материалов. Он не приводит к коррозии оборудования, не токсичен и не требует специальных процедур по хранению, как это требуется для токсичных или коррозионных агентов. Главными преимуществами данного фермента является высокий уровень механизации при проведении всех операций, гарантия упрочнения грунта до заданных параметров согласно проектам, небольшая трудоемкость, сокращение ручного труда, минимальная стоимость работ и простота использования.

Также следует отметить, что важной особенностью фермента является то, что он не вызывает раздражений кожи, сыпи и ожогов. Фермент Perma-Zyme не содержит горючих материалов, невзрывоопасен и может использоваться вблизи открытого огня. При правильном использовании он не навредит людям, флоре и фауне, так как фермент Perma-Zyme биологически безопасен.

1.2. Рекомендации по выполнению технологии стабилизации грунтовых конструкций

1.2.1. Анализ технологий по устройству стабилизированных грунтовых конструкций

На результаты стабилизации грунта существенно влияют его свойства, гранулометрический и химический состав, а также состав и свойства вяжущих веществ и других добавок. Исключительно важное значение для эффективной стабилизации грунтов имеет последовательное выполнение требуемых технологических операций и обеспечение оптимального режима твердения и структурообразования стабилизированного грунта.

Стабилизатор позволяет использовать местный грунт для устройства основания под дорогу, что экономически выгодно. Использование подобного местного материала также вполне обосновано в условиях невозможности регулярного подвоза строительных средств.

Фермент Perma-Zyme действует в почве как катализатор и при правильном применении изменяет физико-химические свойства грунта, вследствие чего он при уплотнении достигает более высоких параметров плотности и стойкости, чем это возможно в природе (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Эффект до применения стабилизатора и после

В то же время длительное воздействие воды (снег, дождь) на поверхность покрытия, сооруженного с помощью фермента Perma-Zyme оказывает неблагоприятное воздействие. Поэтому важным аспектом является обеспечение водоотвода с поверхности дороги и обочин.

Для повышения износостойкости дороги, сооруженной с помощью

фермента Perma-Zyme, можно применять следующие меры:

- добавление в обрабатываемый грунт крупного щебня или дробленого камня. Это повысит общую прочность и несущую способность покрытия, а также позволит избежать сильной истираемости дороги и существенно повысить коэффициент сцепления, особенно в дождливую погоду [9];

- устройство слоя покрытия путем пропитки битумом или битумной эмульсией щебня фракцией 0,5–1,25 см на месте строительства. Это сформирует износостойкий водоизолирующий слой на поверхности дороги [9].

Для улучшения физико-механических характеристик укрепленных неорганическими вяжущими грунтов и минеральных материалов с добавкой стабилизатора Perma-Zyme применяют следующие типы грунтов:

- супеси пылеватые и тяжелые пылеватые с числом пластичности от 1 до 7 (с добавкой глинистого грунта из расчета, чтобы число пластичности смеси было не менее 7);

- суглинки легкие пылеватые с числом пластичности от 7 до 12 (без внесения гранулометрических добавок);

- суглинки тяжелые пылеватые с числом пластичности от 12 до 17 (без внесения гранулометрических добавок);

- глина с числом пластичности от 17 до 22 (с гранулометрической добавкой, позволяющей довести число пластичности до 17);

- гравийные, песчаные и щебеночно-песчаные смеси.

Работы по устройству оснований и покрытий автомобильных дорог и грунтовых смесей, грунта и органоминеральных смесей, обработанных ферментным препаратом Perma-Zyme, производят в теплое время года (весна, лето, осень) при температуре воздуха от +5 °С до +40 °С [9].

Перед началом производства работ земляному полотну придают проектный профиль. Затем производят пробную укладку слоя основания с целью отработки режимов укладки и уплотнения слоя, обеспечивающих требуемую толщину, плотность и ровность, а также определения расхода компонентов смеси обработанного материала [9].

Работы по устройству слоев дорожных одежд производят на захватке длиной 100–300 м. Поверхность земляного полотна или нижележащего слоя перед началом работ по распределению материала должна быть предварительно увлажнена раствором ферментного препарата Perma-Zyme с концентрацией 1:10000 (фермент : вода) [9].

Технологический процесс устройства слоев дорожных одежд с применением ферментного препарата Perma-Zyme, состоит из следующих операций [9]:

- сборка материала в валик автогрейдером;
- предварительное распределение обрабатываемого материала бульдозером тягового класса 10–15 т и автогрейдером среднего или тяжелого типа мощностью 190–200 кВт;
- введение гранулометрических добавок (по необходимости) и неорганических вяжущих (цемента) и перемешивание ресайклером, фрезой или автогрейдером;
- введение в обрабатываемый материал водного раствора ферментного препарата Perma-Zyme поливомоечной машиной;
- уплотнение распределенного слоя катками;
- уход за свежеложенным слоем основания;
- контроль качества производства работ.

Количество циклов перемешивания и распределения материала составляет 4–8 и зависит от типа машин, объема и влажности распределяемого материала [9].

Уплотнение приготовленной смеси необходимо выполнять при оптимальной влажности.

Уплотнение слоев рекомендуется производить катками на пневматических шинах. Ориентировочное количество проходов катка по одному следу 6–8.

Необходимо проверять степень уплотнения уложенного слоя. Величина коэффициента уплотнения должна быть не менее 0,98. При устройстве слоев из материалов, обработанных ферментом Perma-Zyme при повышенных (выше 30 °С) температурах, необходимо периодически увлажнять готовый слой его раствором концентрации 1:10000 с последующей подкаткой за 3–5 проходов по одному следу.

Уход за свежеложенным слоем производится разливом пленкообразующей жидкости с помощью автогудронатора.

Движение транспорта по конструктивным слоям из обработанных материалов допускается в день устройства слоя или не раньше, чем через 7 суток после уплотнения [10].

1.2.2. Возведение покрытий автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения на основе использования фермента Perma-Zyme

Способ возведения покрытий автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения на основе использования стабилизатора грунта включает следующие основные технологические операции:

- очистку основания (изношенной дорожной поверхности), внесение в образовавшиеся колеи каменной мелочи до уровня поверхности полос движения;

- разрыхление и разработка грунта на рабочую глубину (допускается использование грунтовых фрез, при их наличии);

- при использовании автогрейдера – устройство бурта из срезанной массы (грунт и добавленная каменная мелочь с перемешиванием), внесение в него стабилизатора типа Perma-Zyme, тщательное перемешивание и выдерживание необходимого времени для насыщения грунта. При использовании грунтовой фрезы – одновременное внесение водного раствора стабилизатора в измельчаемую массу с равномерным ее перемешиванием (отфрезерованные полосы имеют в сечении прямоугольную форму), распределение обработанной ферментом массы по ширине слоя с выравниванием поверхности материала в проектных отметках;

- уплотнение слоя распределенного материала катком на пневмоколесном ходу, с учетом коэффициента уплотнения.

Фермент Perma-Zyme легко наносится и не требует специального оборудования и процедур нанесения. Его можно использовать с рекультивационными машинами или с обычными дорожно-строительными машинами (каток, автогрейдер, поливомоечная машина). Фермент Perma-Zyme следует использовать с грунтами, которые содержат примерно 20 % гумуса.

Современное дорожно-строительное оборудование (грунтовые фрезы, ресайклеры, передвижные грунтосмесительные установки) позволяет эффективно проводить стабилизацию и укрепление грунтов непосредственно на месте на большую глубину (до 50 см) за один рабочий проход с большой точностью дозировки вносимых в грунт материалов [10].

Если существующее основание с ненарушенной структурой (достаточно твердое и прочное), необходимо предусмотреть предварительное разрыхление слоя на рабочую глубину. Для лучшей производительности обычно это

выполняют в сухом состоянии [10].

После обработки бурта грунта водным раствором фермента Perma-Zyme следует выполнять перемешивание ножом автогрейдера. Перемешивание выполняется до равномерного распределения водного раствора фермента Perma-Zyme по объему грунта (насыщенного стабилизатором). Если количество водного раствора стабилизатора превышено, то материал следует разровнять и подсушить. При недостаточном увлажнении грунта следует увеличить количество водного раствора стабилизатора. После тщательного перемешивания материал оставляют на ночь, чтобы обеспечить полное поглощение влаги грунтом.

Перед разравниванием валика грунта, насыщенного водным концентратом фермента Perma-Zyme, обязательно следует распределить по поверхности основания раствор: смесь 1 литра фермента с 10000 литрами воды.

Распределение обработанного грунта необходимо выполнять слоями толщиной 5–7 см, при этом следует обязательно начинать непосредственное уплотнение слоя катком. Продолжать уплотнение нужно до того момента, пока не будет достигнута проектная плотность слоя. Рекомендовано использовать самоходные катки на пневмоколесном ходу.

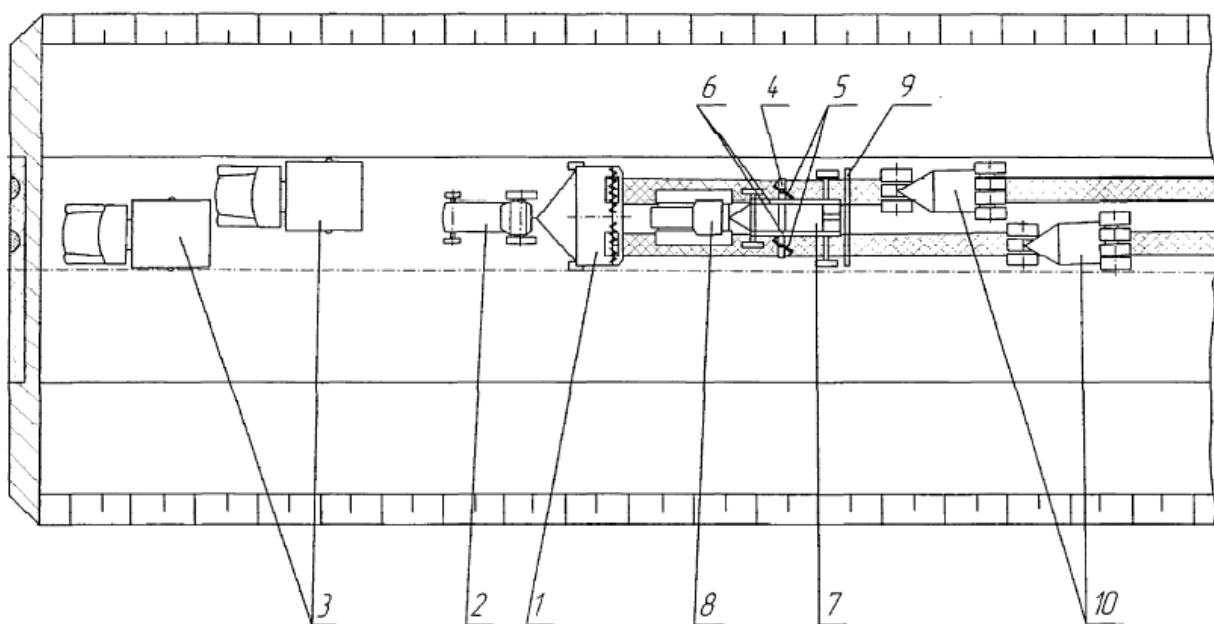
При укладке на долговременную несущую поверхность в ходе строительных работ наилучшее соединение может быть достигнуто в результате смачивания поверхности путем нанесения на нее водного раствора фермента Perma-Zyme в соотношении 1:10000 (использование праймера при строительных работах). При благоприятных погодных условиях полученная поверхность может эксплуатироваться по истечении пятидневного периода структурообразования [9].

Обязательно необходимо убедиться в том, что поперечный профиль дороги способствует стоку воды с поверхности проезжей части.

Дорога готова к использованию в тот момент, когда материал окончательно высохнет и отвердеет (произойдет полное структурообразование слоя). Движение может быть открыто сразу после завершения работ.

На рисунке 1.3 представлен пример технологической схемы для осуществления строительства с применением фермента Perma-Zyme.

В таблице 1.9 приведен ориентировочный состав машино-дорожного отряда и технологическая последовательность выполнения работ по выполнению стабилизации грунта с применением водного раствора фермента Perma-Zyme.



1 – асфальтоукладчик; 2 – трактор типа МТЗ «Беларусь»; 3 – автосамосвалы;
 4 – поперечная балка; 5 – боковые стойки фрезы; 6 – рама фрезы; 7 – прицеп;
 8 – трактор типа ДТ-75; 9 – гладильный брус; 10 – катки на пневмоколесном
 ходу

Рисунок 1.3 – Технологическая схема для осуществления строительства с применением фермента Perma-Zyme

Таблица 1.9 – Состав работ

Наименование работ
1. Заполнение колеи недостающим количеством каменной мелочи осуществляется с помощью модернизированного под укладку колейным способом серийного асфальтоукладчика, агрегируется с трактором 75 л. с.
2. Загрузка бункера модернизированного асфальтоукладчика осуществляется из самосвалов с помощью шнековых установок
3. Для осуществления фрезерования с внесением вяжущего материала изготавливается устройство, включающее поперечную балку с установленными на ней двумя фрезами П-образной формы с вертикальной осью вращения, оборудованные ножами из твердых сплавов, установленными в нижней части
4. Для внесения вяжущего материала в центральной части вертикальной оси, двух боковых стойках фрезы и в задней стенке ножей имеются отверстия. Поперечная балка устанавливается на раме прицепа, оборудованного насосом и шлангами для подачи вяжущего материала к фрезерным установкам. Прицеп агрегируется с трактором типа 75 л. с.
5. Дополнительно внесенная каменная мелочь перемешивается с гранулятом, образующимся в процессе фрезерования колейных полос. Кроме того, в эту смесь вносится стабилизатор типа Perma-Zyme и все это перемешивается ножами фрезы в процессе фрезерования и выравнивается специальным выравнивателем
6. Предварительное разравнивание уложенного материала гладильным брусом с последующим уплотнением катками на пневмоколесном ходу

Описанные технологические требования, а также высокая степень уплотнения ($K_y = 0,98-1,0$) обуславливает обеспечение благоприятного водно-теплового режима и прочность конструкций дорожных одежд в условиях постоянного воздействия погодно-климатических факторов и динамической нагрузки в зависимости от типа местности по условиям ее увлажнения [10].

1.2.3. Рекомендации по приготовлению грунтовой смеси с ферментом Perma-Zyme и технологии устройства дорожной конструкции

Приготовление смесей, выполнение работ по устройству оснований, слоев дорожных одежд с применением фермента Perma-Zyme выполняются с соблюдением правил безопасности, предусмотренных в требованиях нормативно-правовых актов по безопасности организации работ в строительстве [11, 12].

Подбор состава смеси, обеспечивающего требуемые характеристики обработанного материала, производится по ГОСТ 23558-94 [5].

В начале определяется зерновой состав минеральной части смеси.

Назначается несколько партий образцов из смесей с различным количеством грунта и фермента Perma-Zyme, приведенных в приложении Б, таблицы Б.1–Б.5, рисунки Б.1 и Б.2.

В каждой партии определяется по [5] оптимальное количество дистиллированной воды, обеспечивающее максимальную плотность обработанного материала. В дистиллированную воду вводят концентрат фермента Perma-Zyme в необходимой пропорции.

После этого изготавливаются образцы из смесей всех запланированных серий. Каждая партия должна состоять не менее чем из трех образцов.

После нормативного хранения образцов определяется прочность при оптимальной влажности для уплотнения обработанных материалов.

Из испытанных при подборе состава образцов следует выбрать ту партию, в которой средняя прочность образцов соответствует средней прочности проектной марки по [5].

После проведенных лабораторных испытаний для дальнейшей работы с ферментом в полевых условиях, нужно рассчитать количество фермента Perma-Zyme из расчета 1 литр фермента на 33 м^3 грунта естественной плотности.

Рассчитывается количество воды на 1 м^3 грунта, необходимой для доведения грунта до оптимальной влажности. Для сухой погоды, можно

принять влажность на 1,0–1,5 % выше оптимальной, так как произойдет испарение, и к моменту уплотнения влажность будет оптимальной [9].

Растворяется рассчитанный объем фермента в количестве воды, которое было найдено ранее. Во избежание сильного пенообразования всегда нужно добавлять фермент в воду, но не наоборот. Ни при каких условиях не вносить фермент в грунт без растворения его в воде [9].

Вносится раствор в грунт и перемешивается до равномерной консистенции. Если результирующая влажность больше оптимальной нужно оставить грунт, раскатанный тонким слоем для лучшего испарения, в противном случае его следует оставить в валиках [9].

Необходимо дать ферменту поработать не менее 10–12 часов при плюсовой температуре. При тщательном перемешивании достаточно 5–6 часов [9].

Определяется весовая влажность грунта после выдержки. Если грунт слишком сухой, то добавляют воду, если слишком влажный, то его просушивают. В полевых условиях для этого используют бульдозер или грейдер [9].

После выполнения всех вышеперечисленных операций, переходят к уплотнению. В полевых условиях это делают либо катком (весом не менее 15 тонн), либо эквивалентной вибротрамбовкой. При отсутствии 15-тонного катка, можно использовать каток не менее 10 тонн, уменьшив толщину уплотняемого слоя до 2–3 см [9].

В заключение производятся измерения параметров готовой дороги через 7, 28 и 56 суток. Начальной прочности материал достигнет после высыхания, что в летних условиях происходит примерно через три дня. Полной прочности грунт достигает примерно через 4–5 недель, но чем больше глинистых частиц в грунте, тем дольше будет происходить процесс структурообразования.

В сухую погоду необходимо ежедневно смачивать поверхность дороги во избежание чрезмерно быстрого высыхания верхнего слоя грунта.

Таким образом, естественный процесс высыхания дорожного покрытия происходит намного медленнее, чем образцов в лабораторных условиях.

1.2.4. Операционный контроль качества укрепленного грунта

При операционном контроле проверяют:

– естественную влажность грунта по ГОСТ 5180-2015 [6]. Для ускорения процесса высушивания грунта до $W = 0\%$ рекомендуется использовать

- электромагнитный метод удаления влаги из материала (микроволновая печь);
- точность дозирования компонентов с учетом естественной влажности грунта и технологического режима приготовления укрепленного грунта;
 - влажность обработанного грунта до уплотнения по [6];
 - толщину слоя грунта (металлическим щупом с делениями с учетом припуска на уплотнение);
 - коэффициент уплотнения;
 - соответствие физико-механических свойств укрепленного грунта требованиям проекта по [5];
 - поперечные уклоны слоя покрытия (рейкой с уровнем);
 - ширину слоя покрытия.

Для контроля качества укрепленного грунта отбирают пробу обработанного грунта сразу после прохода автогрейдера. На 200 м² слоя толщиной 10 см должно быть отобрано не менее одной пробы массой 3 кг. Смесь отвозят в лабораторию в герметичной емкости или пакете, исключающих испарение влаги, и формуют требуемое количество образцов. Формование образцов укрепленного грунта производится в цилиндрических формах диаметром 71,4 мм прессованием под давлением 30 МПа при температуре 20 °С. Время выдерживания образца при заданном давлении – 3 минуты.

Определение физико-механических показателей укрепленного грунта осуществляется по истечении 28 суток после формования образцов. Хранение образцов осуществляется при температуре 20 °С.

1.2.5. Приемочный контроль качества укрепленного грунта

При приемочном контроле, по ГОСТ 30108-94 [13], проверяют:

- толщину слоя покрытия из укрепленного грунта (по кренам);
- ширину слоя покрытия;
- поперечные уклоны слоя покрытия (рейкой с уровнем);
- коэффициент уплотнения.

К акту приемки (приемочного контроля) прикладывают паспорт качества укрепленного грунта, включающий в себя следующие показатели:

- состав смеси;
- предел прочности на сжатие;
- содержание естественных радионуклидов.

Паспорт качества составляется лабораторией строительной организации на основании операционного контроля.

1.2.6. Последовательность уплотнения слоя покрытия из укрепленного грунта

Грунтовый каток массой не менее 12 т должен выполнить 3–4 прохода по одному следу в статическом режиме при скорости движения 2–3 км/ч. Уплотнение слоя следует производить от краев к оси дороги, а затем в обратной последовательности с перекрытием каждого следа при последующем проходе катка на 20–30 см.

Последующие два прохода каток производит в вибрационном режиме с частотой 30 Гц на скорости движения 4–6 км/ч при движении вальцом назад. При образовании неисправимых дефектов (нарушение сплошности, расслоение по толщине и т. п.) вибрацию следует отключить.

Процесс уплотнения каток должен завершать в статическом режиме на скорости движения 6 км/ч с перекрытием каждого следа при последующем проходе катка на 1 м.

Комплект используемой уплотнительной техники, количество проходов катков по одному следу и режимы уплотнения уточняются после пробного уплотнения слоя основания.

Окончанием уплотнения обработанного грунта следует считать отсутствие следа вальца после прохода катка по уложенному конструктивному слою.

Вальцы и пневмоколеса катков в процессе уплотнения обработанного грунта не должны смачиваться водой.

Рекомендуется не останавливать каток в процессе уплотнения на полосе укрепленного конструктивного слоя.

Систему виброуплотнения на катке следует включать и выключать только в движении. В противном случае на поверхности уплотняемого слоя могут остаться следы от вальца.

В процессе уплотнения катки должны двигаться параллельно продольной оси конструктивного слоя.

Оптимальную длину сменной захватки при устройстве конструктивного слоя из укрепленного грунта определяют с учетом возможности уплотнения обработанного грунта в пределах определенного временного периода (не более

трех часов с момента перемешивания грунтовой смеси и внесения водного раствора фермента Perma-Zyme).

1.3. Техника безопасности при работе с ферментом Perma-Zyme

Безопасность фермента Perma-Zyme подтверждается гигиеническим сертификатом. Он не опасен для дыхания, попадания на кожу, глотания, не горюч, не ядовит, является безвредным для человека материалом, при работе не требует применения средств защиты. При попадании в глаза, их необходимо тщательно промыть водой. Фермент Perma-Zyme не оказывает влияния на окружающую среду в растворах и обработанных материалах в концентрациях, предназначенных к использованию.

Более подробная информация о ферменте представлена в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Рекомендации производителя по безопасной работе с ферментом Perma-Zyme

Название	Характеристика фермента
Информация о продукте	
Торговое имя	Perma-Zyme
Транспортировка	Безвредная жидкость
Хранение	Хранить продукт необходимо при температуре не выше 49 °С. При замерзании не теряет своих качеств
Срок хранения	Более двух лет
Плотность	1,09 кг/л
Температура кипения	100 °С
Температура замерзания	0 °С
Давление насыщенных паров	21,84 мм рт. ст. при 24 °С
Коэффициент испарения	Такой же, как и у воды
Вид и запах	Коричневая жидкость со сладковатым запахом
Стабильность	Стабильна. Избегать высоких температур во избежание коагуляции фермента. Избегать кислотных и щелочных субстанций
Стабильность	Стабильна. Избегать высоких температур во избежание коагуляции фермента. Избегать кислотных и щелочных субстанций
Несовместимость	Не обнаружена. Продукт совместим со всеми известными материалами, он не полимеризуется и не создает опасных побочных продуктов
Попадание в глаза	При попадании в глаза необходимо тщательно промыть водой
Вдыхание и попадание на кожу	Неопасно
Продукт	Не ядовит, не опасен, не горюч

Материалы, используемые при производстве смесей, должны иметь сертификаты предприятий-поставщиков по радионуклидному составу с указанием соответствия их требованиям, указанным в [13]. Удельная активность естественных радионуклидов в используемых материалах не должна превышать требований, указанных в [13]. В случае отсутствия данных о содержании естественных радионуклидов, потребитель осуществляет силами специализированной лаборатории входной контроль качества материалов и проводит определение содержания естественных радионуклидов в указанных материалах.

При производстве и использовании смесей должны предусматриваться меры коллективной и индивидуальной защиты. Производственные помещения должны быть оборудованы общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией.

При производстве, погрузке, разгрузке и транспортировании смесей должны применяться средства индивидуальной защиты: спецодежда, спецобувь, защитные очки, перчатки.

При выполнении работ запрещается:

- допускать к работе лиц моложе 18 лет;
- допускать к работе лиц, которые не прошли медицинское освидетельствование, обучение по специальности, инструктаж по технике безопасности, а также инструктаж на рабочем месте с соответствующей записью в журнале;
- приступать к работе с неисправными приспособлениями.

Персонал, занятый на производстве и в процессе применения смесей, должен быть специально проинструктирован и обязан проходить предварительные и периодические медицинские осмотры. Проект организации работ по стабилизации грунтов должен предусматривать максимальную механизацию и автоматизацию технологических процессов [10–12].

Жидкие стабилизаторы обычно продаются в виде концентратов. Перед использованием их необходимо разбавить водой с учетом концентрации. Обычно сложно учесть установленную рецептом пропорцию разбавления при укреплении (стабилизации) грунтов на переувлажненных участках, а также при изменении погодных условий (дождей), изменяющих водный баланс в грунте.

Для равномерности распределения раствора стабилизатора в слое измельченного грунта и снижения вероятности его потери (пропитка слоя на глубину более проектной) раствор стабилизатора нужно распределять в два

приема. При приближающихся осадках обработанный грунт следует уплотнить и придать поперечный уклон, при возможности укрыть полиэтиленовой пленкой, после выпадения осадков работы продолжить, а при необходимости грунт подсушить до оптимальной влажности.

Для защиты стабилизированного слоя грунта от осадков необходимо сразу устраивать вышележащие слои дорожной одежды или нанести пленкообразующие материалы [8].

1.4. Транспортировка и хранение

Упаковку и хранение фермента Perma-Zyme выполняют в герметично закрытых канистрах, флягах, стальных сварных бочках типа БСЦ1-100Ц, БСЦ1-200Ц. Вышеназванная тара является потребительской и одновременно транспортной тарой [14].

На каждую единицу транспортной тары наклеивают этикетку или прикрепляют ярлык с маркировкой, включающей следующую информацию:

- наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
- наименование продукции;
- номер партии;
- массу нетто;
- дату изготовления (месяц, год);
- обозначение настоящего стандарта.

На этикетку наносят манипуляционные знаки: «Вверх», «Беречь от влаги» и знак опасности груза [14].

Обработанные грунты и органоминеральные смеси транспортируют любым видом транспорта, предназначенным для перевозки грузов навалом.

Продолжительность технологического разрыва между приготовлением и уплотнением смесей, включая продолжительность транспортирования к месту укладки, не должна превышать при обработке ферментом Perma-Zyme с добавкой портландцемента или шлакопортландцемента – 5 часов, а с добавкой извести или шлакового вяжущего – 24 часов.

При транспортировании и хранении обработанных смесей необходимо следить за сохранением оптимальной влажности, не допуская высыхания или переувлажнения смесей.

Если обработанные материалы изготавливаются непосредственно на дороге, то их транспортировка не требуется.

1.5. Выводы

Применение стабилизирующих и пластифицирующих добавок (в частности фермента Perma-Zyme) при возведении грунтовых конструкций дает следующие преимущества:

- снижение сроков строительства;
- экономию высококачественных минеральных дорожно-строительных материалов;
- минимальное использование машин и рабочей силы;
- повышение физико-механических свойств грунтовых покрытий;
- увеличение срока службы грунтового (низшего) покрытия;
- экономию средств на содержание и ремонт;
- достижение значительного экономического эффекта благодаря замене высококачественных дорожно-строительных материалов местными грунтами, обработанными стабилизирующими и пластифицирующими добавками.

2. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ СМЕСИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА

2.1. Подбор состава органоминеральной смеси с использованием асфальтогранулята

Для того чтобы существенно снизить стоимость ремонтных работ, целесообразно использовать старое асфальтобетонное покрытие, которое можно «обновить» как на асфальтобетонных заводах (АБЗ), так и непосредственно на дороге. Данный способ довольно распространен за рубежом (Япония, США, Германия и др.), где объемы использования старого покрытия достигают 20–30 % от всего количества асфальтобетонных смесей (рисунок 2.1). В нашем регионе данные технологии только начинают использовать [15, 16].

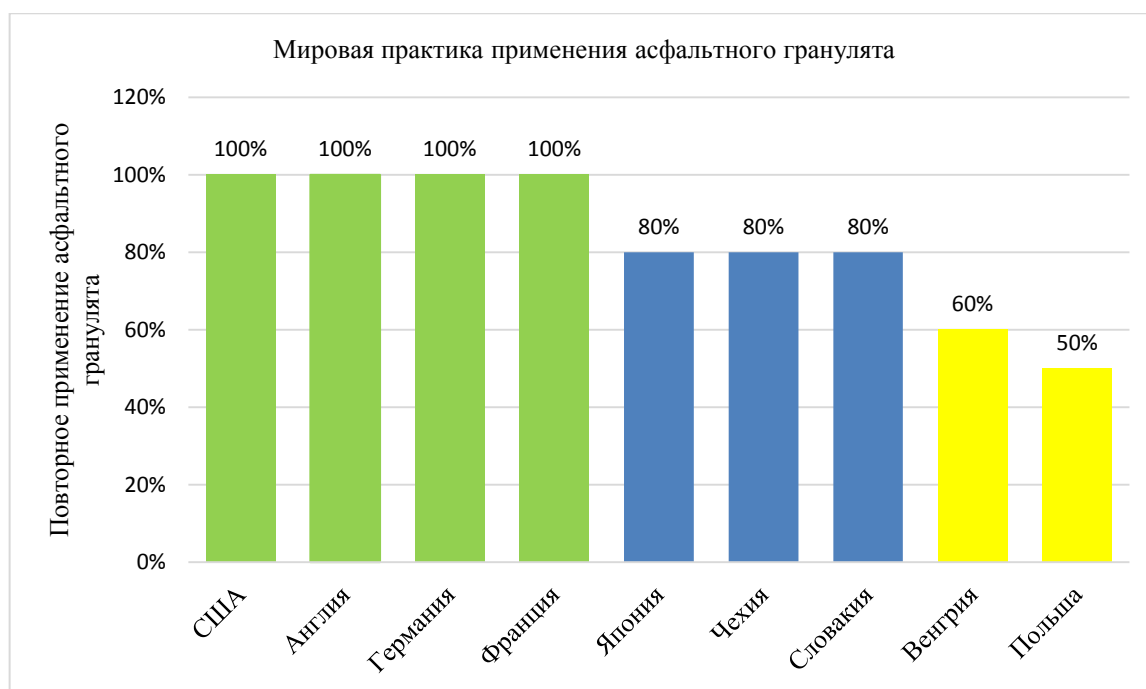


Рисунок 2.1 – Диаграмма использования асфальтного гранулята

Асфальтный гранулят – вторичный материал, который используется в дорожном строительстве и получается в ходе разборки старого асфальтобетонного покрытия. Данный материал можно также получить путем дробления крупных фрагментов дорожного покрытия, которые были сняты ранее при ремонтах (приложение В, рисунок В.1).

В составе гранулята присутствует битумное вяжущее, которое способствует увеличению связей между отдельными частями смеси, вследствие

чего увеличивается прочность дорожной конструкции. В результате этого увеличивается технологическая ценность асфальтного гранулята [17, 18].

Асфальтный гранулят классифицируют следующим образом [19]:

1. По виду минеральной составляющей исходных асфальтобетонов:

- щебеночный;
- гравийный.

2. По величине номинальных размеров наименьшего (d , мм) и наибольшего (D , мм) диаметров зерен минеральной части:

- крупнозернистый – 0,05/40;
- мелкозернистый – 0,05/20 (при использовании сит с круглыми ячейками);
- крупнозернистый – 0,063/31,5;
- мелкозернистый – 0,063/16 (при использовании сит с квадратными ячейками).

3. По температуре размягчения вяжущего, восстановленного на его поверхности, по классам:

- I класс – температура размягчения по кольцу и шару не более 60 °С;
- II класс – температура размягчения по кольцу и шару более 60 °С.

Асфальтный гранулят разделили на несколько видов, которые зависят от способа его получения:

- 1) с применением фрезы для получения асфальтного гранулята. Данный способ применяют в летнее время;
- 2) с применением дробилок. Данный способ применяют в любое время года.

Переработку старого асфальтобетона делят на две группы:

- термопрофилирование (выравнивание при нагреве);
- фрезерование (снятие дефектного слоя).

При термопрофилировании выполняются следующие действия:

- разогрев покрытия;
- размельчение асфальтобетона на глубину до 3–4 см;
- добавление новой смеси, ее укладка и уплотнение.

Асфальтный гранулят – практичный современный материал, который применяют во многих сферах строительства. Диапазон практического применения асфальтного гранулята достаточно широк. Основные области применения асфальтного гранулята приведены на рисунке 2.2 [20].



Рисунок 2.2 – Схема использования асфальтного гранулята

Анализ литературных источников [21, 22] показал, что для переработки гранулята в заводских условиях в основном используются два типа оборудования (рисунок 2.3):

– установки для непрерывного перемешивания асфальта, оснащенные специальными устройствами для подачи асфальтного гранулята и защиты его от пламени горелки и раскаленных газов сгорания;

– установки циклического асфальтосмесительного оборудования, которые оснащены дополнительным оборудованием для приема, хранения и дозирования гранулята.

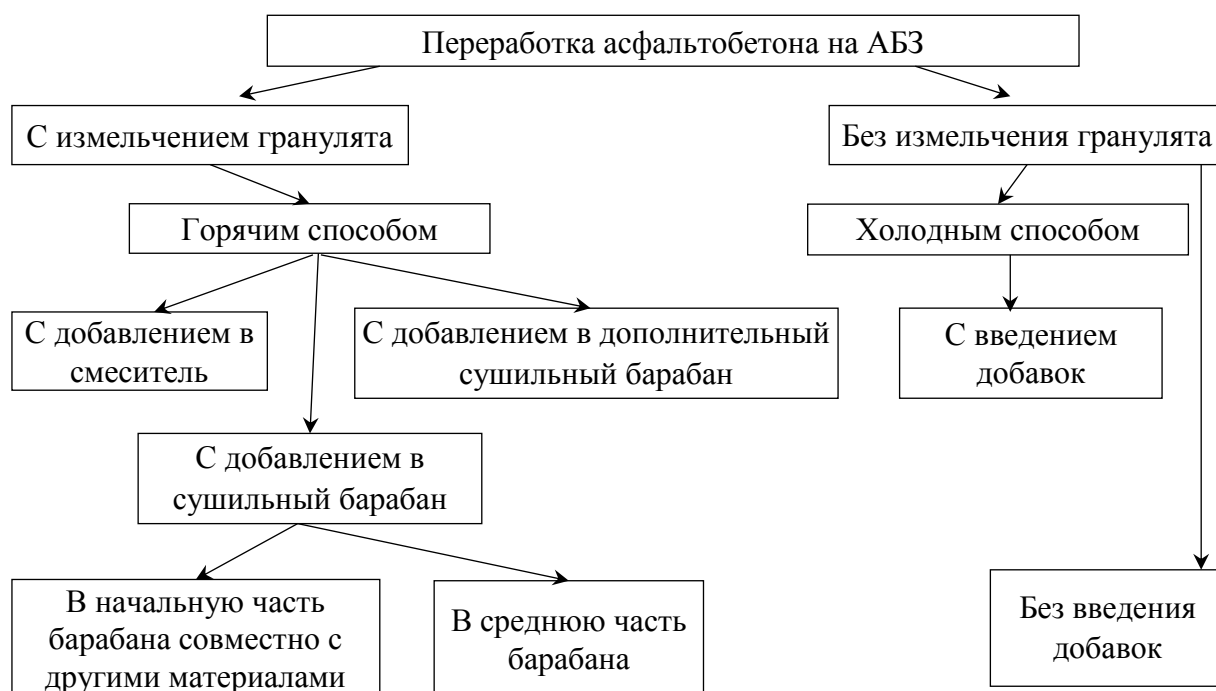


Рисунок 2.3 – Способы переработки асфальтобетона на АБЗ

Повторное использование асфальтобетона, введение асфальтного гранулята в смеси – мировая тенденция в дорожном строительстве. Но, как и любой другой материал, он должен соответствовать требованиям и изготавливаться по технологической документации [23].

Предельное содержание старого асфальтобетона в асфальтобетонах, укладываемых в верхнем слое дорожного покрытия, устанавливается в соответствии с таблицей 2.1 [17].

Таблица 2.1 – Предельно допустимое содержание гранулята в асфальтобетонной смеси

Вид смесей и асфальтобетонов	Марка	Максимальное содержание гранулята, %
Плотные	I	5
	II	10
	III	15
Пористые и высокопористые	I	20
	II	25

Главное преимущество асфальтного гранулята – его низкая цена. Данный материал может заменить гравий, щебень или песок, которые применяются при дорожном строительстве, и таким образом сократить стоимость строительства [24].

Гранулят применяют:

- при обустройстве местности;
- для дорог с низкой пропускной способностью;
- при устройстве основания и последующей укладке асфальта;
- при устройстве подъездных путей;
- для ремонта дорожного покрытия.

Асфальтобетонные смеси с гранулятом должны соответствовать нормативным требованиям и изготавливаться по технологической документации [23]. В таблицах В.1 и В.2 приложения В приведены зерновые составы для нижнего и верхнего слоя покрытия.

Способ приготовления асфальтобетонной смеси состоит в перемешивании необходимых компонентов (щебень, песок, минеральный порошок, битум), которые предварительно нагревают. Смесь можно изготавливать на стационарных и передвижных асфальтобетонных заводах.

Основными путями переработки старого асфальтобетона в целях его дальнейшего использования в дорожном строительстве можно считать [16]:

1. Использование старого дробленого асфальтобетона по типу холодного асфальтобетона с добавками вяжущего и последующей укаткой полученного материала в холодном виде.

2. Переработка старого асфальтобетона в исходные материалы путем экстрагирования битума или другим методом, позволяющим непосредственно извлекать битум из асфальтобетона на АБЗ и в самоходных установках с применением растворителей (бензол, бензин, керосин и т. д.), с дальнейшим использованием полученных материалов для приготовления битумоминеральных смесей на основе битумных эмульсий или асфальтобетона.

3. Внедрение в состав старого асфальтобетона минеральной части или жидких дорожных битумов, соответствующих требованиям [19], которое способствует доведению его до оптимального состава.

4. Получение из старого асфальтобетонного покрытия штучных изделий способом прессования с предварительным подогревом прессуемой асфальтобетонной массы до температуры 120–160 °С.

5. Добавление старого асфальтобетона при изготовлении новой асфальтобетонной смеси.

6. Использование старого асфальтобетона в качестве минерального порошка или черного песка, путем измельчения его в специальных установках (мельницах), не более 30–40 % в составе новой смеси.

7. Измельчение старого асфальтобетона в щековых или молотковых дробилках с целью получения материала в виде черного щебня для устройства оснований.

8. Химический способ повторного использования материала реконструируемых асфальтобетонных покрытий.

Для использования старого асфальтобетона большое значение имеет установление его усредненных физико-механических показателей, поскольку они могут быть определены лишь для какого-то определенного конгломерата, состоящего, например, одновременно из крупнозернистого и мелкозернистого асфальтобетона. Эта задача дополнительно усложняется еще и тем, что сортировка и складирование различных видов старого асфальтобетона практически невозможна и приходится иметь дело с величинами, которые имеют весьма большой разброс в своих основных показателях. В связи с этим возникает необходимость в организации складирования старого асфальтобетона по его видам.

Наиболее эффективным и доступным способом повышения качества и адгезионной активности битума является введение ПАВ. Добавки таких веществ улучшают сцепление битума с минеральным материалом, увеличивают степень обволакивания битумом минеральных частиц, сокращают время перемешивания, улучшают укладываемость, уплотняемость смесей и сокращают расход битума.

Среди популярных добавок можно выделить:

- адгезионные;
- стабилизирующие;
- морозостойкие;
- армирующие;
- вяжущие.

Адгезионные добавки гарантируют полное обволакивание каменного материала в процессе изготовления асфальтобетонной смеси. В результате покрытие характеризуется повышенным сроком эксплуатации.

Морозостойкие добавки расширяют эксплуатационный температурный диапазон. Они позволяют сохранять форму, придают эластичность, делают покрытие износостойким при различных температурах внешней среды и предотвращают или уменьшают образование трещин.

Армирующие добавки дают возможность равномерно распределять нагрузку, которой постоянно подвергается дорожное полотно. Благодаря им конструкция усиливается, становится износостойкой и долговечной.

2.1.1. Проведение испытаний асфальтогранулята для возможности использования его в органоминеральной смеси

Асфальтный гранулят, который соответствует техническим условиям [19] и стандарту предприятия [23], был получен в результате фрезерования старого асфальтобетонного покрытия. Дальнейшая его переработка производилась на асфальтобетонном заводе, расположенном в пос. Чулковка г. Донецка. В таблице В.3 приложения В приведена характеристика асфальтогранулята.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) способны улучшать физико-механические и технологические свойства асфальтобетона, снижать внутреннее сопротивление частиц сдвигу, а также снижать температуру приготовления и укладки асфальтобетонной смеси.

Асфальтный гранулят – зернистый минеральный материал, покрытый

органическим вяжущим, с крупностью зерен до 40 мм [19].

Существует несколько способов получения асфальтного гранулята [25]:

1. Фрезерование – процесс послойной разработки верхних слоев дорожной конструкции путем механического воздействия на поверхность. Выполняется специальной дорожно-строительной техникой – планировщиком холодного типа (дорожная фреза) – с целью ремонта и дальнейшего асфальтирования дефектного участка дороги.

2. Дробление асфальтового скола – процесс механического измельчения крупных асфальтобетонных фрагментов (до 2 м по диагонали) с помощью специального оборудования.

Асфальтный гранулят является оптимальным продуктом для строительства новых дорог, так как в нем содержатся необходимые материалы (щебень, песок, минеральный порошок, битум). Асфальтный гранулят состоит из лишенного напряжения каменного материала, в отличие от нового [26].

По характеристике минеральной части зернового состава асфальтного гранулята, его подразделяют на типы:

- А – содержание щебня свыше 50–60 %;
- Б – содержание щебня 40–50 %;
- В – содержание щебня 30–40 %.

Содержание в асфальтном грануляте гранул крупнее 50 мм не должно превышать 5 % по массе.

Сфрезерованный асфальтобетон, который будет использован для переработки поступает с дорог, выполненных из разных типов асфальтобетона, вследствие чего, он имеет одну особенность – неоднородность. Содержание различных компонентов в асфальтном грануляте приведены в таблице 2.2 [19].

Таблица 2.2 – Данные по содержанию компонентов и однородности асфальтного гранулята

Данные	Щебень, 5–20 мм	Песок, 0,5–2 мм	Минеральный порошок, 0,071 мм	Битум, свыше 100 %
Среднее содержание компонента в выборке, %	32,1	55,3	9,0	4,7
Среднее квадратическое отклонение	13,6	12,1	2,2	0,6
Коэффициент вариации, %	42,4	23,4	24,8	13,6

Для определения процентного содержания битума в асфальтном грануляте можно применять два метода:

- метод выжигания вяжущего;
- метод отмывки вяжущего растворителем.

Суть первого метода состоит в определении количества битумного вяжущего в составе асфальтного гранулята путем выжигания вяжущего и сравнения масс до и после выжигания. Оставшуюся после выжигания минеральную часть смеси применяют для проведения анализа зернового состава асфальтного гранулята [27, 28]. Для выполнения исследований необходимо следующее оборудование: печь муфельная, корзины (размер ячеек сетки 0,5–2 мм), весы, сушильный шкаф, металлические щипцы.

Суть второго метода заключается в определении количества битумного вяжущего путем добавления смеси в металлический стакан, который заливают растворителем (бензин, керосин).

Гранулометрический состав асфальтного гранулята определяли вторым методом. Оборудование, которое было использовано: шкаф сушильный, весы, набор сит, фарфоровые чашки, мерный цилиндр, ложка, пипетка, кисть, баня песчаная, растворитель, кристаллизатор.

Пробу асфальтного гранулята помещали в сушильный шкаф и нагревали до 70–80 °С. Навеску смеси помещали в стакан и заливали растворителем. В течение 10–15 минут герметично закрытый стакан встряхивали, затем раствор с вяжущим сливали через сита в поддон. Данную процедуру повторяли 2–3 раза, до исчезновения окраса на минеральном материале. После отмывки вяжущего помещали минеральный материал в сушильный шкаф. После высушивания каждую фракцию переносили на сито.

Для определения суммы всех фракций крупнее 0,071 мм

$$G_2 = g_1 + g_2 + \dots + g_n, \quad (2.1)$$

где $g_1 + g_2 + \dots + g_n$ – содержание зерен каждой фракции, г.

Для определения массовой доли каждой фракции по отношению к минеральной части смеси

$$q_n = \frac{g_n}{g - g_{\bar{o}}}, \quad (2.2)$$

где g_n – содержание зерен данной фракции, г;

g – масса навески смеси, г;

g_6 – содержание вяжущего в смеси, г.

Результаты приведены в таблицах В.4, В.5 приложения В.

Одной из причин ухудшения характеристик битума является его старение. При этом процессе происходит испарение легких масляных фракций и низкомолекулярных смол с последующим увеличением содержания асфальтенов (таблица 2.3), что приводит к увеличению как температуры хрупкости, так и вязкости битума.

Таблица 2.3 – Изменение компонентного состава битума (БНД 60/90) в процессе его термостатирования

Термостатирование (время), час	Компоненты			
	асфальтены	смолы	ароматические углеводороды	насыщенные углеводороды
0	21,43	31,12	39,27	8,18
2	17,80	43,14	33,28	5,78
3	23,02	44,31	26,25	6,42

Испытания битума, содержащегося в асфальтном грануляте, подтверждает сведения о старении вяжущего. В таблице 2.4 приведены данные о пенетрации, в период 3–4 лет эксплуатации покрытия. При этом пенетрация исходного битума БНД 60/90 при 25 °С (мм^{-1}) снизилась до 44–45.

Таблица 2.4 – Результаты испытаний экстрагированного битума

Наименование показателей	Значения показателей
Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	44
Пенетрация при 0 °С, 0,1 мм	19
Температура размягчения по КиШ, °С	56
Индекс пенетрации	–0,10

Для восстановления свойств битума (вязкости, хрупкости, пластичности) в асфальтном грануляте необходимо использовать различные добавки и пластификаторы.

Для проведения исследования был выбран состав мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси типа Б. В таблице 2.5 приведены два состава:

– состав № 1 – стандартная асфальтобетонная смесь, состоящая из щебня, песка, минерального порошка, битума БНД 60/90. Методика приготовления смеси была стандартной [29].

– состав № 2 – асфальтобетонная смесь, состоящая из щебня, песка, минерального порошка, битума БНД 60/90, асфальтного гранулята, добавки ДАД-1.

Таблица 2.5 – Асфальтобетонные смеси

Наименование материалов	Содержание компонентов, %	
	состав № 1	состав № 2
Щебень, фр. 5/20 мм	50	15,4
Песок	39	14,6
Минеральный порошок	11	2
Битум БНД 60/90	4,9	1,9
Гранулят старого асфальтобетона, фр. 5/20 мм	–	68
Добавка ДАД-1	–	0,5

В таблице 2.6 приведен гранулометрический состав предложенных смесей.

Таблица 2.6 – Асфальтобетонные смеси по зерновому составу

№ состава	Содержание зерен мельче данного размера, мм, %										
	40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Состав № 1	100,00	97,75	89,68	74,47	54,24	49,11	43,09	35,08	20,49	13,47	10,59
Состав № 2	100,00	97,68	89,82	77,13	54,33	47,37	41,29	33,08	20,97	13,81	11,04
Требования ГОСТ 9128-2009 [29]	100–100	90–100	80–100	70–100	50–60	38–60	28–60	20–60	14–34	10–20	6–12

Оба состава асфальтобетонной смеси термостатировали в течение 1 часа. Состав № 1 при температуре 140–150 °С, состав № 2 при температуре 100–110 °С. Температура приготовления состава № 2 была снижена на 30–40 °С, в связи с введением в состав асфальтного гранулята дополнительно добавки ДАД-1. После уплотнения смесей были получены образцы диаметром $d = 71,4$ мм. В таблице 2.7 приведены результаты проведенных испытаний. Как видно из результатов испытаний, при использовании добавки ДАД-1 температура приготовления асфальтобетонной смеси уменьшилась, а водостойкость – увеличилась.

Таблица 2.7 – Физико-механические свойства асфальтобетонов с добавками

Вид ПАВ	Температура смеси в момент уплотнения, °С	Средняя плотность, г/см ³	Водонасыщение, % по объему	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре:			Коэффициент водостойкости	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	Пористость минеральной части, % по объему	Остаточная пористость, % по объему
				0 °С	20 °С	50 °С				
без ПАВ	140–150	2,48	1,7	11,8	3,7	1,5	0,90	0,67	14,28	2,63
ДАД-1	100–110	2,46	2,4	8,8	4,0	1,5	0,95	0,78	14,97	3,41

Результаты испытаний подтвердили теоретические данные [30, 31], а именно, образование сцепления между минеральным материалом и битумом, которое препятствует попаданию влаги между ними, что непосредственно влияет на долговечность асфальтобетонного покрытия.

2.2. Разработка рекомендаций по подготовке и использованию асфальтогранулята в составе органоминеральной смеси

Для заводской регенерации старого асфальтобетона используется асфальтный гранулят, полученный путем холодного фрезерования старого асфальтобетонного покрытия.

Регенерация старого асфальтобетона на АБЗ предусматривает добавление новых порций минерального материала и битумного вяжущего при стремлении максимального использования старого асфальтобетона в составе регенерированной смеси. Помимо битума и минерального материала, в состав регенерируемой асфальтобетонной смеси могут вводиться различные добавки, которые восстанавливают свойства старого битума, утраченные в процессе эксплуатации дорожного покрытия [17].

Технологический цикл работы АБЗ состоит из следующих операций:

- подготовка завода к работе;
- доставка, разгрузка и складирование компонентов минеральной части асфальтобетонной смеси и битума;
- внутризаводская транспортировка материалов к установке;
- подготовка материалов к смешиванию, дозирование компонентов в асфальтосмеситель согласно рецепту смеси;
- приготовление асфальтобетонной смеси в асфальтосмесителе;
- выгрузка готовой асфальтобетонной смеси в автосамосвалы, накопительный термос-бункер или на склад;
- отправка асфальтобетонной смеси потребителю.

До начала выпуска асфальтобетонной смеси необходимо выполнить работы по тарированию оборудования, которое заключается в регулировании и согласовании работы заслонок питателя и скорости движения ленточного конвейера в зависимости от заданного рецепта смеси. Работы по тарированию оборудования осуществляются согласно паспорту асфальтосмесителя, который разрабатывает компания-производитель [32].

Подачу щебня различных фракций и песка в бункер агрегата питания, который предназначен для предварительного дозирования составляющих, возможно осуществлять фронтальным погрузчиком или ленточным транспортером.

С агрегата предварительного дозирования минеральные материалы

подаются в сушильный барабан, в котором происходит их высушивание и нагрев. После нагревания смесь подают через горячий ковшовый элеватор на грохот и разделяют по фракциям в горячие бункеры асфальтосмесителей.

Нагретые минеральные материалы последовательно по фракциям поступают из отсеков бункера, через весовые дозаторы в асфальтосмесители, туда же дозируют холодный минеральный порошок. Одновременно нефтяной дорожный битум подается из расходного битумного котла через отдельный дозатор в асфальтосмесители. Точность дозирования компонентов минеральной части асфальтобетонной смеси должна быть не менее $\pm 3\%$, а битума и минерального порошка не менее $\pm 1,5\%$.

При отработке в производственных условиях рабочих рецептов асфальтобетонной смеси следует учитывать, что при выходе из сушильного барабана минеральные материалы частично меняют зерновой состав по сравнению с лабораторным подбором состава в результате выдувания пылевидных фракций от 0,5 % до 1,5 %.

После окончания перемешивания готовая асфальтобетонная смесь выгружается в кузов автомобиля-самосвала или в бункер-накопитель, откуда потом выгружается в автосамосвалы.

Качество асфальтобетонной смеси считается удовлетворительным если: при выгрузке из асфальтосмесителей смесь блестящая, черного цвета, однородная, не имеет сухих минеральных зерен, явных признаков расслоения сгустков битума и скопления зерен щебня; хорошая подвижность смеси в кузове автосамосвала формирует конус правильной формы, выделяя легкий сизый дымок.

Качество асфальтобетонной смеси считается неудовлетворительным если: смесь тусклая, иногда коричневого цвета, неоднородная, имеет минеральные зерна, непокрытые битумом, при выгрузке из смесителя медленно оплывает в кузове автомобиля, имеет зерновую сегрегацию, выделяет густой сизый дым или бесцветный пар.

Асфальтобетонные смеси на битуме, модифицированном полимерами, ПАВ и другими добавками, изготавливают на асфальтобетонных заводах согласно требованиям соответствующих технологических регламентов, утвержденных в установленном порядке предприятием-изготовителем [17].

Приготовление таких смесей требует, как правило, дооборудования АБЗ для осуществления модификации битумов.

При приготовлении как традиционных смесей, так и смесей с модифицированным битумом необходимо осуществлять операционный контроль температуры нагрева минеральных материалов, органического вяжущего в битумном котле, смеси на выходе из асфальтосмесителя, соблюдение точности дозирования составляющих и продолжительности перемешивания компонентов смеси.

Технологический процесс приготовления модифицированного битума в установке, оснащенной механическими мешалками, выполняют в следующей последовательности [33]:

- подача нагретого битума в установку для модификации;
- введение в битум, через дозирующее устройство, при постоянном перемешивании, необходимого количества полимера;
- интенсивное перемешивание вяжущего после завершения ввода модификатора;
- отгрузка модифицированного битума для потребления.

По сравнению с асфальтобетонными смесями на основе традиционных дорожных битумов, приготовление асфальтобетонных смесей на основе битумов с модифицирующими добавками осуществляется при более низких температурных режимах на 10–20 °С. При этом необходимо контролировать, чтобы снижение температуры приготовления не приводило к ухудшению свойств асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов.

2.3. Выводы

1. Анализ научной литературы и нормативных источников показал, что асфальтный гранулят является материалом, который можно использовать при приготовлении асфальтобетонной смеси. Применение асфальтогранулята позволяет сократить расход основных компонентов смеси, поскольку в его составе присутствуют щебень, песок, минеральный порошок и битум.

2. Лабораторными исследованиями подтверждено качество исходных материалов, на основе которых выполнен подбор состава асфальтобетонной смеси с добавлением асфальтного гранулята.

3. Рассмотрено практическое применение предлагаемой смеси с технологическими процессами и мероприятиями по технике безопасности при ее приготовлении.

3. BIM-ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СЛОЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ СМЕСИ

3.1. Аспекты применения BIM-технологии в строительстве

Концепция компьютерного моделирования в строительстве начала развиваться еще в конце 20 века. Традиционно проектирование зданий и сооружений подразумевало работу с отдельными двухмерными проекциями: планами, чертежами, техническими документами.

Технология BIM-проектирования (Building Information Model or Building Information Modelling – это информационная модель здания или информационное моделирование зданий) позволяет собирать и обрабатывать данные по всем основным характеристикам объекта в едином информационном поле. Информация визуализируется на трехмерной виртуальной модели с реальными физическими свойствами. Любые изменения одного элемента в онлайн-режиме отражает все последующие изменения всего проекта. Строящееся здание или сооружение рассматривается как единый объект. В BIM-модели отслеживается весь жизненный цикл строящегося объекта, начиная от его проектирования, эксплуатации, вплоть до сноса.

Цель использования технологии информационного моделирования – это воплощение числовой информации в удобном для восприятия и анализа виде. Исходные данные в готовой модели координируются, согласуются и связываются между собой. Каждая цифра имеет конкретную физическую привязку, поддающуюся анализу и расчету. Упрощается порядок внесения корректировок, обновления.

Информация в трехмерном виде используется в следующих целях:

- наглядное информирование подрядчиков, инвесторов, заказчиков, контролирующих инстанций о состоянии объекта с помощью трехмерной визуализации. Возможна демонстрация моделей с использованием специальных очков;
- централизованное хранение полного спектра данных о строящемся объекте. При внесении изменений в какой-либо один раздел проектировщик может сразу проследить результаты и последствия во взаимосвязанных проекциях;
- сокращение сроков разработки проектов;

- снижение риска ошибок, выявление несостыковок на стадии проектирования, а не в ходе реализации;
 - быстрый и наглядный расчет основных строительных конструкций.
- Для разработки инженерных комплексов используют уже созданные базы типовых узлов и элементов;
- управление в режиме реального времени. BIM-проектирование позволяет контролировать ключевые показатели объекта и сроки выполнения работ;
 - автоматизация процессов управления рабочей техникой;
 - быстрая выгрузка информации по результатам испытаний, изысканий, данных из проектной документации, других сведений по запросу;
 - возможность изменения финансовых параметров здания, трудозатрат в отдельных спецификациях для корректировки общей стоимости строительства;
 - централизованное управление бухгалтерией, закупками, программами развития;
 - более простая и эффективная эксплуатация зданий;
 - строительство объекта, максимально соответствующего требованиям заказчика и желаемым характеристикам.

Информационное моделирование имеет ряд преимуществ.

1. Прозрачность всего жизненного цикла здания.

Создание актуальной модели здания позволяет наглядно в режиме реального времени оценивать состояние здания.

2. Полный контроль всех процессов.

Любое изменение в состоянии здания на любом этапе жизненного цикла приводит к изменению информационной модели и ее характеристик, что позволяет контролировать весь процесс.

3. Сокращение сроков строительства здания. Создание 3D-модели каждого элемента здания позволяет быстрее принимать решения и видеть результат их применения.

4. Удешевление процесса строительства и обслуживания здания. Внесение в базу данных различных вариантов используемых материалов помогает быстро просчитать экономическую эффективность их применения и подобрать наиболее экономически целесообразные варианты.

5. Использование готовых решений.

Создание библиотек 3D-моделей различных составляющих здания

позволяет интегрировать их в общую модель как готовое решение. Это также способствует ускорению процесса строительства и сокращению затрат, а также уменьшению возможности совершения ошибок.

Применение определенных решений, а также любое изменение сразу показывают их влияние на другие параметры, что в итоге позволяет уйти от возможных ошибок.

Недостатки BIM-технологий проявляются на начальном этапе перехода к системе информационного моделирования и связаны со сложностями адаптации к новому подходу со стороны участников процесса.

1. Неподготовленность компаний к внедрению нового метода.

Многие строительные компании привыкли работать по старинке. Новая система требует нового подхода. Для продвижения своих продуктов в строительство здания придется создавать 3D-модели в своей конструкторской и технологической документации.

2. Нежелание сотрудников компаний осваивать новые современные технологии. Сотрудники компаний не все охотно воспринимают необходимость обучения работе в новых условиях. Кому-то придется уйти. Все это является «мотиватором» для торможения внедрения новых процессов.

3. Снижение производительности труда (на ранних этапах внедрения) из-за слабой подготовки компаний, неточных данных и прочее.

4. Финансовые потери от первоначальных ошибок и двойной работы по их исправлению.

В Постановлении Правительства РФ о BIM-технологиях в строительстве от 17 сентября 2020 г. Михаил Мишустин отметил, что их применение затрагивает весь цикл строительства: подготовительный этап, строительство зданий и сооружений, эксплуатацию и снос.

Применительно к автомобильным дорогам это подход к инженерному сооружению с учетом жизненного цикла объекта моделирования. Вся необходимая конструкторская, технологическая, экономическая и прочая информация об объекте собирается и хранится в информационной модели [34, 35].

В созданной информационной модели с использованием BIM-технологии автоматически создаются чертежи и отчеты, производится анализ проекта, моделируется график выполнения работ, текущие документы по его эксплуатации. Все накопленные и текущие данные по инженерному сооружению позволяют оптимизировать текущие расходы и планировать

(прогнозировать) будущие как технические, так и экономические показатели.

ВМ-технологии следует рассматривать как инструмент цифровизации дорожного хозяйства в цифровой экономике страны.

Коллективом авторов (ООО «ИндорСофт»; АО «Институт «Стройпроект» и ООО «С-ИНФО») подготовлен новый нормативный документ ОДМ 218.3.105-2018 [36], который позволил синтезировать взаимодействие всех участников информационного моделирования при выполнении дорожных проектов и упростил формулирование требований к подрядчикам, выполняющим строительство, ремонт и реконструкцию дорог, в соответствии с парадигмой информационного моделирования.

Данный документ определил регламент взаимодействия участников разработки проектной и рабочей документации на проектах строительства, капитального ремонта и реконструкции автомобильных дорог с применением ВМ-технологий.

В предложенный регламент включены следующие элементы:

- состав рабочих групп-участников с описанием их функций и обязанностей;
- порядок организации и функционирования среды общих данных (СОД), порядок получения доступа к СОД;
- порядок работы с проектной документацией в СОД;
- порядок информирования участников об обновлении информации в СОД;
- порядок внесения изменений и дополнений в регламент.

В приложениях регламента указываются технические требования к формированию информационной модели; требования заказчика к среде общих данных; приводится базовый классификатор элементов информационных моделей автомобильных дорог, с которого в дальнейшем предполагается создание более детализированных стандартизированных перечней.

Также в регламенте приводится приложение с рекомендациями по планированию затрат на реализацию проектов. В нем рассматриваются существующие и новые функции системы автоматизированного проектирования IndorCAD 10 и ГИС IndorRoad 10, реализующие требования к технологии информационного моделирования автомобильных дорог.

В мировых нормативных практиках классифицируют уровни зрелости в отношении способности организаций архитектурно-строительной отрасли

производить, хранить информацию и обмениваться ей. Выделяют четыре уровня зрелости моделей информационного моделирования.

Уровень 0 (неуправляемый CAD).

Пользователи применяют традиционный CAD в 2D-формате. На чертежах строительные элементы изображены линиями, дугами, определяющими геометрию конструкции. Обмен данными между участниками проекта происходит на бумажном или электронном носителе.

Уровень 1.

Пользователи применяют CAD в 2D- или 3D-формате. Модели первого уровня содержат в основном базовую информацию. Для обмена информацией используются электронные файлы. На этом уровне взаимодействие между участниками организовано через среду общих данных (Common Data Environment), специфицированную британским стандартом BS 1192:2007 [37]. Однако полноценного взаимодействия между участниками, относящимися к разным дисциплинам, не происходит.

Уровень 2.

ВМ-проект этого уровня представляет собой федерированную или комплексную модель, над которой параллельно работают специалисты различных специальностей в различных программах. Сборка общей модели, анализ и выявление коллизий осуществляются в специальных «сборочных» программных приложениях.

Данный уровень предполагает добавление следующих измерений: 4D (время) и 5D (стоимость). Для этого уровня предполагается формирование данных об объекте в формате COBie. Следует учесть, что правительство Великобритании обязало всех участников отрасли с апреля 2016 года выполнять все финансируемые государством проекты на втором уровне зрелости.

С точки зрения компании «Конкуратор» именно второй уровень зрелости информационного моделирования сегодня должен быть ориентиром и для российского архитектурно-строительного рынка.

Уровень 3.

Строительный проект опирается на единую интегрированную модель, которая создается и используется всеми участниками процесса – заказчиком проекта, архитектором, проектировщиком, инженерными службами, подрядчиками и субподрядчиками, собственниками здания. Это полностью

интегрированные данные и интегрированный процесс, использующий веб-сервисы и совместимый с новыми стандартами Industry Foundation Classes (IFC). В феврале 2015 года в Великобритании более подробно определили уровень зрелости 3.

Визуализация уровней зрелости BIM-технологий разработана Марком Бью и Мервином Ричардсом в виде диаграммы.

Последовательное перенимание и адаптация ведущих зарубежных практик и создание на их основе новых отечественных нормативных документов позволит глобально перевести строительную отрасль на BIM второго уровня и постепенно приведёт к пониманию третьего уровня (полностью интегрированному BIM).

3.2. Анализ исходных технических характеристик объекта дорожного строительства

Существующие программные комплексы, используемых в России для проектирования автомобильных дорог, не готовы полноценно реализовать концепцию, заложенную в самом термине BIM.

Требования к информационной модели автомобильной дороги.

Информационная модель данных (ИМД) должна существовать и наполняться информацией в течение всего жизненного цикла автомобильной дороги. Для решения задач, возникающих на разных этапах жизненного цикла, помимо собственно информации о геометрии дороги (план, продольный профиль, поперечные профили) информационная модель, по мнению авторов, должна включать в себя:

- цифровую модель местности (рельеф, геологию, инженерные коммуникации, ситуацию и т. д.) либо ссылку на модель местности, хранящуюся отдельно;
- используемые конструкции дорожной одежды и участки их применения;
- местоположение и описание объектов инженерного обустройства;
- другую информацию, позволяющую автоматизировать рабочие процессы на разных этапах жизненного цикла автомобильной дороги и повышать производительность сотрудников, имеющих доступ к ИМД.

Для того чтобы ИМД действительно помогала оптимизировать рабочие

процессы, необходимо программное обеспечение, которое умеет взаимодействовать с этой моделью, т. е. может редактировать модель, извлекать из нее нужную информацию и визуализировать в различных представлениях, формировать чертежи, ведомости и другие выходные документы.

Информационное моделирование в целом и дорог в частности подразумевает под собой несколько важных постулатов:

1. Модель должна быть параметризированной – изменения можно вносить в любую часть модели в любое время, при этом зависящие от сделанных изменений элементы модели автоматически должны изменяться в соответствии с заданными в модели правилами [38].

2. Используемое для работы с моделью программное обеспечение должно иметь возможность обнаруживать недопустимые с точки зрения норм проектирования, строительства или эксплуатации коллизии объектов модели [39].

3. Модель должна быть совместимой со стандартизированными форматами данных [40, 41], либо используемое программное обеспечение должно уметь обеспечивать обмен данными модели с другими программными продуктами посредством стандартизированных форматов данных.

4. Программное обеспечение должно обеспечивать работу со средой общих данных [42] для возможности оперативного взаимодействия специалистов, использующих модель в своей работе.

Жизненный цикл автомобильной дороги как физического объекта – это последовательность процессов существования объекта от замысла до ликвидации. Его принято делить на крупные стадии, внутри которых выделяются отдельные этапы (последовательные технологические работы, завершающиеся неким результатом – информационной моделью определенного вида) и процессы (непрерывные работы/процедуры, длящиеся в течение стадии и использующие/обновляющие информационную модель).

Основные стадии жизненного цикла автомобильной дороги [43]:

1. Планирование (предпроектная стадия) – этап формирования нескольких вариантов возможного прохождения трассы и выбора по совокупности технико-экономических показателей одного из них в качестве рабочего.

2. Проектирование (стадия изысканий и проектная стадия) – этап геометрического моделирования существующей местности, создание детальной

геометрической модели автомобильной дороги, пересечений, развязок, объектов инженерного обустройства, искусственных сооружений, послойной модели конструктивных слоев дорожной одежды и т. д.

3. Строительство/реконструкция/капитальный ремонт/ремонт (стадия реализации) – этап реализации проектного решения, в ходе которого выполняются строительные работы, работы по обустройству и подготовке дороги к сдаче в эксплуатацию.

4. Эксплуатация (стадия эксплуатации) – этап, на протяжении которого дорога эксплуатируется и подлежит регулярному обслуживанию, периодической диагностике, выявлению дефектов, планированию мероприятий по текущему и капитальному ремонтам дороги и расположенных на ней сооружений.

Зачастую информационная модель, подготовленная на одном из этапов, если не полностью теряется, то как минимум существенно «теряет в весе» при переходе к другому этапу:

- результаты планирования (концептуального или эскизного проектирования) передаются на проектную стадию в виде схем и чертежей;
- строители получают от проектировщиков огромные стопки чертежей, по которым должны выполнять строительство;
- эксплуатирующие организации после окончания строительства сами собирают информацию о построенном объекте.

Потеря информации при переходе от одного этапа к другому может происходить по разным причинам. Например, при использовании слабо совместимых по форматам данных программных продуктов на различных этапах жизненного цикла, или, что тоже часто бывает, при передаче на следующий этап лишь некоторых форм представления имеющейся информационной модели (чертежей, фотографий 3D-моделей, ведомостей), но не самой модели.

Однако концепция BIM [44] подразумевает, что в процессе жизненного цикла разные его этапы используют и наполняют единую информационную модель дороги сведениями, необходимыми для проектирования, строительства и последующей эксплуатации автомобильной дороги.

Производители программных комплексов стараются собрать технологическую цепочку из собственных программных продуктов, которая обеспечила бы использование единой модели объекта на разных этапах

жизненного цикла. Для этого в дорожной отрасли необходимы комбинированные решения в системе автоматизированного проектирования (САПР) и геоинформационных системах (ГИС) [43].

Компания «ИндорСофт», уже много лет занимающаяся разработкой программного обеспечения для проектирования и эксплуатации автомобильных дорог, предлагает к использованию программные продукты, позволяющие реализовать информационное моделирование на всем протяжении жизненного цикла автомобильной дороги, выполненные на базе платформ САПР IndorCAD 10 и ГИС автомобильных дорог IndorRoad 10.

Ниже последовательно рассматриваются этапы жизненного цикла автомобильной дороги на примере использования новых версий давно применяемых во многих странах программных продуктов компании «ИндорСофт»: стадии планирования, проектирования, строительства, эксплуатации.

Стадия планирования.

На стадии планирования необходимо выработать несколько вариантов прохождения трассы на местности с учетом рельефа, ситуации и землепользования. Варианты могут различаться количеством искусственных сооружений, объемом земляных работ, предварительной стоимостью и иметь существенные различия в плановой геометрии. Поэтому выполнение инженерных изысканий в полном объеме на всю территорию, где возможно прохождение варианта автомобильной дороги, нецелесообразно.

В то же время для выполнения работ по планированию зачастую достаточно весьма грубой модели рельефа, которую можно получить из публичных данных о поверхности земли (регулярная модель поверхности может быть загружена из интернета), или же модели, полученной на основе данных воздушного лазерного сканирования широкой полосы поверхности. Минусом такой модели будет отсутствие на ней ситуации, в том числе зданий, водоемов, растительности и других объектов, но на стадии планирования это легко восполняется возможностью подключения интернет-карт из публичных источников. Примером источника интернет-карт может быть, например, сервис «Космоснимки» [45].

Возможность наложения данных публичных кадастровых карт на модель позволяет в первом приближении получить информацию об участках землепользования, по которым, возможно, будет проходить проектная трасса.

Более точные кадастровые данные (кадастровые планы территорий – КПТ в формате XML) можно загрузить непосредственно в проект, при этом по любому участку можно получить доступную в КПТ информацию.

Инструменты IndorCAD 10 позволяют для выбранной территории загружать модель рельефа из интернета, текстурировать поверхность, используя интернет-карты, а также выполнять эскизное трассирование и последующую модификацию эскизной дороги «на лету», визуализируя на карте и в 3D-представлении предварительное «оценочное» проектное решение (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Концептуальная модель дороги на этапе планирования в IndorCAD 10

При изменении плана трассы продольный профиль автоматически подстраивается под новый рельеф местности. При необходимости инженер может модифицировать линию профиля так, как сочтет нужным. Простым действием можно изменить используемый шаблон поперечного профиля и поменять, например, категорию автомобильной дороги или число полос движения.

Модель рельефа с вариантами трасс в совокупности с трехмерным представлением может использоваться для предварительной оценки вариантов реализации и объемов инвестиций. При необходимости модель решения, полученная на этой стадии, может быть выгружена в форматах LandXML или IFC для обмена с другими программными системами, а может быть использована непосредственно в IndorCAD 10 на следующем этапе.

Стадия проектирования.

Традиционно этап проектирования начинается с инженерных изысканий, результатом которых является сформированная модель местности, содержащая более точную, чем на этапе планирования, цифровую модель рельефа, модель ситуации, модель геологии, модель инженерных коммуникаций и другую информацию, важную для принятия проектных решений.

При использовании традиционного подхода проектирование начинается только после полного окончания формирования цифровой модели местности (ЦММ), что неизбежно приводит к существенным временным издержкам. BIM-технология, реализованная в IndorCAD 10, позволяет минимизировать временные издержки, выполняя работы по уточнению ЦММ и проектированию независимо друг от друга.

Проектирование может выполняться параллельно с подготовкой или последовательным уточнением модели инженерных изысканий. Концептуальная модель дороги легко преобразуется в привычные для инженера оси, с которыми дальше будут выполняться обычные проектные манипуляции традиционными инструментами по редактированию плана, продольного и поперечных профилей. Работа же по наполнению и уточнению модели инженерных изысканий может продолжаться в процессе проектирования, а начать проектирование можно уже сразу после получения первого уточнения модели рельефа.

Параллельная работа проектировщиков и изыскателей возможна при условии использования СОД, предоставляющей в качестве слоя ЦММ отдельно подготавливаемую модель местности. По ходу наполнения цифровой модели местности информацией о зданиях, инженерных коммуникациях и других значимых объектах, проектировщики посредством СОД получают изменения в модели и могут корректировать проектные решения с учетом полученных изменений.

Одним из многих преимуществ, получаемых при использовании BIM-технологии в проектировании по сравнению с традиционным подходом, является возможность обнаруживать потенциальные коллизии с инженерными коммуникациями и другими объектами [39]. Это позволяет обнаруживать конфликты на ранних стадиях проектирования и вносить соответствующие изменения в проектное решение задолго до строительства.

После занесения в модель информации о геологических скважинах и построения цифровой модели геологии данные о геологических слоях могут

быть использованы при работе с профилями, построении чертежей, подсчете объемов земляных работ, а также трехмерной визуализации геологической модели (рисунок 3.2). Уже в процессе проектирования автомобильной дороги цифровая модель геологии может уточняться и корректироваться геологами, при этом проектировщики, используя СОД, автоматически получают изменившуюся модель и могут видеть ее в сечениях и учитывать геологические слои в объемах.

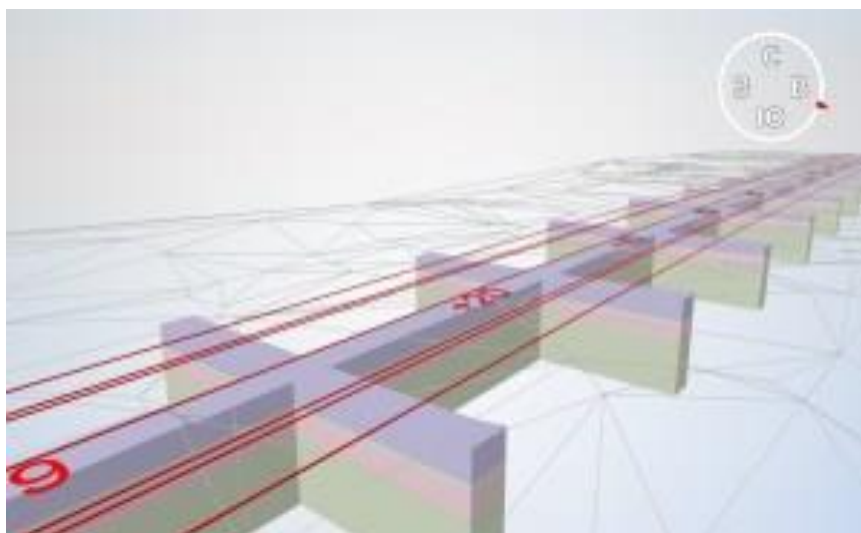


Рисунок 3.2 – Сечение геологических слоев под проектируемой дорогой

Проектируемые объекты модели полностью параметризированы: в процессе проектирования любые параметры проектируемой дороги (план, продольный, поперечные профили, конструкции дорожной одежды и многие другие) могут изменяться в любой момент времени и без необходимости перепроектирования всего того, что уже было сделано. Ведь даже при существенном изменении рабочей отметки с «минуса» на «плюс» конструкция поперечного профиля автоматически изменится с выемки на насыпь благодаря использованию встроенных в систему «сценариев».

В IndorCAD 10 встроена библиотека типовых решений, которую пользователь может дополнять собственными элементами. Помимо конструкций поперечного профиля, библиотека может содержать также типовые конструкции дорожных одежд. Таким образом, внесение заранее рассчитанной в IndorPavement [46] конструкции дорожной одежды в модель дороги может быть выполнено в несколько щелчков мыши.

Использование среды общих данных позволяет всем участникам процесса не только видеть актуальную информацию по проектируемому объекту, но и иметь возможность вставлять комментарии, прикрепляя их к тому или иному

объекту проекта. Например, заказчик, при предоставлении ему такой возможности или главный инженер проекта могут, «подключившись» к текущему состоянию модели, оставить какие-либо замечания или ремарки о некоторой части проекта. Проектировщики, непосредственно выполняющие проектные работы, при этом могут сразу увидеть замечания и оперативно внести правки в модель.

Некоторые объекты проекта (остановочные комплексы, пункты взимания платы, АЗС, надземные пешеходные переходы, мосты и т. д.) зачастую проектируются отдельно и в других программных продуктах. Система IndorCAD 10 позволяет загружать и устанавливать на создаваемую модель проектной поверхности различные 3D-объекты, созданные с использованием специализированных программных средств, поддерживающих распространенные форматы данных (DWG, IFC, OBJ), для получения цельной единой модели проекта. Например, объекты придорожного сервиса, смоделированные в специальных программах, без проблем «встраиваются» в проектное решение (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Вставленная в проект модель объекта из другого программного комплекса

В результате проектирования постепенно формируется проектная модель дороги – полноценная 3D-модель, детально описывающая конструктивное решение. При этом детализация проектной модели такова, что позволяет получить поверхности всех конструктивных элементов дорожной одежды, делая возможным использование модели на этапе строительства (рисунок 3.4).

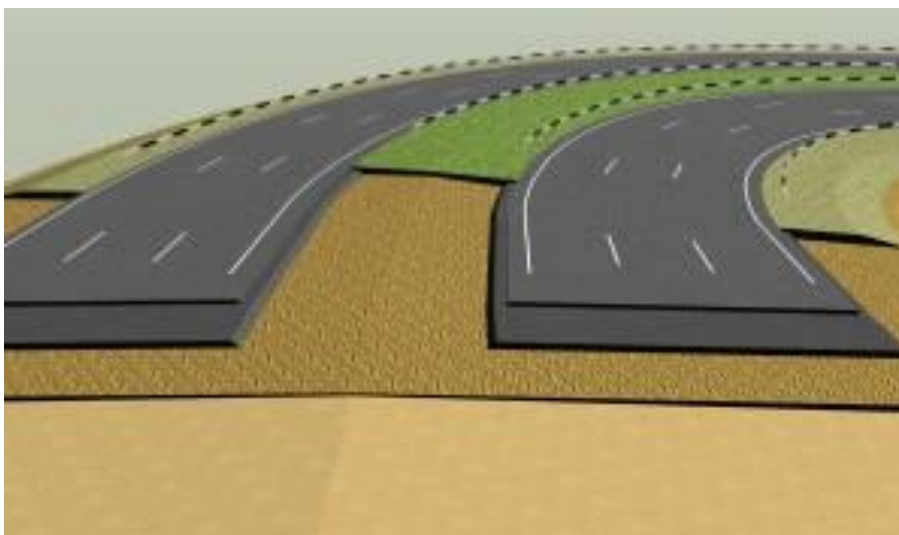


Рисунок 3.4 – Послойная модель конструкции дорожной одежды
в IndorCAD 10

Стадия строительства.

Система автоматизированного управления дорожно-строительными машинами (САУ ДСМ) – это программно-аппаратный комплекс, устанавливаемый на строительной технике для постоянного контроля текущего положения рабочего органа машины по высоте и уклону с целью точного повторения заранее подготовленной проектной поверхности [47, 48]. Современные САУ ДСМ позволяют формировать поверхности сложной формы за счет использования в бортовом компьютере цифровой модели проекта, поэтому для работы требуется загрузить в бортовой компьютер системы на машине ту цифровую модель поверхности, которую должен повторить рабочий орган машины. При традиционном подходе возникает проблема с загрузкой данных, поскольку на сегодняшний день проектная документация зачастую предоставляется на бумажном носителе. И даже если имеется электронный вариант проектной документации в виде PDF-файлов, он все равно не может быть загружен в САУ ДСМ, поскольку по своей сути не является трехмерной цифровой моделью поверхности.

В результате для использования САУ ДСМ в процессе строительных работ требуется заново воссоздавать трехмерную модель проекта из чертежей, в ходе чего однозначно будут иметь место ошибки, которые неминуемо отразятся на результате работы строительной техники.

IndorCAD 10 решает проблему передачи данных в САУ ДСМ, позволяя нажатием одной кнопки сформировать набор поверхностей и структурных

линий (по каждому слою земляного полотна при многослойном его обустройстве, по каждому из слоев дорожной одежды, а в случае проекта ремонта – и по поверхностям фрезерования) и сохранить этот набор в одном из форматов, поддерживаемых практически всеми современными системами управления дорожно-строительными машинами.

В процессе строительства могут проводиться контрольные исполнительные съемки фактически построенной поверхности. Такие измерения могут выполняться как традиционными методами (тахеометрической съемкой), так и с применением набирающих популярность мобильных лазерных сканирующих систем.

IndorCAD 10 позволяет легко загрузить результаты таких съемок и визуализировать их, показывая места, в которых отклонение от проектной поверхности превосходит допустимые отклонения.

Стадия эксплуатации.

По завершении строительства следует стадия эксплуатации автомобильной дороги. На этом этапе традиционно информационные модели создаются и поддерживаются посредством ГИС.

При наличии созданной на предыдущих стадиях ИМД было бы логичным ее использование и на этапе эксплуатации. Однако подходы к хранению данных и их структур, применяемые в САПР и ГИС, существенно различаются [49, 50]. Различаются и требования к составу и объемам информации, используемой для решения задач на этих стадиях жизненного цикла.

В САПР проект выполняется, как правило, на небольшой участок дороги (до нескольких десятков километров), отдельные элементы модели достаточно сильно связаны между собой и перестраиваются «на ходу» при изменении других элементов. Поэтому вся модель проектируемого участка дороги хранится в одном файле на диске и загружается в оперативную память компьютера целиком.

ГИС, в отличие от САПР, оперирует значительно большими объемами данных, используя для их хранения сервер баз данных и обеспечивая многопользовательский доступ к ним. В одной базе данных могут храниться данные о сети автомобильных дорог общей протяженностью несколько десятков тысяч километров. Такие данные имеют гораздо меньше взаимных связей, не требуют частых перевычислений и могут подгружаться пользователю небольшими порциями в некотором указанном регионе.

Поскольку в САПР и ГИС используется разный подход к организации и хранению данных, необходим механизм и формат обмена данными между САПР и ГИС. В системах IndorCAD 10 и IndorRoad 10 такая возможность обмена данными существует.

В начале этапа эксплуатации все данные ИМД, которые могут быть использованы на этом этапе, импортируются в базу данных ГИС. Сам проект автомобильной дороги также помещается в общее хранилище данных. При этом не теряется связность различных элементов проекта и соответствующих им объектов в базе данных. В ГИС ИМД продолжает развиваться и пополняется материалами паспортизации, диагностики и другой информацией по комплексу сооружений, входящих в состав автомобильной дороги.

При выполнении работ по паспортизации (инвентаризации) или кадастровому учету в ИМД попадают уточненные или обновленные данные о существующих дорожных сооружениях, а также данные о появившихся сооружениях, дорожных элементах или объектах придорожной полосы. Если при возникновении новых объектов выполнялось их проектирование, то вся проектная и другая документация тоже заносится в ИМД.

Результаты выполненной диагностики также сохраняются в соответствующих разделах ИМД. На их основе выполняется оценка транспортно-эксплуатационного состояния дороги и в случае необходимости назначаются ремонты.

Проект ремонта выполняется в САПР, в качестве исходных данных для проектирования используется информация, накопленная в ИМД во время эксплуатации дороги, а также исходная информация о проекте дороги, выполненном на этапе проектирования. Таким образом, для возможности использования информации для выполнения проекта ремонта или реконструкции необходимо обеспечить «обратную» передачу данных из ГИС в САПР.

После разработки проекта ремонта и фактического выполнения ремонтных работ информация о выполненном ремонте, проект ремонта, информация об измененных в процессе ремонта параметрах автомобильной дороги и элементах дорожных конструкций, а также сведения о гарантийных обязательствах [51] включаются в ИМД. В итоге на этапе эксплуатации различные виды данных должны циклически передаваться между САПР и ГИС в рамках единой ИМД.

На стадии эксплуатации автомобильной дороги важно обеспечение безопасности дорожного движения на всей дороге и на отдельных, наиболее опасных участках. Основной метрикой для выявления таких участков служат данные о дорожно-транспортных происшествиях, присутствующие в ИМД и периодически актуализируемые.

ГИС IndorRoad позволяет по этим данным выявлять участки концентрации ДТП [52]. После выявления аварийно-опасных участков, как правило, вносятся изменения в существующие проекты организации дорожного движения (ПОДД) или разрабатываются новые. В силу того, что ИМД содержит в себе всю необходимую информацию о технических средствах организации дорожного движения, ГИС позволяет свести разработку или корректирование ПОДД к редактированию информационной модели при помощи специальных инструментов [53]. Обмен данными в процессе выполнения ПОДД осуществляется аналогично процессу выполнения и реализации проектов ремонта, описанному выше.

Одной из важных задач на стадии эксплуатации является планирование работ по содержанию автомобильных дорог. Информационная модель автомобильной дороги содержит комплексную информацию по объектам, составляющим автомобильную дорогу (например, ширина проезжей части, тип покрытия, дорожные знаки, ограждения и т. п.), с точным описанием их геометрических параметров и атрибутов. Наличие инструментов, позволяющих точно определять расстояния и площади произвольных участков автомобильной дороги, получать агрегированные выборки данных по различным типам объектов, делает возможным использование ГИС в качестве инженерного инструмента для определения объемов работ при содержании автомобильной дороги. Таким образом, использование технологии информационного моделирования, реализованной в программных продуктах компании «ИндорСофт» для автомобильных дорог, позволяет на стадиях планирования, проектирования, строительства и эксплуатации применять сквозную информационную модель дороги.

Непосредственно в системе IndorCAD 10 может быть выполнено сопровождение основных этапов жизненного цикла автомобильной дороги: эскизное проектирование, построение качественной ЦММ, инженерное проектирование, поддержка строительства, контроль строительства объекта и передача данных в ГИС для последующего управления построенным объектом.

В ГИС IndorRoad 10 хранятся и аккумулируются все данные, используемые на этапе эксплуатации автомобильной дороги. Для автоматизации и успешного решения задач всего жизненного цикла необходимо взаимодействие двух классов программных продуктов (ГИС и САПР). Однако стоит помнить, что технология информационного моделирования подразумевает под собой не только использование соответствующего программного обеспечения, но и повышение зрелости применения технологий [54]: изменение стереотипов мышления, подходов к организации процессов применительно к каждому этапу жизненного цикла автомобильных дорог [55].

3.3. Оптимизация проекта организации строительства слоя дорожного покрытия из органоминеральной смеси за счет применения BIM-технологии

Системы для подготовки BIM-проектов.

При подготовке BIM-проектов применяются специализированные программные продукты, такие как Autodesk Navisworks и его аналоги.

Задачами систем для подготовки BIM-проектов являются:

- создание информационной модели поверхности земли, объектов строительства и существующей инфраструктуры;
- поиск коллизий при объемном моделировании объектов строительства;
- моделирование строительных процессов с привязкой к времени.

В качестве исходных данных для разработки BIM-проекта используются данные, полученные в результате подготовки технических проектов, а также данные, полученные в результате подготовки проекта организации строительства (ПОС).

Рассмотрим цикл разработки BIM-проекта, включающий в себя взаимодействие различных видов программного обеспечения, используемого для разработки строительных проектов (рисунок 3.5). Как видно из рисунка 3.5, все виды программного обеспечения обмениваются информацией друг с другом и тесно связаны. Проектные решения, принятые при разработке технических проектов, влияют на разработку ПОС, а также на построение информационной модели в BIM-системе. Существуют и обратные зависимости. Факт такого взаимодействия позволяет еще на этапе разработки технического проекта автомобильной дороги учитывать особенности технологии выполнения

работ по возведению конструктивных элементов автомобильной дороги и искусственных сооружений, а также организации выполнения строительномонтажных работ (СМР).

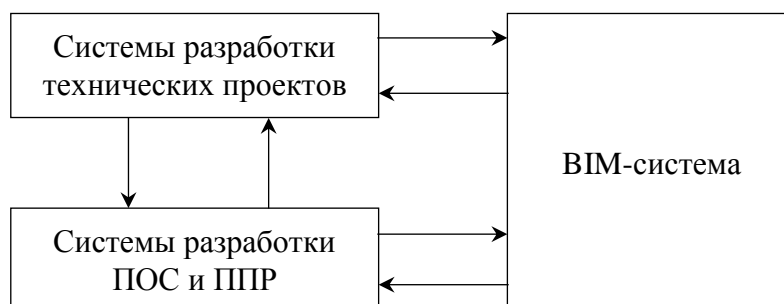


Рисунок 3.5 – Цикл разработки VIM-проекта

Разрабатываемый программный продукт Planworks относится к системам разработки ПОС и ППР и призван занять соответствующую нишу в цикле разработки VIM-проектов.

Основные требования, которые были выдвинуты к разрабатываемому программному продукту:

- 1) высокая степень взаимодействия с системами подготовки технических проектов и генеральных планов, а также с системами подготовки VIM-проектов;
- 2) автоматизированное создание, расчет параметров и увязка задач, на основании задаваемых пользователем исходных данных: технологий возведения конструктивных элементов, технологических операций и связей между ними, объемов СМР, используемых материальных и трудовых ресурсов;
- 3) разработка основных элементов ПОС и ППР на основании сгенерированной сетевой модели задач;
- 4) наличие нормативной базы технологий, технологических операций, строительных материалов и ресурсов;
- 5) оповещение о ресурсных конфликтах, возникающих при планировании работ во времени;
- 6) вариантное проектирование организации производства СМР;
- 7) оптимизация машинно-дорожных отрядов, с целью минимизации простоев и повышения коэффициента использования техники во времени;
- 8) наличие инструментов, позволяющих решать проблемы временного планирования, вызванные по причинам сбоев техники, природных факторов и т. д., с документированием причин возникновения проблем;
- 9) наличие инструментов для оперативного управления строительными

процессами.

Предварительно предлагается следующий порядок работы в программном продукте Planworks:

- 1) создание календарей и настройка интервалов рабочего времени;
- 2) создание рабочих ресурсов и настройка их параметров (производительность, технические характеристики и т. п.);
- 3) определение объемов СМР;
- 4) выбор технологий по монтажу конструктивных элементов автомобильной дороги, настройка их параметров и их увязка;
- 5) создание технологических операций для каждой технологии, настройка их параметров и увязка между собой в пределах соответствующих им технологий;
- 6) запуск автоматизированного создания расчета параметров и увязки задач;
- 7) формирование вывода результатов в графической форме.

Календари используются в процессе временного планирования сгенерированных задач. Создание календарей осуществляется при помощи разработанного графического редактора календаря (рисунок 3.6). Пользователю необходимо указать название календаря, а также задать интервалы рабочего времени по датам. Время выполнения строительно-монтажных работ определяется пользователем на основании метеорологических данных, технологических требований и прочих условий.

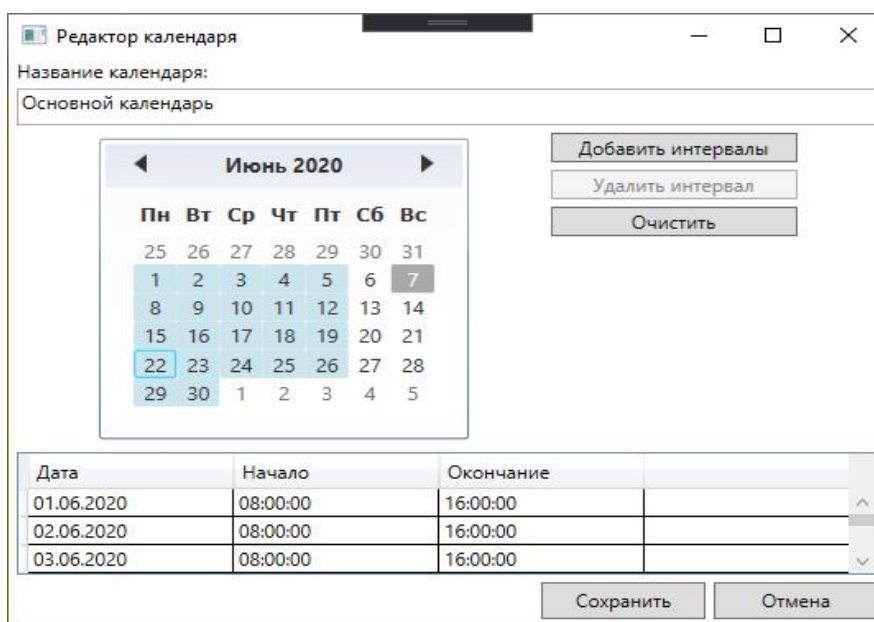


Рисунок 3.6 – Прототип интерфейса графического редактора календаря

Рабочие ресурсы используются в процессе расчета длительностей сгенерированных задач. Рабочие ресурсы создаются при помощи разработанного графического редактора ресурсов. Пользователь должен указать название и тип ресурса, а также задать необходимые значения параметров, в соответствии с типом ресурса. Создаваемые рабочие ресурсы должны соответствовать выполняемым им видам работ.

Объемы СМР используются в процессе расчета длительностей сгенерированных задач. Создание объемов работ осуществляется при помощи разработанного графического редактора объемов работ (рисунок 3.7). Пользователю необходимо задать поикетные значения объемов работ. Объемы работ, как правило, определяются на основании предварительно разработанных технических проектов в системах подготовки технических проектов строительных сооружений. Таким образом, объемы работ являются одной из информационных зависимостей между программными продуктами в цикле разработки BIM-проекта.

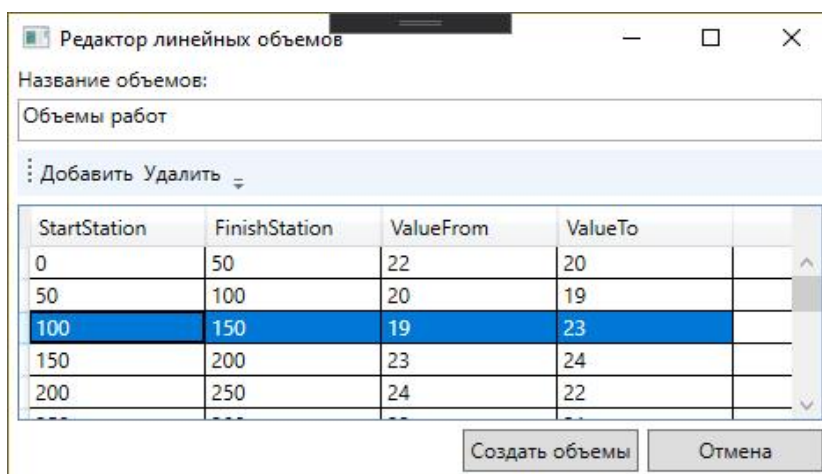


Рисунок 3.7 – Прототип интерфейса графического редактора объемов работ

Технологии используются в качестве исходных данных к выполнению автоматизированного создания, расчета параметров и увязки задач. Создание технологий осуществляется при помощи разработанного редактора технологий. Пользователь должен указать название технологии и задать календарь, в соответствии с которым будет осуществляться планирование сгенерированных задач во времени. В разрабатываемой программе технологии представлены в виде графических блоков. Увязка осуществляется графическим способом, путем соединения блоков технологий линиями связей. При увязке сгенерированных задач связи между технологиями используются для генерации связей между

потоками по сооружению конструктивных слоев автомобильной дороги.

Для каждой технологии задаются технологические операции. Создание операций осуществляется при помощи разработанного редактора операций. Пользователь должен указать название и тип операции, а также задать необходимые значения параметров, в соответствии с типом операции. Подобно технологиям операции представлены в виде графических блоков. Увязка операций в пределах каждой технологии осуществляется подобно увязке технологий графическим способом (рисунок 3.8). При увязке сгенерированных задач связи между технологическими операциями используются для генерации связей между задачами в пределах рабочей смены для всех захваток в смене.

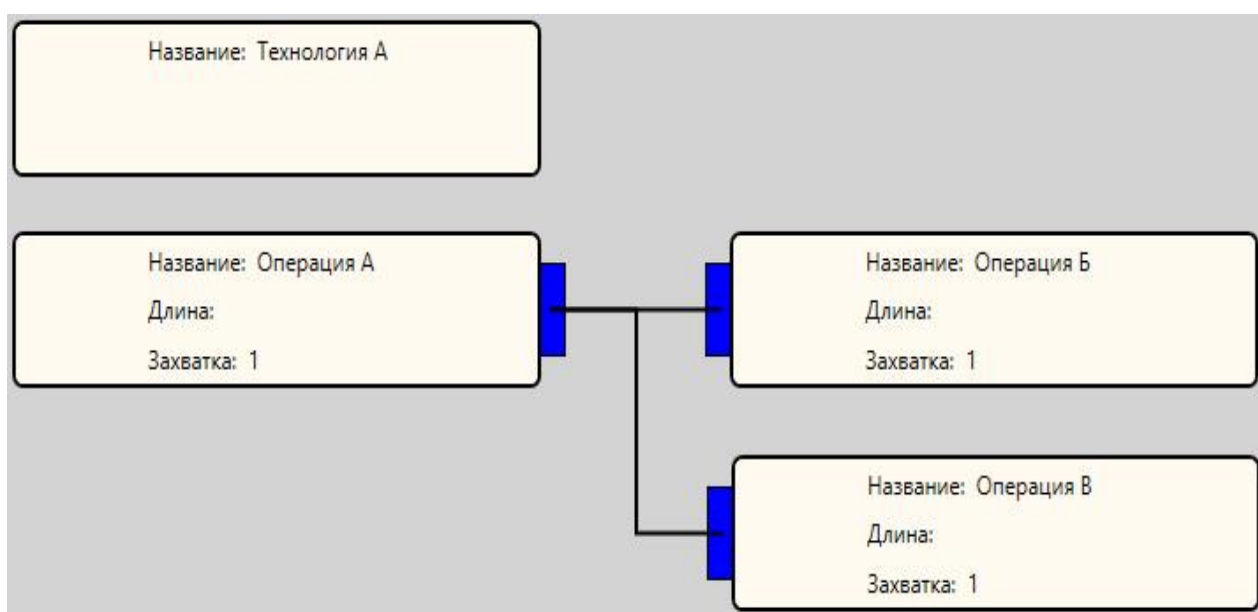


Рисунок 3.8 – Увязка технологических операций графическим способом

Преимуществами предложенного подхода составления проектов являются:

- автоматизация создания, расчетов и увязки задач;
- минимизация влияния человеческого фактора;
- ориентированность на проекты линейного строительства;
- автоматизированное построение календарного, сетевого графиков и графиков потребностей в ресурсах.

На основании исходных данных выполняется автоматизированная генерация задач, в результате чего в проект добавляется сетевая модель задач, включающая в себя задачи следующих типов:

- 1) задачи строительных потоков;
- 2) сменные задачи;

- 3) вехи конца и начала смены;
- 4) задачи сменных захваток, входящих в состав смены;
- 5) элементарные (неделимые) задачи по сооружению конструктивных элементов автомобильной дороги, входящих в состав сменных захваток.

Для того чтобы избежать ресурсных конфликтов между задачами, выполнение которых пересекается друг с другом во времени, и в случае недостаточной доступности ресурса, выполняющего данную задачу, используются приоритеты выполнения задач. В случае конфликтного ресурса задача с более высоким приоритетом выполняется в первую очередь, а задача с меньшим приоритетом переносится на другой, более поздний срок.

Для увязывания задач используются следующие типы связей:

- окончание – начало;
- начало – начало;
- окончание – окончание;
- начало – окончание.

Тип связи «окончание – начало» подразумевает, что последующая задача не начнется до тех пор, пока не завершится предшествующая задача.

Тип связи «начало – начало» подразумевает, что последующая задача не начнется до тех пор, пока не начнется предшествующая задача.

Тип связи «окончание – окончание» подразумевает, что последующая задача не закончится до тех пор, пока не закончится предшествующая задача.

Тип связи «начало – окончание» подразумевает, что последующая задача не окончится до тех пор, пока не начнется предшествующая задача.

Полученная сетевая модель работ может использоваться при формировании исходных данных для систем подготовки ВМ-проектов, создавая тем самым еще одну информационную зависимость между программными продуктами в цикле разработки ВМ-проекта, а также для создания основных элементов ПОС и ППР.

В разрабатываемом программном продукте предусмотрено создание следующих элементов ПОС:

- 1) календарный график выполнения строительно-монтажных работ, который представлен в виде диаграммы Ганта (рисунок 3.9);
- 2) сетевой график выполнения строительно-монтажных работ;
- 3) ведомости трудозатрат;
- 4) ведомости потребности в трудовых и материальных ресурсах.

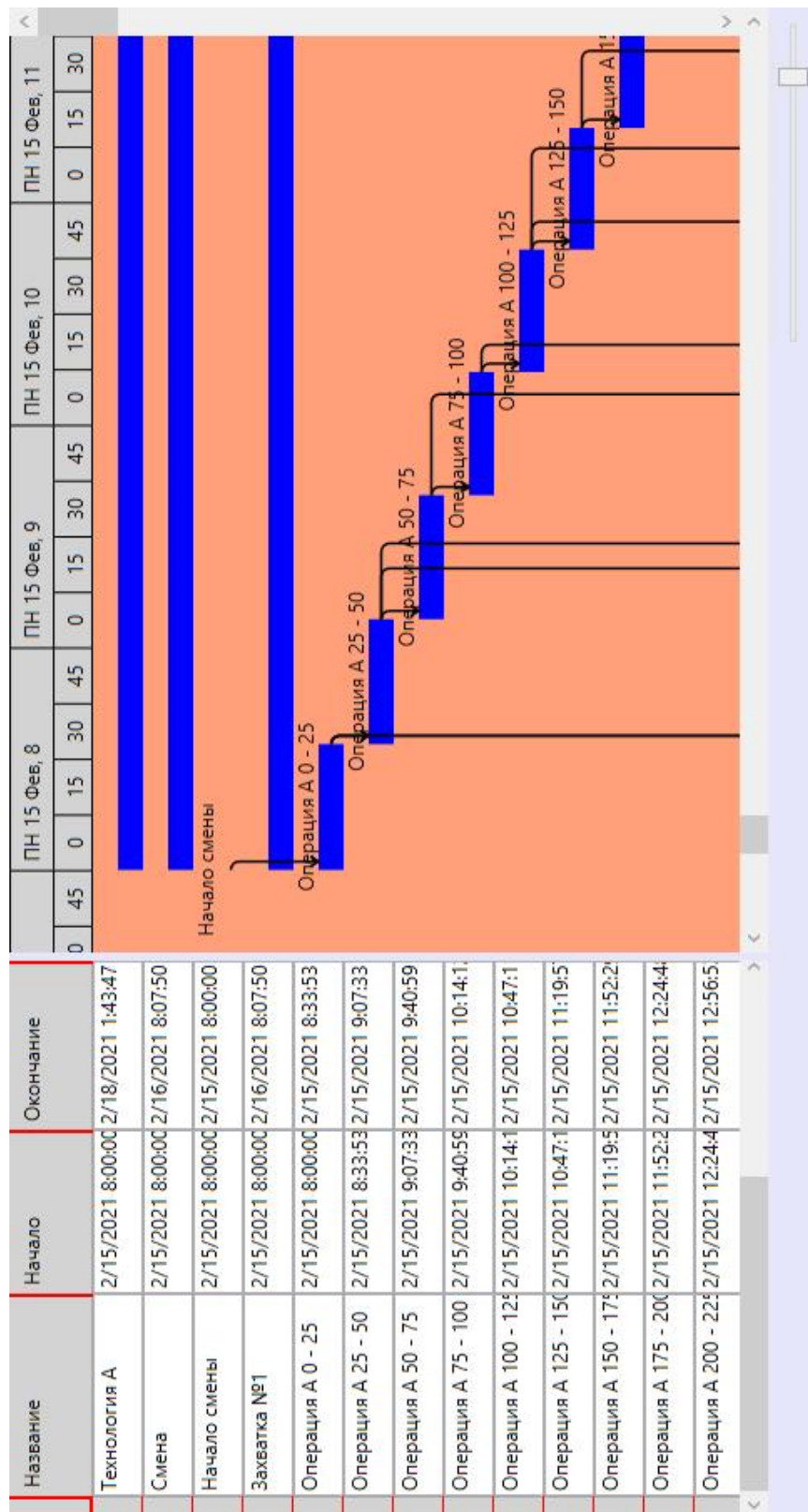


Рисунок 3.9 – Прототип календарного графика

Особенностью использования диаграммы Ганта является возможность корректировки сроков выполнения задач с автоматизированным перерасчетом всех зависимых задач. При корректировке задач автоматически корректируются сетевые графики и графики потребностей в ресурсах.

Сетевые графики отображают связи между выполняемыми задачами и определяют порядок выполнения строительного-монтажных работ. Пример сетевого графика представлен на рисунке 3.10.

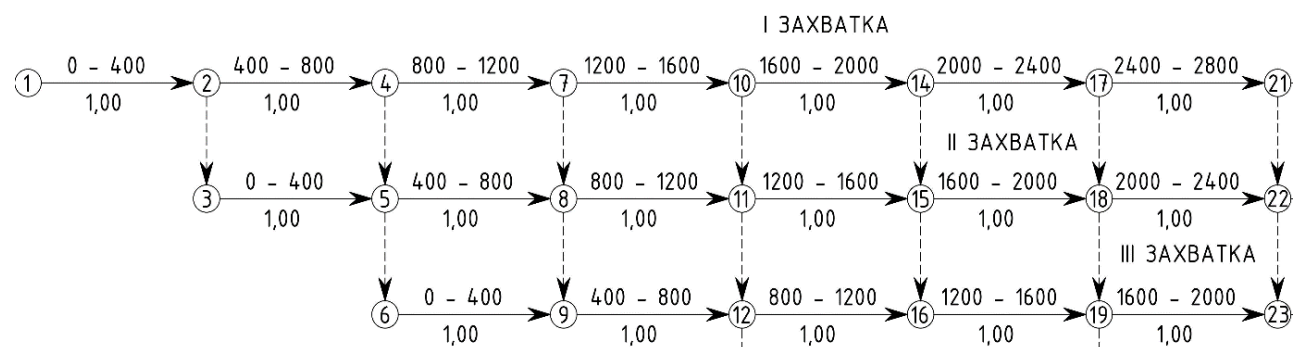


Рисунок 3.10 – Пример автоматизированно составленного сетевого графика выполнения строительных работ

Сетевой график является сетевой моделью, отображающей способы увязки задач и технологических операций друг с другом с учетом рассчитанных временных параметров. Использование сетевых графиков позволяет выделять задачи, непосредственно влияющие на длительность выполнения проекта, с целью дальнейшей оптимизации графиков производства работ. Основной концепцией сетевого графика являются понятия «работа» и «событие».

Работа – это технологическая операция определенной продолжительности, которая выполняется с привлечением трудовых и материальных ресурсов. На сетевом графике (рисунок 3.10) работа указывается в виде стрелки, соединяющей события начала и окончания работы. Над стрелкой указывается название работы, под стрелкой – продолжительность выполнения работы.

Событие – это факт начала (начальное событие) или окончания (конечное событие) работы. Событие, не имеющее предшествующей работы, называется исходным событием. Событие, не имеющее последующей работы, называется завершающим событием. Если событие является окончанием или началом двух или более работ, то такое событие называют сложным событием. На сетевом графике (рисунок 3.10) событие указывается в виде кружка в центр которого вписан индекс события.

Код работы – это идентификатор работы в пространстве сетевой модели. Код работы состоит из индексов начального и конечного события.

Ожидание – это работа, требующая затрат времени, но не требующая трудовых и материальных затрат. По сути ожидание является организационным или технологическим перерывом. Отображается на сетевом графике (рисунок

3.10) стрелками, соответствующими определенному виду работы.

Зависимость – это работа с нулевой длительностью (фиктивная работа), не требующая трудовых и материальных затрат. Зависимость используется для отображения взаимосвязей между выполнением задач. На сетевом графике (рисунок 3.10) зависимость отображается пунктирной стрелкой.

Полученный сетевой график (рисунок 3.10) отображает схему движения потоков и очередность производства работ.

Графики потребностей в ресурсах определяются для всех задействованных механизмов в строительном процессе и позволяют определить требуемое количество ресурсов на рассматриваемый период строительства. Пример графика потребностей в ресурсах представлен на рисунке 3.11.

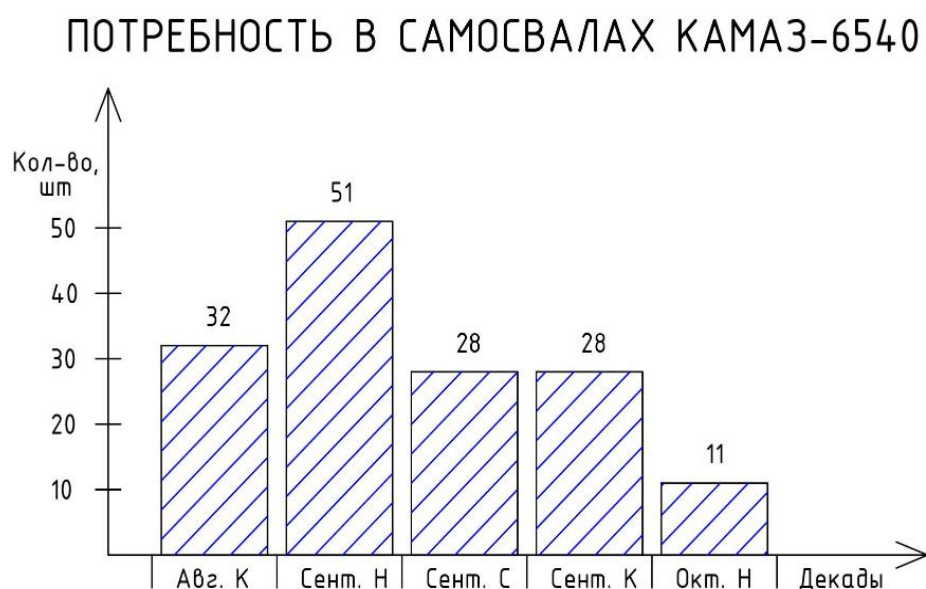


Рисунок 3.11 – Пример составленного графика потребностей в ресурсах

Для облегчения и ускорения работы разработчика ПОС, а также для обеспечения наличия актуальной и нормированной информации была разработана реляционная база данных технологических операций и рабочих ресурсов.

В качестве исходных данных для заполнения базы данных выступил ГЭСН-2022 [56] вчасности:

- Сборник 01. Земляные работы;
- Сборник 27. Автомобильные дороги;
- Сборник 30. Мосты и трубы;
- Сборник 47. Озеленение, защитные лесонасаждения.

Имеется возможность расширения нормативной базы за счет подключения действующих ведомственных норм или иных регламентирующих

документов. Такой подход позволит учитывать наработанный на предприятии опыт для повышения качества составления ПОС в будущем.

На базе разработанной программы для календарного планирования разработан модуль оптимизации машинно-дорожного отряда (МДО). Оптимизация МДО позволит повысить эффективность использования имеющейся строительной техники на балансе предприятия, минимизировать простои и затраты на работу строительного потока. В качестве исходных данных пользователем задаются технологии производства работ, группы технологических операций, объемы работ и перечень рабочих ресурсов, имеющихся на предприятии. Оптимизация осуществляется комбинаторным перебором комбинаций операций и назначаемых ресурсов. В качестве критериев оптимизации используются общее количество задействованных ресурсов в потоке и средний коэффициент использования ресурсов во времени. Результаты оптимизации выводятся пользователю в графической форме.

Использование разработанного программного продукта Planworks на практике позволит значительно повысить эффективность использования BIM-технологий при подготовке проектов строительства автомобильных дорог. Автоматизация расчетов сетевой модели задач по производству СМР минимизирует влияние человеческого фактора на корректность расчетов и временного планирования. Оптимизация состава МДО и вариантное проектирование организации строительства позволит получить экономическую выгоду от использования Planworks на предприятии. Предложенный программный продукт позволит в автоматизированном режиме выполнять оптимизацию технологического процесса на стадии разработки проекта организации строительства с учетом фактических условий выполнения работ и состава парка дорожно-строительных машин на предприятии.

3.4. Разработка технологического регламента устройства слоя основания из горелой отвальной породы с использованием BIM-технологии

Задача – это именованный промежуток времени, в течение которого ресурсы выполняют определенный вид работ. Длительность задачи определяется расчетом и зависит от объемов работ и производительности ресурсов.

Задачи обладают следующими параметрами:

- ресурсы, которые следует затратить для выполнения данной задачи;

- дата начала задачи;
- дата окончания задачи;
- длительность задачи;
- перечень связей с другими задачами и их характер;
- пикетажное положение начала участка задачи;
- пикетажное положение конца участка задачи.

В общем случае длительность задачи может быть определена по формуле

$$D = \frac{V}{\sum_{i=1}^n \Pi_i}, \text{ ч}, \quad (3.1)$$

где V – значение объемов работ для текущей задачи;

Π_i – производительность i -го рабочего ресурса, назначенного для выполнения данной работы;

n – количество ресурсов, назначенных для выполнения данной работы.

В организации строительства автомобильных дорог захватка является ограниченным участком дороги, в пределах которого производятся строительномонтажные работы. В разрабатываемой программной модели захватки представляют собой групповую задачу. Захватки состоят из атомарных (неделимых) задач, которые выполняются на определенном участке производства работ. Длительность групповой задачи захватки d_3 определяется по формуле

$$d_3 = t_K^3 - t_H^3, \text{ ч}, \quad (3.2)$$

где t_K^3 – максимальное время окончания задачи из группы задач, выполняемых на рассматриваемой захватке;

t_H^3 – минимальное время начала задачи из группы задач, выполняемых на рассматриваемой захватке.

Вехи представляют собой задачи нулевой длительности, предназначенные для определения начала или завершения каких-либо этапов работ. В разрабатываемом продукте вехи предназначены для обозначения начала и завершения смен, а также для увязки задач между сменами.

Смены являются групповыми задачами, которые непосредственно включают в себя групповые задачи захваток. Длительность смены определяется по формуле

$$d_c = t_k^{захв} - t_n^{захв}, \text{ ч}, \quad (3.3)$$

где $t_k^{захв}$ – максимальное время окончания групповой задачи захватки из группы групповых задач захваток, выполняемых в текущей смене;

$t_n^{захв}$ – минимальное время начала групповой задачи захватки из группы групповых задач захваток, выполняемых в текущей смене.

Алгоритм генерации задач состоит из следующих шагов:

1. Производится расчет максимального количества захваток для одной смены.
2. Определяется количество смен.
3. Формируются наборы исходных данных по каждой захватке в каждой смене для расчета смен. Каждый набор исходных данных для расчета захватки в смене содержит параметры: пикетажное положение начала участка захватки, пикетажное положение конца участка захватки, номер захватки и номер смены.
4. Создается объекты смен по наборам исходных данных для расчета захваток в сменах.
5. Для каждой смены создаются объекты захваток. Рассчитываются параметры для захватки: пикетажное положение начала участка захватки, пикетажное положение конца участка захватки, номер захватки и номер смены.
6. Для каждой захватки создаются объекты задач. Рассчитываются пикетажные положения начала и конца участка, на котором выполняется задача. Рассчитываются параметры задачи.
7. Для каждой смены производится увязка задач.
8. По полученным объектам задач рассчитываются время и дата задач захваток и смен.
9. Создаются объекты вех начала и конца смены.
10. Производится увязка вехи начала смены с задачами, не имеющими задач-предшественников.
11. Производится увязка вехи конца смены с задачами, не имеющими задач-наследников.

Количество смен определяется по формуле

$$N_s = N_d + N_d^t - 1, \text{ шт.}, \quad (3.4)$$

где N_d – количество участков захваток;

N_d^t – максимальное количество задач захваток в одной смене;

$$N_d = \frac{ПК_K + ПК_H}{L_3}, \text{ шт.}, \quad (3.5)$$

где $ПК_K$ – конечный пикет строящегося участка дороги;

$ПК_H$ – начальный пикет строящегося участка дороги;

L_3 – принятая длина захватки для данной технологии.

Алгоритм увязки задач состоит из следующих шагов:

1. Генерируются пары элементов типа операция-задачи, которые подлежат увязке.

2. Для каждой операции производится выборка всех задач, которые к ней относятся. Задачи из выборки увязываются последовательно друг с другом.

3. Для каждой операции из пар типа операция-задачи осуществляется выборка операций-предшественников.

4. Для каждой операции-предшественника осуществляется выборка задач, соответствующих этой операции. Задачи текущей операции и задачи операции-предшественника увязываются друг с другом. Тип связи между задачами операций соответствует типу связи между этими операциями.

Схема увязки задач представлена на рисунке 3.12.

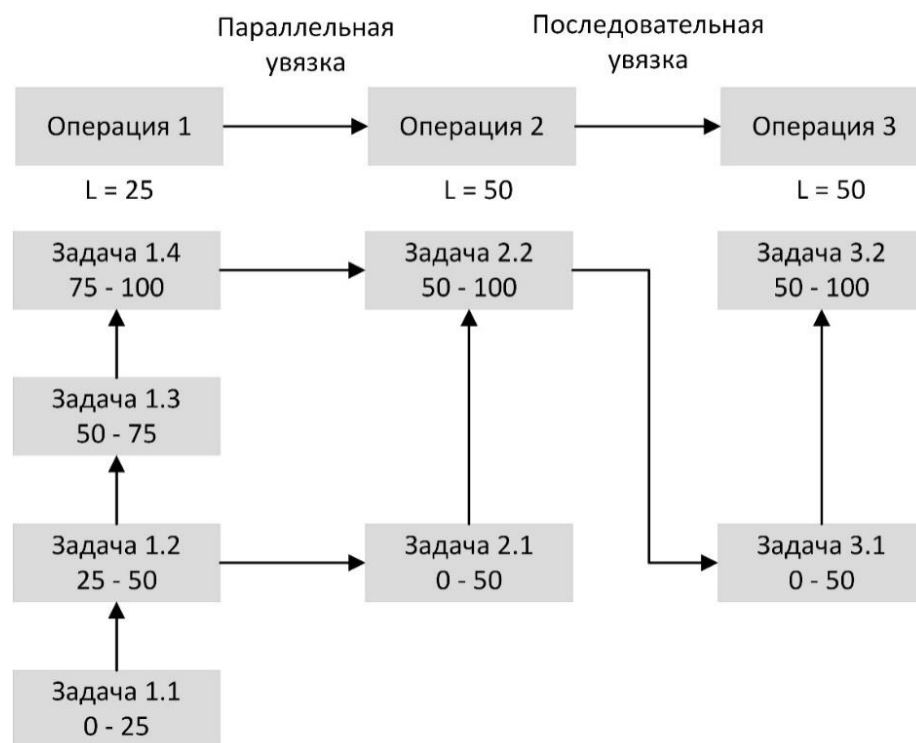


Рисунок 3.12 – Схема увязки задач

Частный поток, выполняющий работы по сооружению слоя основания из отвальной горелой породы, является потоком с постоянной скоростью. В зависимости от выполняемых технологических операций принимаем следующие ресурсы для потока:

- транспортировка отвальной горелой породы – автосамосвал КамАЗ-6540;
- разравнивание слоя из отвальной горелой породы – бульдозер Caterpillar D8R;
- распределение цемента – цементораспределитель;
- распределение извести – цементораспределитель;
- увлажнение песчано-гравийной смеси на обочинах – поливомоечная машина МД 433-03;
- подкатка слоя основания легкими катками за 4 прохода по одному следу – каток РАСКАТ RV-2,0DD;
- уплотнение слоя покрытия тяжелыми гладковальцовыми катками за 18 проходов по одному следу – каток ДУ-101.

Во время расчета задач программные алгоритмы определяют производительность используемых рабочих ресурсов. Способ определения производительности зависит от конкретного типа ресурса.

Эксплуатационная производительность отдельных механизмов может быть определена на основании норм времени по формуле

$$П = \frac{И}{H_g}, \quad (3.6)$$

где $И$ – измеритель;

H_g – норма времени.

Производительность автомобиля-самосвала определяется по формуле

$$П = \frac{3600 \cdot Q \cdot k_g}{\frac{2L}{v} \cdot 3,6 + t}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.7)$$

где Q – объем кузова, м^3 ;

k_g – коэффициент использования машины во времени ($k_g = 0,85$);

L – дальность транспортировки, м;

v – скорость движения автомобиля, км/ч;

t – время, затрачиваемое на погрузку и разгрузку, с.

Эксплуатационная производительность бульдозера определяется по формуле

$$\Pi = \frac{3600}{t_{\text{ц}} \cdot k_p} \cdot V_{\text{нр}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{у}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.8)$$

где $V_{\text{нр}}$ – объем призмы волочения грунта, м^3 ;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования машины;

$k_{\text{у}}$ – коэффициент влияния величины уклона на производительность;

$t_{\text{ц}}$ – время рабочего цикла, с;

k_p – коэффициент рыхления грунта;

$$t_{\text{ц}} = 3,6 \cdot \left(\frac{l_p}{v_p} + \frac{l_{\text{мп}}}{v_{\text{мп}}} + \frac{l_{\text{х.х}}}{v_{\text{х.х}}} \right) + 20, \text{ с}, \quad (3.9)$$

где l_p – длина пути резания, м;

$l_{\text{мп}}$ – длина транспортировки, м;

$l_{\text{х.х}}$ – длина холостого (обратного) хода, м;

v_p – скорость при резании, км/ч;

$v_{\text{мп}}$ – скорость при транспортировке, км/ч;

$v_{\text{х.х}}$ – скорость холостого (обратного) хода, км/ч;

$$l_p = \frac{V_{\text{нр}}}{h \cdot B}, \text{ м}. \quad (3.10)$$

Эксплуатационная производительность катка при уплотнении площадей определяется по формуле

$$\Pi = \frac{(B-b) \cdot V \cdot 1000}{m} \cdot k_{\text{в}}, \text{ м}^2/\text{ч}, \quad (3.11)$$

где B – ширина полосы уплотнения, м;

b – ширина перекрытия смежных полос, м;

V – средняя скорость движения, км/ч;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования машины;

m – количество проходов по одному следу.

Эксплуатационная производительность поливомоечной машины при увлажнении слоя материала зависит от дальности транспортировки воды и определяется по формуле

$$\Pi = \frac{k_g \cdot Q}{t_d + t_p}, \text{ л/ч}, \quad (3.12)$$

где k_g – коэффициент использования машины;

Q – вместимость цистерны, л;

t_d – время, затрачиваемое на доставку воды, ч;

t_p – время, затрачиваемое на разлив воды, ч;

$$t_d = \frac{2 \cdot l}{v_d} + t_3, \quad (3.13)$$

где l – дальность возки воды, км;

v_d – средняя скорость движения при доставке воды, км/ч;

t_3 – время, затрачиваемое на заполнение цистерны водой из водоема насосом, ч;

$$t_p = \frac{Q}{v_p \cdot g \cdot B}, \text{ ч}, \quad (3.14)$$

где v_p – средняя скорость движения при разливе воды, м/ч;

g – удельный расход воды, л/м²;

B – ширина рабочей зоны, м.

В результате расчетов была сгенерирована сетевая модель задач. Задачи представлены в виде диаграммы Ганта.

На основании сгенерированной сетевой модели задач определены ведомости потребностей в трудовых и материальных ресурсах.

3.5. Выводы

В связи с адаптацией ведущих зарубежных практик BIM-технологий и создания на их основе новых отечественных нормативных документов использование технологии информационного моделирования, реализованной в программных продуктах компании «ИндорСофт» для автомобильных дорог, позволяет на стадиях планирования, проектирования, строительства и

эксплуатации применять сквозную информационную модель автомобильной дороги.

В системе IndorCAD 10 может быть выполнено сопровождение основных этапов жизненного цикла автомобильной дороги: эскизное проектирование, построение качественной ЦММ, инженерное проектирование, поддержка строительства, контроль строительства объекта и передача данных в ГИС для последующего управления построенным объектом.

В ГИС IndorRoad 10 хранятся и аккумулируются все данные, используемые на этапе эксплуатации автомобильной дороги. Для автоматизации и успешного решения задач всего жизненного цикла необходимо взаимодействие двух классов программных продуктов (ГИС и САПР).

Разработан технологический регламент устройства слоя основания из горелой отвальной породы с использованием BIM-технологий. На основании сгенерированной сетевой модели задач определены ведомости потребностей в трудовых и материальных ресурсах.

4. ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГАБАРИТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

4.1. Общие положения

Оптимальное проектирование автодорожных мостов с рациональными конструктивными схемам и использованием типовых конструкций элементов решается проектировщиком на основании нормативных документов и зависит от его опыта и уровня квалификации.

Типовое проектирование – это система разработки строительных проектов, основанная на типизации конструкций или их фрагментов в целях многократного повторения в строительстве. Как показал анализ состояния типового проектирования [57, 58], оно пользуется значительной популярностью. Поэтому при определении рациональных схем габаритов мостов целесообразно использовать типовые пролетные строения. Следует отметить, что при решении этой задачи, возникает вопрос о возможности использования типовых проектов прошлых лет, в которых конструктивные элементы мостов были рассчитаны на старые проектные нормативные нагрузки Н-30 и НК-80. Поэтому представляет интерес определить возможность применения этих типовых проектов под современные нормативные нагрузки.

На основании анализа методик оптимального проектирования установлено, что для статически определенных систем предназначено проектирование по методике повторных анализов, которая базируется на теории упругости. Все другие методики предназначены для расчета статически неопределенных систем, к тому же они требуют достаточно сложных расчетов с необходимым использованием компьютерных технологий и специализированного программного обеспечения.

С позиции математического аппарата решение задач нелинейного программирования на практике является очень сложной задачей. Иногда возможно упростить нелинейную задачу, сделав ряд приближенных предположений, так, чтобы она формулировалась в линейной постановке. Однако эти предположения неприемлемы для реальных задач и чаще всего не отражают ее важных особенностей.

Для оптимизации количества разрезных типовых элементов и определения расстояния между ними для различных габаритов мостов

представляется целесообразным использовать линейный математический метод оптимизации – ортогональное планирование эксперимента.

Ортогональное планирование эксперимента позволяет установить степень влияния каждого из аргументов на параметр оптимизации.

Имея априорную информацию о ходе процесса, можно описать явление моделью первого порядка

$$\hat{Y} = B_0x_0 + B_1x_1 + \dots + B_mx_m = \sum_{i=1}^n B_ix_i, \quad (4.1)$$

где \hat{Y} – функция отклика;

B_0, B_1, \dots, B_m – коэффициенты регрессии;

x_0, x_1, \dots, x_m – уровни факторов;

m – количество факторов;

n – количество испытаний.

В случаях:

а) определения влияния геометрических и прочностных характеристик на несущую способность пролетных строений функцией отклика считать предельный изгибающий момент, факторами оптимизации – расчетное сопротивление бетона и расстояние между балками;

б) определения влияния количества элементов на поперечное распределение нагрузки функцией отклика считать коэффициент поперечной установки, факторами оптимизации – количество элементов и расстояние между ними.

Для определения усилий, возникающих в пролетном строении вследствие долговременных процессов в бетоне, необходимо выбрать такой пространственный метод, который бы соответствовал следующим условиям:

- был простым, но имел бы достаточную точность;
- позволял бы использовать существующие методы расчета железобетонных конструкций с учетом жесткости балок на кручение.

Другими словами, нужен такой метод расчета, который позволил бы оценить влияние прочности и геометрических характеристик на несущую способность пролетных строений автодорожного моста.

В настоящее время существует большое разнообразие методов расчета пролетных строений, которые в той или иной степени учитывают работу всех

элементов пролетного строения.

В целом все методы можно разделить на две условные группы:

1) методы, в которых пролетное строение рассматривается как пластина или как система перекрестных балок (метод М. Е. Гибшмана, метод Н. П. Лукина и др.);

2) методы, в основу которых положена более строгая расчетная схема (метод Б. Е. Улицкого, метод конечных элементов).

Как определял М. Е. Гибшман: «... применение того или иного метода расчета пролетных строений определяется не только типом самой конструкции, но и наличием тех или иных программ для ЭВМ и даже привычкой проектировщиков к какому-либо из методов. Одну и ту же конструкцию можно всегда рассчитать с достаточной точностью несколькими различными способами» [59].

В связи с тем, что методы второй группы очень трудоемкие и требуют большого объема оперативной памяти вычислительной техники, а также специальных теоретических и профессиональных знаний у лиц, пользующихся этими методами, целесообразно использовать методы первой группы, в частности метод упругих опор и метод М. Е. Гибшмана.

Для решения задачи оценки влияния количества элементов и расстояния между ними на поперечное распределение нагрузки целесообразно использовать более простые методы, которые позволяют с достаточной точностью определить коэффициент поперечной установки. В данной работе для этого использовался метод М. Е. Гибшмана, учитывающий количество элементов в поперечном сечении, расстояние между ними, а также геометрические и прочностные характеристики.

Ординаты линии влияния давления под центрами тяжести крайних балок (η) по методу М. Е. Гибшмана для разрезной системы определяются по формуле [59]

$$\eta = \frac{1}{n} \pm \frac{a_1^2}{2\sum a_i^2 + \frac{nl^2}{3} \cdot \frac{G_b I_k}{E_b I_b}}. \quad (4.2)$$

С учетом, что $G_b = 0,42 \cdot E_b$, формула приводится к виду

$$\eta = \frac{1}{n} \pm \frac{a_1^2}{2\sum a_i^2 + 0,14 \cdot n \cdot l^2 \cdot \frac{I_K}{I_b}}, \quad (4.3)$$

где n – количество балок в поперечном сечении;

a_1 – расстояние между центрами тяжести крайних балок;

a_i – расстояние между центрами тяжести симметричных относительно оси моста балок;

l – длина пролета;

I_K – момент инерции на кручение;

I_b – момент инерции сечения относительно оси, перпендикулярной площади изгиба.

Коэффициенты поперечной установки определяются по обобщенному методу внецентрового сжатия М. Е. Гибшмана. По этому методу максимальным всегда будет значение коэффициента поперечной установки для крайней балки. Коэффициент поперечной установки ($KПУ$) определяется по формуле

$$KПУ = \frac{1}{2} \sum y_i, \quad (4.4)$$

где y_i – ординаты линии влияния под колесами нагрузочной полосы.

Авторами разработана программа определения коэффициента поперечной установки и несущей способности сечения. Программирование выполнено с помощью языка Delphi.

Для определения оптимального количества балок для заданного габарита и расстояния между ними был выполнен вычислительный эксперимент.

Объектом исследования являются типовые балочные пролетные строения с предварительно напряженной арматурой, соответствующие типовому проекту «Союздорпроект» серии 3.503-12 [60]:

- длиной 12 м, 15 м, 18 м, 21 м, 24 м, 33 м, 42 м;
- габаритами Г-8; Г-9; Г-10; Г-10,5; Г-11,5.

Характеристики пролетных строений приведены в приложении Г, на рисунке Г.1 и таблице Г.1.

4.2. Определение оптимального количества балок для заданного габарита и оптимального расстояния между ними

Исследовано влияние количества балок и расстояния между ними на коэффициент поперечной установки и несущую способность балок пролетного строения для разных габаритов мостов в соответствии с нормативными требованиями [61–65].

Рассматривались варианты:

- для Г-8 принималось число балок 4 или 5;
- для Г-9 – число балок 4, 5 или 6;
- для Г-10 – число балок 5, 6 или 7;
- для Г-10,5 – число балок 5, 6 или 7;
- для Г-11,5 – число балок 5, 6, 7 или 8.

Значения коэффициентов поперечной установки, внутренних усилий, несущей способности балок, а также графики зависимости КПУ от количества балок в поперечном сечении и расстояния между ними для каждого из вариантов приведены в приложениях Д (таблица Д.1), Е (рисунки Е.1–Е.4), Ж (таблица Ж.1), И (рисунки И.1–И.6).

Для габаритов Г-10,5 + 2×1,5 и Г-11,5 + 2×1,5 результаты исследований приведены в таблице 4.1 и на рисунках 4.1–4.4.

Таблица 4.1 – Значения КПУ и несущей способности

Габарит моста	Количество балок	Ширина полки балки	Длина балки	КПУ _А	КПУ _{Ат}	КПУ _Т	КПУ _{НК}	Момент от временных нагрузок, кНм	Несущая способность, кНм	Запас прочности, %
Г-10,5 + 2×1,5	5	2,5	18	0,616	0,717	0,644	0,447	3839	4098	6,3
	6	2,1	18	0,512	0,597	0,535	0,371	3316	3600	7,8
	6	2,2	18	0,503	0,587	0,522	0,364	3289	3607	9,6
	6	2,3	18	0,495	0,578	0,509	0,357	3264	3614	9,7
	6	2,4	18	0,487	0,569	0,497	0,350	3241	3619	10,4
	7	2,0	18	0,419	0,490	0,428	0,301	2884	3592	19,7
Г-11,5 + 2×1,5	6	2,4	18	0,562	0,656	0,551	0,276	3752	4093	8,4
	6	2,5	18	0,553	0,646	0,537	0,272	3719	4098	9,1
	7	2,1	18	0,478	0,558	0,466	0,235	3292	3600	8,6
	7	2,2	18	0,47	0,549	0,554	0,232	3262	3607	9,6
	7	2,3	18	0,462	0,541	0,442	0,228	3233	3614	10,4
	8	2,0	18	0,405	0,474	0,474	0,200	2910	3592	19

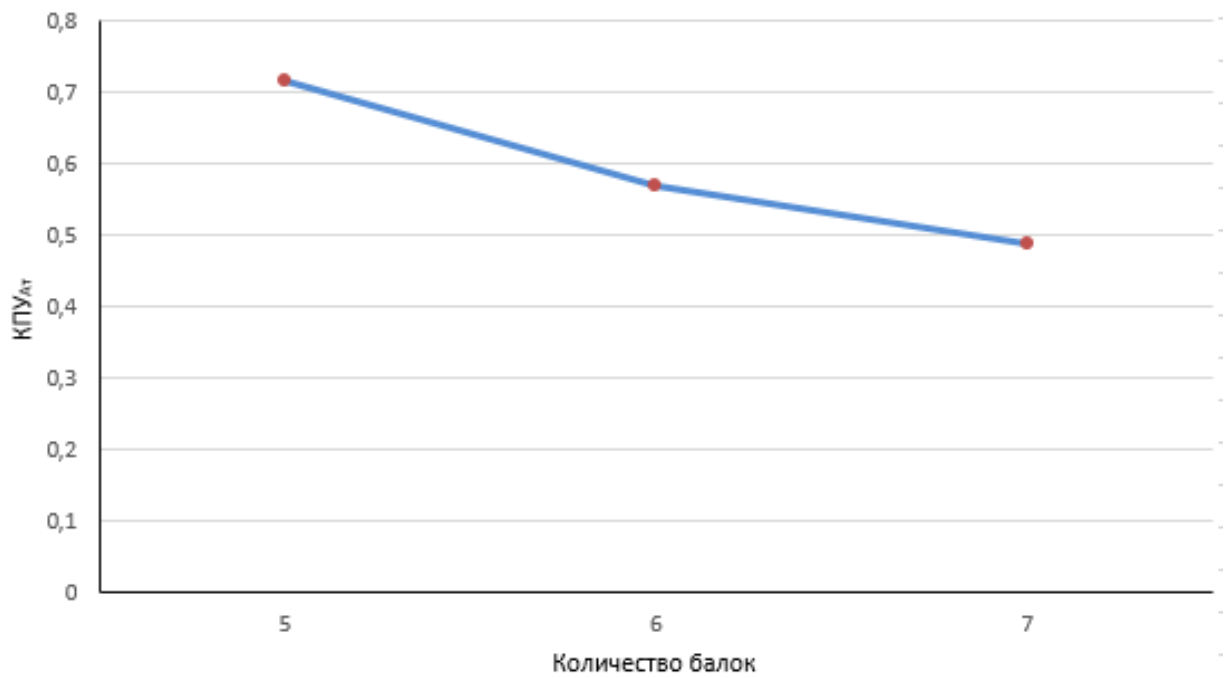


Рисунок 4.1 – График зависимости КПУ от количества балок для Г-10,5 + 2×1,5

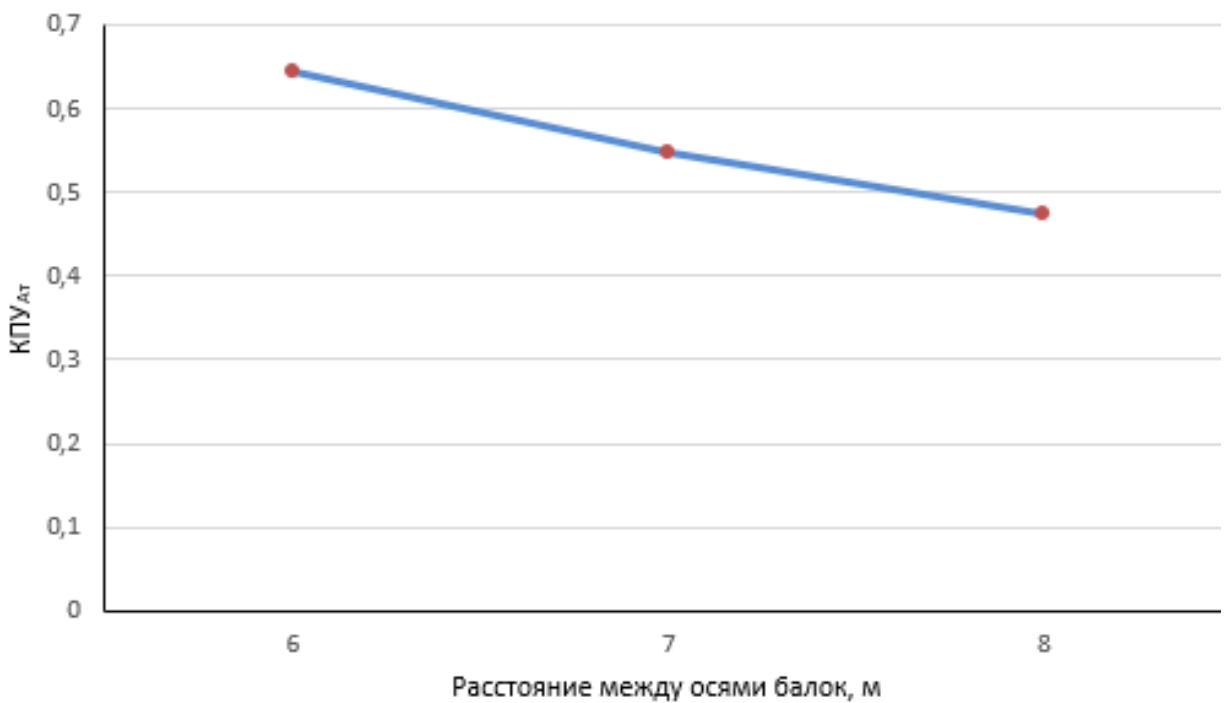


Рисунок 4.2 – График зависимости КПУ от количества балок для Г-11,5 + 2×1,5

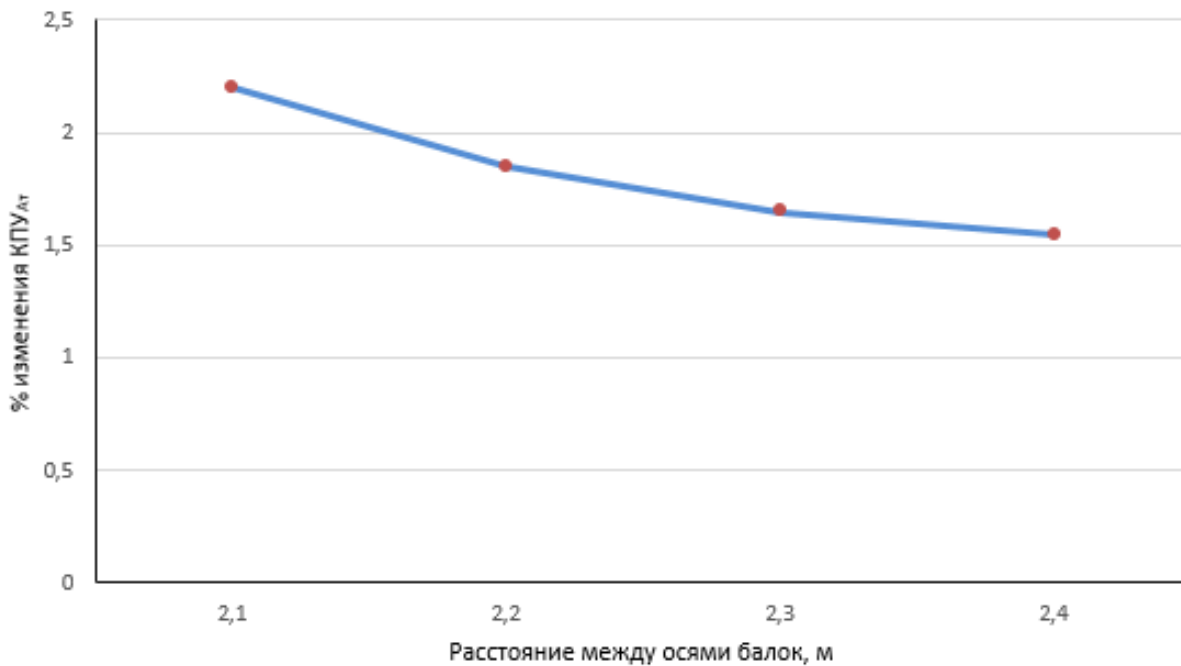


Рисунок 4.3 – График зависимости КПУ от расстояния между балками для Г-10,5 + 2×1,5 (6 балок)

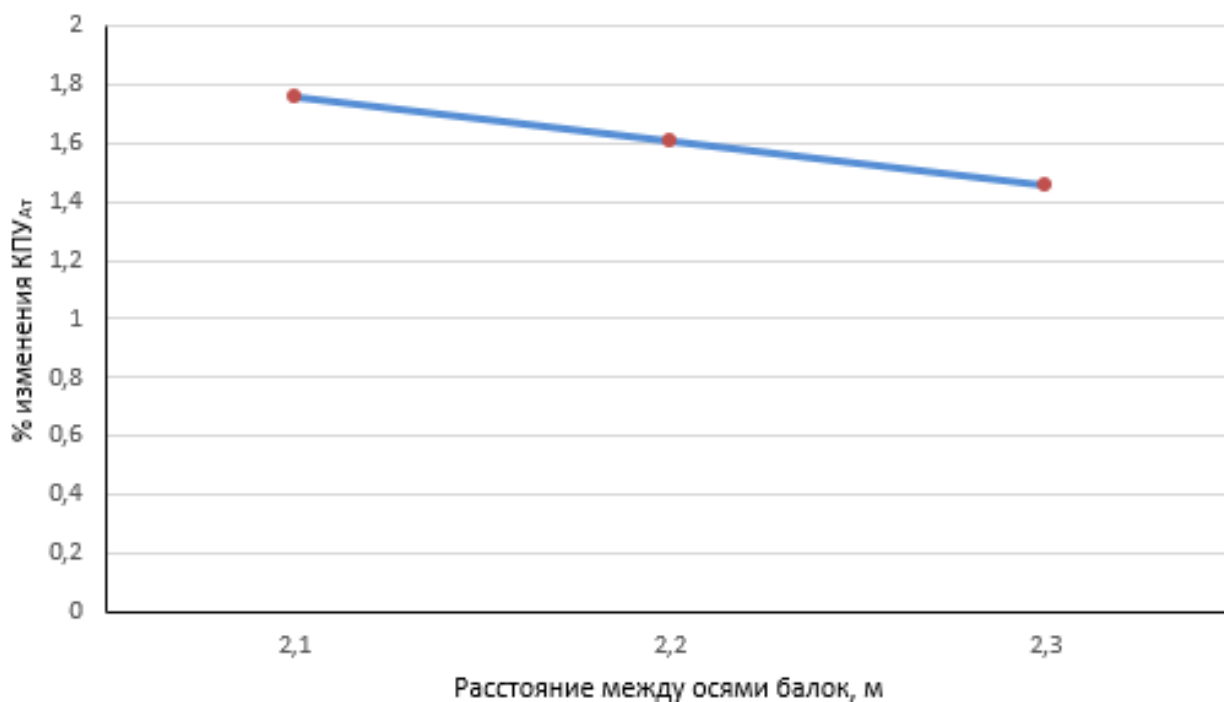


Рисунок 4.4 – График зависимости КПУ и расстояния между балками для Г-11,5 + 2×1,5 (6 балок)

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

– при увеличении количества балок в поперечном сечении коэффициент поперечной установки уменьшается, запас прочности увеличивается: при увеличении количества балок вдвое запас прочности возрастает до 20 %;

– при одинаковом количестве балок с увеличением расстояния между ними коэффициент поперечной установки уменьшается. При изменении значения расстояния между балками на 10 % коэффициент поперечной установки уменьшается на 0,7 %, запас прочности балок пролетного строения возрастает на 3–4 %. Оценка влияния каждого из параметров выполнена ортогональным планированием эксперимента.

Получены функции отклика:

– для значений, полученных по нормативам Российской Федерации

$$\hat{Y} = 6567,2 - 461,26 \cdot X_1 - 41,53 \cdot X_2, \quad (4.5)$$

где X_1 – уровень факторов, количество балок;

X_2 – уровень факторов, расстояние между балками;

– для значений, по нормативам Украины

$$\hat{Y} = 6306,53 - 492,01 \cdot X_1 - 31,88 \cdot X_2, \quad (4.6)$$

где X_1 – уровень факторов, количество балок;

X_2 – уровень факторов, расстояние между балками.

Согласно приведенным уравнениям, весомое влияние на изменение поперечного распределения нагрузки имеет изменение количества балок. Оптимальное количество элементов и расстояния между ними приведены в таблицах 4.3 и 4.4.

Таблица 4.3 – Оптимальное количество элементов и расстояния между ними для габарита мостов по нормативам РФ

Габарит моста	Количество элементов	Расстояние между элементами, м	Значение КПУ
Г-8 + 2×0,75	4	2,3	0,699
Г-8 + 2×1,0	4	2,4	0,692
Г-10 + 2×0,75	5	2,2	0,719
Г-10 + 2×1,5	5	2,5	0,693
Г-11,5 + 2×0,75	5	2,5	0,825
Г-11,5 + 2×1,0	6	2,2	0,678
Г-11,5 + 2×1,5	6	2,4	0,656

Таблица 4.4 – Оптимальное количество элементов и расстояния между ними для габарита мостов по нормативам Украины

Габарит моста	Количество элементов	Расстояние между элементами, м	Значение КПУ
Г-9 + 2×0,75	4	2,5	0,832
Г-9 + 2×1,0	5	2,1	0,669
Г-10,5 + 2×0,75	5	2,2	0,752
Г-10,5 + 2×1,0	5	2,3	0,656
Г-10,5 + 2×1,5	5	2,5	0,717

4.3. Исследование влияния геометрических характеристик на несущую способность пролетного строения

Выполнена оценка влияния прочностных характеристик бетона на несущую способность балки пролетного строения. Результаты расчета приведены на рисунке 4.5.

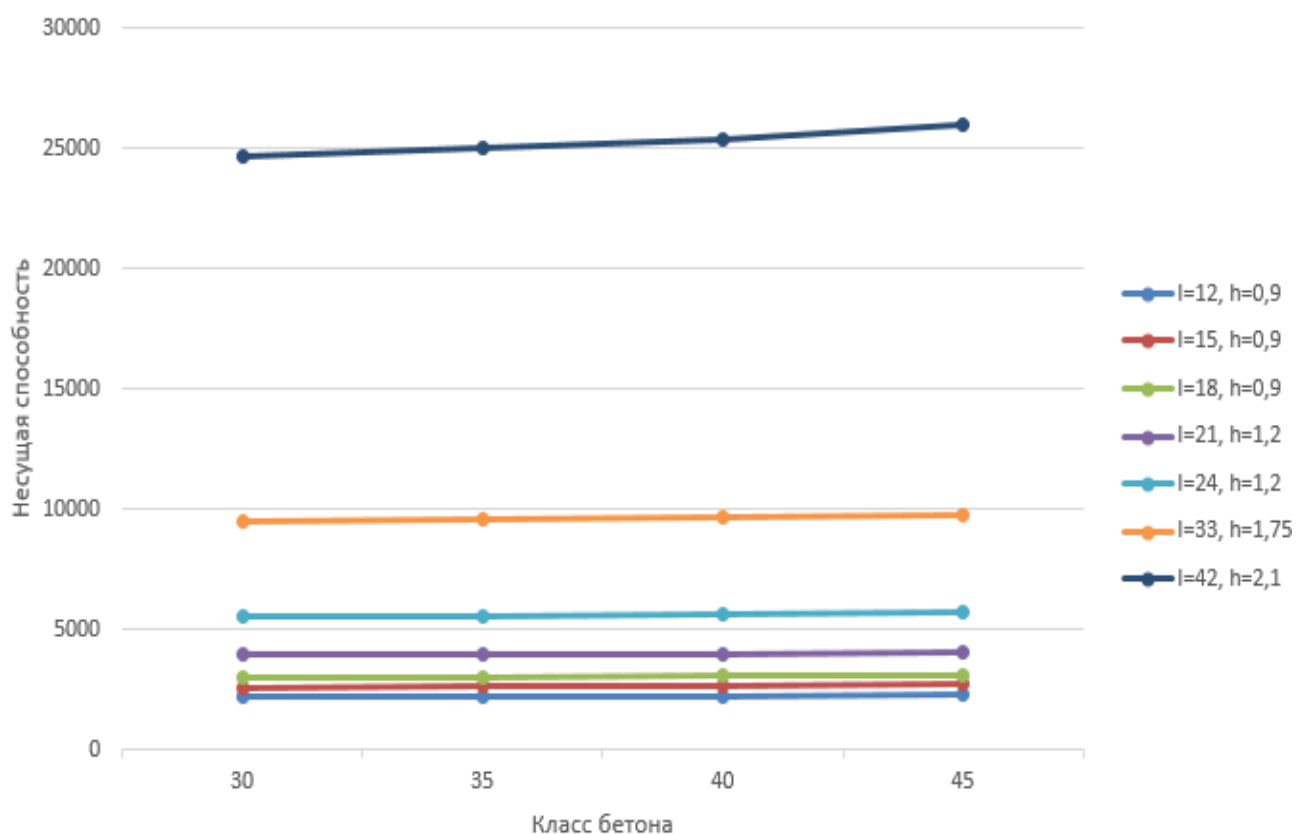


Рисунок 4.5 – График зависимости между расчетным сопротивлением бетона и несущей способностью пролетного строения

Оценена несущая способность балок типового проекта с предварительно напряженной арматурой [60] длиной 12, 15, 18, 21, 24, 33 и 42 м с включением в работу накладной плиты и без нее (рисунок 4.6).

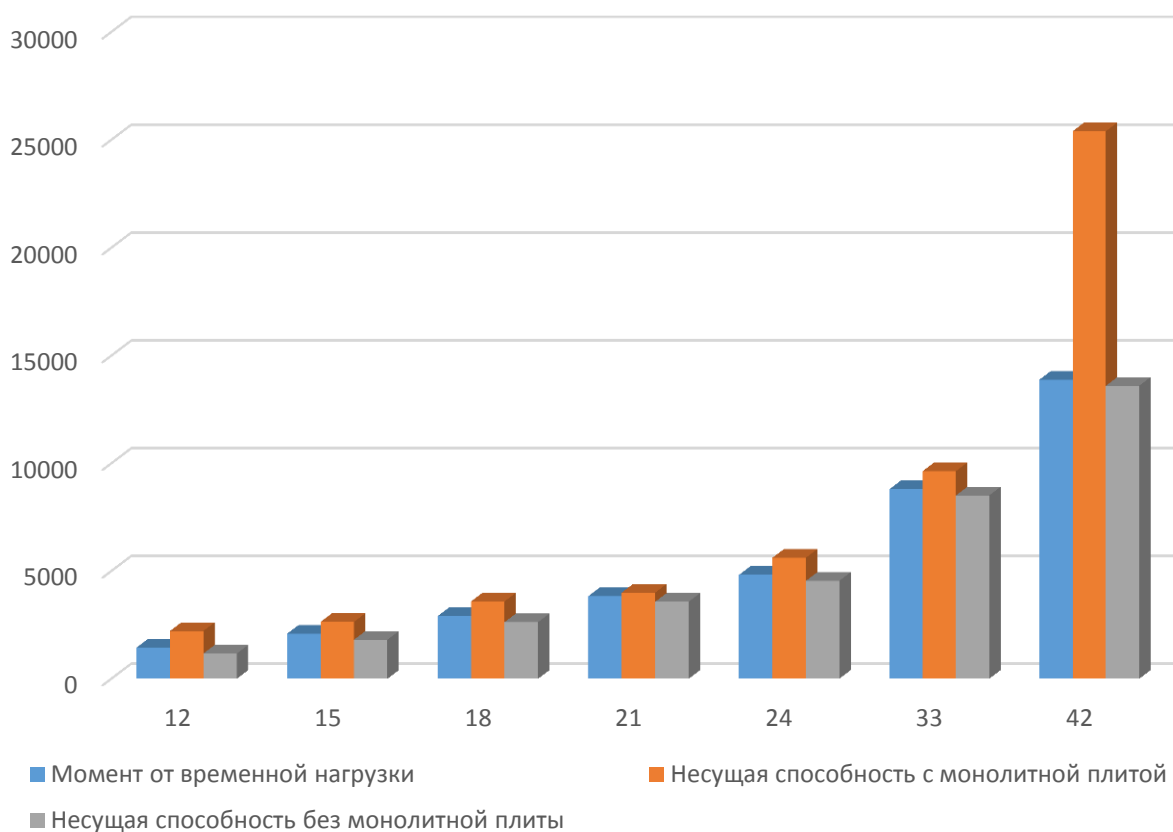


Рисунок 4.6 – Несущая способность балок пролетного строения с учетом монолитной плиты и без нее

Исследование показало:

- влияние на несущую способность балок пролетного строения прочностных характеристик бетона незначительно;
- несущая способность балок типового проекта [60] на восприятие современных нагрузок обеспечивается только при совместной работе балок и накладной плиты.

Получена функция отклика

$$\hat{Y} = 1977,94 + 52,42 \cdot X_1 + 3,38 \cdot X_2, \quad (4.7)$$

где X_1 – уровень факторов, ширина полки балки (расстояние между элементами);

X_2 – уровень факторов, расчетное сопротивление бетона.

Согласно уравнению ширина полки балки и расчетное сопротивление бетона на несущую способность влияют незначительно.

4.4. Оценка точности результатов расчета определения коэффициента поперечной установки и несущей способности

Для определения точности результатов расчета по программе построены линии влияния к определению КПУ для балок по результатам данных, полученных программой и приведенных в «Примеры расчета железобетонных мостов» [66]. Расчет произведен для бездиафрагменного пролетного строения, которое состоит из шести балок.

В качестве критерия оценки точности результатов выбран линейный коэффициент корреляции Пирсона, который рассчитан при помощи стандартных функций MS Excel. Полученные коэффициенты проверены на значимость по критерию Стьюдента, который предусматривает выполнение условия

$$|t_p| \geq t_{kp}, \quad (4.8)$$

где t_p – расчетное значение критерия Стьюдента;

t_{kp} – критическое значение критерия Стьюдента для уровня значимости α и числа степеней свободы k ;

$$t_p = r_{xy} \sqrt{\frac{n-2}{1-r_{xy}^2}}, \quad (4.9)$$

где r_{xy} – линейный коэффициент корреляции Пирсона;

n – количество точек, для которых определены ординаты линии влияния.

График для определения коэффициента Пирсона приведен на рисунке 4.7. Расчет коэффициента корреляции на значимость приведен в таблице 4.5.

Результаты расчета показали хорошую сходимость линий влияния от внешних нагрузок на пролетное строение с эталонными значениями [66], о чем свидетельствуют полученные коэффициенты корреляции и их проверка на значимость по критерию Стьюдента.

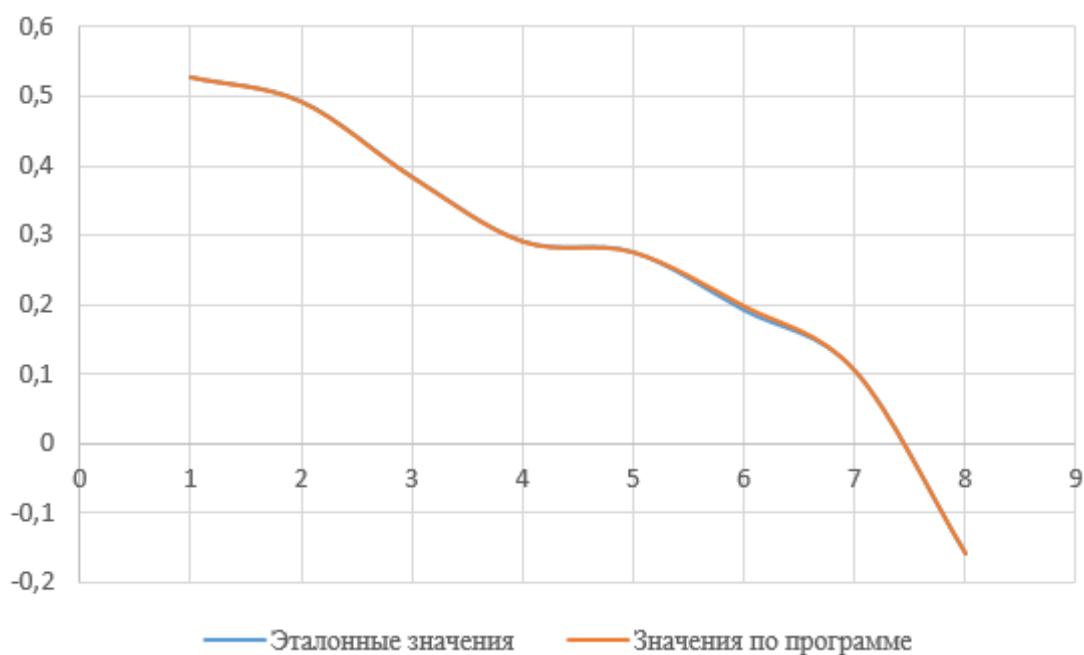


Рисунок 4.7 – Расчет коэффициента Пирсона

Таблица 4.5 – Расчет коэффициента корреляции на значимость

Ордината линии влияния	Коэффициент корреляции, r_{xy}	Расчетное значение критерия Стьюдента, t_p	Уровень значимости, α	Критическое значение критерия Стьюдента	Вывод о значимости, $t_{кр}$
1	0,99996	$0,99996 \sqrt{\frac{8-2}{1-0,99996^2}} = 30618,01$	0,001	5,959	значимый
2	0,99996				значимый
3	0,99996				значимый
4	0,99996				значимый
5	0,99996				значимый
6	0,99996				значимый
7	0,99996				значимый
8	0,99996				значимый

4.5. Результаты исследований

На основании экспериментальных исследований установлено:

1. При увеличении количества балок в поперечном сечении коэффициент поперечной установки уменьшается, запас прочности увеличивается. При увеличении количества балок вдвое запас прочности возрастает до 20 %.

2. При одинаковом количестве балок в поперечном сечении с увеличением расстояния между ними коэффициент поперечной установки уменьшается незначительно. При увеличении расстояния между балками на 10 % коэффициент поперечной установки уменьшается на 0,7 %, запас

прочности балок пролетного строения возрастает на 3–4 %.

3. Влияние расчетного сопротивления бетона и ширины полки балки на несущую способность пролетного строения незначительно.

4. Несущая способность балок типового проекта 3.503.12 [60] на восприятие современных нагрузок обеспечивается только при совместной работе балок и накладной плиты.

5. Определено оптимальное количество балок в поперечном сечении и расстояние между ними для разных габаритов мостов.

Предлагается:

- при проектировании балок пролетного строения использовать класс бетона, указанный в типовом проекте;
- для обеспечения несущей способности балок пролетного строения при проектировании необходимо учитывать требования нормативных документов и использовать монолитную накладную плиту высотой 12 см для России и 14 см для Украины.

4.6. Выводы

1. Для определения оптимального количества типовых балок в поперечном сечении и расстояния между ними разработана программа расчета, в основе которой лежит метод Гибшмана, учитывающий количество элементов и их геометрические и прочностные характеристики.

2. На основании экспериментальных исследований получены:

- оценка влияния количества балок в поперечном сечении и расстояния между ними на коэффициент поперечной установки;
- оценка влияния геометрических и прочностных характеристик бетона на несущую способность пролетных строений мостов.

3. Предложены рациональные схемы габаритов автодорожных мостов России и Украины с оптимальным количеством элементов.

4. Несущая способность типовых балок обеспечивается только при включении в работу накладной плиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышесказанного и проанализированного, необходимо отметить, что вопросы затронутые в монографии являются актуальными и помогут в процессе восстановления транспортной инфраструктуры Донбасса. Особое внимание уделяется проблеме стабилизации грунта, находящегося в земляном полотне под дорожной одеждой; возможности использования асфальтогранулята в составе асфальтобетонной смеси для ремонта дорожного покрытия автомобильной дороги; использованию ВІМ-технологий при организации строительства слоя дорожного покрытия; влиянию геометрических характеристик на несущую способность пролетного строения железобетонных автодорожных мостов Донбасса.

Основными результатами монографии являются следующие выводы:

1. Применение стабилизирующих и пластифицирующих добавок (в частности концентрата Perma-Zyme) при возведении грунтовых конструкций дает следующие преимущества:

- снижение сроков строительства;
- экономию высококачественных минеральных дорожно-строительных материалов;
- минимальное использование машин и рабочей силы;
- повышение физико-механических свойств грунтовых покрытий;
- увеличение срока службы грунтового (нижнего) покрытия;
- экономию средств на содержание и ремонт;
- достижение значительного экономического эффекта благодаря замене высококачественных дорожно-строительных материалов на обработанные стабилизирующими и пластифицирующими добавками местные грунты.

2. Анализ научной литературы и нормативных источников показал, что асфальтный гранулят является материалом, который можно использовать при приготовлении асфальтобетонной смеси. Применение асфальтогранулята позволяет сократить расход основных компонентов смеси, поскольку в его составе присутствуют щебень, песок, минеральный порошок и битум.

3. Лабораторными исследованиями подтверждено качество исходных материалов, на основе которых выполнен подбор состава асфальтобетонной смеси с добавлением асфальтного гранулята.

4. Предложен технологический процесс производства предлагаемой

смеси с мероприятиями по технике безопасности при ее приготовлении.

5. Использование технологии информационного моделирования, реализованной в программных продуктах компании «ИндорСофт» для автомобильных дорог, позволяет на стадиях их планирования, проектирования, строительства и эксплуатации применять сквозную информационную модель.

6. В системе IndorCAD 10 может быть выполнено сопровождение основных этапов жизненного цикла автомобильной дороги: эскизное проектирование, построение качественной ЦММ, инженерное проектирование, поддержка строительства, контроль строительства объекта и передача данных в ГИС для последующего управления построенным объектом.

7. Разработан технологический регламент устройства слоя основания из горелой отвалной породы с использованием BIM-технологий. На основании сгенерированной сетевой модели задач определены ведомости потребностей в трудовых и материальных ресурсах.

8. На основании экспериментальных исследований получены:

- оценка влияния количества балок в поперечном сечении и расстояния между ними на коэффициент поперечной установки;
- оценка влияния геометрических и прочностных характеристик бетона на несущую способность пролетных строений мостов.

9. Несущая способность типовых балок обеспечивается только при включении в работу накладной плиты.

10. Предложены рациональные схемы габаритов автодорожных мостов России и Украины с оптимальным количеством элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ОДМ 218.3.076-2016. Методические рекомендации по подбору стабилизаторов грунтов и грунтовых смесей для дорожного строительства : федеральное дорожное агентство «Росавтодор» : издание официальное : дата введения 2017-04-04. – Москва : Росавтодор, 2017. – 37 с.

2. ГОСТ 28622-2012. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 2016-ст : взамен ГОСТ 28622-90 : дата введения 2013-11-01 / разработан АО «НИЦ «Строительство». – Москва : Стандартиформ, 2012. – 11 с.

3. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июля 2020 г. № 384-ст : взамен ГОСТ 25100-2011 : дата введения 2021-01-01 / разработан АО «НИЦ «Строительство». – Москва : Стандартиформ, 2020. – 41 с.

4. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд : ФГУП «Союздорнии» : издание официальное : утверждены и введены в действие Распоряжением государственной службы дорожного хозяйства (Росавтодора) Министерства транспорта от 20 декабря 2000 г. № ОС-35-Р : взамен ВСН 46-83 : дата введения 2001-01-01. – Москва : Информавтодор, 2001. – 148 с.

5. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят МНТКС 10 ноября 1993 г. : изменение № 1 принято 10 декабря 1997 г. : изменение № 2 принято 17 мая 2000 г. : введен в действие Постановлением Госстроя России от 21 июля 1994 г. № 18-1 : взамен ГОСТ 23558-79 : дата введения 1995-01-01 / разработан институтом Союздорнии. – Москва : Стандартиформ, 2005. – 12 с.

6. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 ноября 2015 г. № 1694-ст :

взамен ГОСТ 5180-84 : дата введения 2016-04-01 / разработан ОАО «ПНИИКС». – Москва : Стандартинформ, 2016. – 20 с.

7. ОДМ 218.1.004-2011. Классификация стабилизаторов грунтов в дорожном строительстве : Федеральное дорожное агентство «Росавтодор» : издание официальное : дата введения 2011-12-27. – Москва : Информавтодор, 2011. – 15 с.

8. Абрамова, Т. Т. Стабилизаторы грунтов в отечественном дорожном и аэродромном строительстве / Т. Т. Абрамова, А. И. Босов, К. Э. Валиева // Дороги и мосты. – 2013. – № 2(30). – С. 060–085 с.

9. Rose, W. Soil Stabilization for Road Construction and Natural Liners / W. Rose, G. James. – Anaheim : FNRA, 2002. – 37 p.

10. СП 78.13330.2021. Автомобильные дороги. Свод правил : актуализированная редакция СНиП 2-05-02-85 : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 9 февраля 2021 г. № 53-пр : дата введения 2021-08-10 / разработан ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ», ФГБОУ «МАДИ» – Москва : Стандартинформ, 2021. – 86 с.

11. СП 49.13330.2010. Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие-требования. Свод правил : взамен СНиП 12-03-99 : приняты и введены в действие постановлением Госстроя РФ от 23 июля 2001 г. № 80 : дата введения 2001-09-01, 2010-12-24 / разработаны Федеральным государственным учреждением «Центр охраны труда в строительстве» Госстроя России (ФГУ ЦОТС), Аналитическим информационным центром «Строитрудобезопасность» (АИЦ «СТБ»). – Москва : Госстрой России, 2001 (2010). – 57 с.

12. СП 12.136.2002. Решения по охране труда и промышленной безопасности в проектах организации строительства и проектах производства работ. Свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Госстроя России от 17 сентября 2002 г. № 122 : введен впервые : дата введения 2003-01-01 / разработан Федеральным государственным учреждением «Центр охраны труда в строительстве» Госстроя России (ФГУ ЦОТС) и Аналитическим информационным центром «Строитрудобезопасность» (АИЦ «СТБ»). – Москва : ФГУП ЦПП, 2002. – 12 с.

13. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят МНТКС 14

марта 1994 г. : изменение № 1 принято МНТКС 10 декабря 1997 г. : изменение № 2 принято МНТКС 17 мая 2000 г. : введен впервые : введен в действие Постановлением Госстроя России от 30 июня 1994 г. № 18-48 : дата введения 1995-01-01 / разработан институтом НИИСФ с участием ВНИПИИстройсырье Российской Федерации. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 8 с.

14. ГОСТ 14192-96. Маркировка грузов : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 4 октября 1996 г. протокол № 10 : изменение № 1 принято Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 22 июня 2000 г. протокол № 17 : введен в действие постановлением Государственного комитета Российской Федерации от 18 июня 1997 г. № 219 : взамен ГОСТ 14192-77 : дата введения 1998-01-01 / разработан НИЭКИТУ. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 37 с.

15. Ремонт и содержание автомобильных дорог : справочник инженера-дорожника / А. П. Васильев, В. И. Баловнев, М. Б. Корсунский [и др.]. – Москва : Транспорт, 1989. – 287 с.

16. Тимофеев, А. А. Использование и переработка старого асфальтобетона / А. А. Тимофеев. – Москва : Стройиздат, 1976. – 80 с.

17. ТР 197-08. Технические рекомендации по применению асфальтобетонных смесей, модифицированных добавками старого асфальтобетона : утверждены Управлением научно-технической политики в строительной отрасли 30 декабря 2008 г. : вводятся впервые : дата введения 2008-06-01 / разработаны лабораторией дорожного строительства ГУП «НИИМосстрой». – Москва : ГУП «НИИМосстрой», 2008. – 25 с.

18. Все об асфальтовой крошке. – Текст : электронный // Капиталь-1 : архитектурно-проектная группа : [сайт]. – URL: <https://kapitel-1.ru/materialy/blagoustrojstvo/vsjo-ob-asfaltovoj-kroshke-prostymi-slovami> (дата обращения: 07.02.2020).

19. ГОСТ Р 55052-2012. Гранулят старого асфальтобетона. Технические условия : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 ноября 2012 г. № 705-ст : введен впервые : дата введения 2013-07-01 / разработан ФАУ «ФЦС». – Москва : Стандартинформ, 2013. – 7 с.

20. Губа, В. В. Перспектива использования асфальтного гранулята в

дорожном строительстве / В. В. Губа, Е. И. Горин // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2020 : материалы VI Международной научно-практической конференции в рамках 6-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие», Горловка, 27 мая 2020. – Горловка : АДИ ГОУВПО «ДОННТУ», 2020. – С. 80–83.

21. Силкин, В. В. Асфальтобетонные заводы : учебное пособие / В. В. Силкин, А. П. Лупанов. – Москва : Экон-Информ, 2008. – 266 с.

22. Никишин, В. Е. Технология регенерированного асфальта с дисперсным битумом : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Никишин Вадим Евгеньевич ; Саратовский государственный технический университет. – Саратов, 2000. – 182 с.

23. СТП 5718-001-04000633-2006. Смеси асфальтобетонные дорожные аэродромные, приготовленные с добавкой гранулята старого асфальтобетона. Технические условия : стандарт предприятия : дата введения 2007-01-01 / разработаны ОАО АБЗ № 4 «Капотня», ООО «Дорэксперт», ГУП «НИИМосстрой», «Союздорнии». – Москва : ГУП «НИИМосстрой», 2007. – 18 с.

24. Автомобильные дороги: безопасность, экологические проблемы, экономика (российско-германский опыт) // под ред. В. Н. Луканина, К. Х. Ленца. – Москва : Логос, 2002. – 624 с.

25. ОДМ 218.2.034-2013. Методические рекомендации по приготовлению и применению асфальтобетонной смеси с использованием переработанного асфальтобетона : федеральное дорожное агенство «Росавтодор» : издание официальное : дата введения 2013-04-10. – Москва : Росавтодор, 2013. – 33 с.

26. Лупанов, А. П. Совершенствование, научное обоснование и промышленное освоение технологического процесса производства асфальтобетонных смесей с использованием старого асфальтобетона: специальность 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : / Лупанов Андрей Павлович ; Ярославский государственный технический университет. – Ярославль, 2010. – 36 с.

27. ГОСТ Р 58401.15-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Определение содержания

битумного вяжущего методом выжигания : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 мая 2019 г. № 272-ст : введен впервые : действует взамен ПНСТ 93-2016 : дата введения 2019-06-01 / разработан обществом с ограниченной ответственностью «Центр метрологии, испытаний и стандартизации» (ООО «ЦМИиС») совместно с Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса» (АНО «НИИ ТСК»). – Москва : Стандартиформ, 2019. – 5 с.

28. Губа, В. В. Физико-механические свойства фрезерованного асфальтового гранулята / В. В. Губа, К. Р. Губа. // Межвузовский сборник научных статей «Актуальные проблемы автотранспортного комплекса» / Отв. ред. О. М. Батищева. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2019. – С. 45–51.

29. ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 апреля 2010 г. № 62-ст : взамен ГОСТ 9128-97 : дата введения 2011-01-01 / разработан открытым акционерным обществом «Дорожный научно-исследовательский институт» (ОАО «СоюздорНИИ»). – Москва : Стандартиформ, 2010. – 17 с.

30. Губа, В. В. Асфальтный гранулят в дорожном строительстве / В. В. Губа, Е. И. Горин // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2020. – 3(34). – С. 44–50.

31. Руденская И. М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И. М. Руденская, А. В. Руденский. – Москва : Инфра-М, 2010. – 256 с.

32. ТР 103-07. Технические рекомендации по устройству дорожных конструкций с применением асфальтобетона : взамен ТР 103-00 : дата введения 2007-06-01 / разработаны ГУП НИИМосстрой. – Москва : ГУП «НИИМосстрой», 2007. – 107 с.

33. Комплексно-модифицированная асфальтобетонная смесь для дорожных покрытий с пониженными температурами приготовления, укладки и уплотнения / С. А. Чернов, А. В. Каклюгин, М. В. Максименко, М. В. Хижняк // Мир дорог. – 2014. – № 89. – С. 47–49.

34. Скворцов, А. В. ВМ для дорожной отрасли: что-то новое или мы этим

уже занимаемся? / А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 1(2). – С. 8–11. – DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.2.

35. Король, М. Г. BIM : Информационное моделирование – цифровой век строительной отрасли / М. Г. Король // Стройметалл. – 2014. – № 39. – С. 26–30.

36. ОДМ 218.3.105-2018. Методические рекомендации по организации взаимодействия участников разработки проектной и рабочей документации на пилотных проектах строительства, капитального ремонта и реконструкции автомобильных дорог с применением BIM-технологии : федеральное дорожное агентство «Росавтодор» : издание официальное : дата введения 2018-05-06. – Москва : Росавтодор, 2018. – 86 с.

37. BS 1192:2007+A2:2016. Совместное производство архитектурной, инженерной и строительной информации – Кодекс практик (свод правил). Британский институт стандартов 2015. Опубликовано BSI Standards Limited 2015. – 41 с. ISBN 978 0 580 90816 3.

38. Скворцов, А. В. Трудности перехода от автоматизированного проектирования к информационному моделированию дорог / А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 2(5). – С. 4–12. – DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.1.

39. IndorCAD 10 как BIM-инструмент анализа проектных решений и обнаружения коллизий / В. Н. Бойков, Н. С. Мирза, Д. А. Петренко, А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 2(5). – С. 108–113. – DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.16.

40. Скворцов, А. В. Стандарты для обмена данными / А. В. Скворцов // Автомобильные дороги. – 2015. – № 2. – С. 84–89.

41. Скворцов, А. В. Модели данных BIM для инфраструктуры / А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 1(4). – С. 16–23. – DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.2.

42. Скворцов, А. В. Общая среда данных как ключевой элемент информационного моделирования автомобильных дорог / А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 2(5). – С. 37–41. – DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.6.

43. Скворцов, А. В. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования / А. В. Скворцов, Д. С. Сарычев // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 1(4). – С. 4–14. – DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.1.

44. Баранник, С. В. Применимость BIM-технологий в дорожной отрасли / С. В. Баранник // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 1(4). – С. 24–28. – DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.3.

45. Медведев, В. И. Использование интернет-карт в САПР и ГИС в качестве подложек / В. И. Медведев // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 2(5). – С. 119–125. – DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.18.

46. Рукавишникова, Е. Е. Проектирование, расчет и контроль дорожных одежд / Е. Е. Рукавишникова, К. А. Лубкина, А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2013. – № 1(1). – С. 33–35. – DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.7.

47. Гулин, В. Н. Цифровые модели для систем управления дорожно-строительными машинами / В. Н. Гулин // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 1(4). – С. 56–59. – DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.6.

48. Райкова, Л. С. Строительство автомобильных дорог на основе 3D-моделей / Л. С. Райкова, Д. А. Петренко // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2(3). – С. 81–85. – DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.13.

49. Сарычев, Д. С. Базовая модель дорожных данных в проекте ГОСТ / Д. С. Сарычев, А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2(3). – С. 98–102. – DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.16.

50. Скворцов, А. В. Адресный план автомобильной дороги / А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2013. – № 1(1). – С. 47–54. – DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.10.

51. Скачкова, А. С. Учет гарантийных обязательств на выполненные работы в ГИС IndorRoad / А. С. Скачкова, И. В. Кривых, С. А. Субботин // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2(3). – С. 115–119. – DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.19.

52. Бойков, В. Н. Анализ дорожно-транспортных происшествий с использованием ГИС IndorRoad / В. Н. Бойков, С. А. Субботин // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 1(2). – С. 74–76. – DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.16.

53. Кривопапов, А. Д. Разработка проектов организации дорожного движения: настоящее и будущее / А. Д. Кривопапов, Д. А. Петренко, А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2(3). – С. 86–92. – DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.14.

54. Скворцов, А. В. BIM автомобильных дорог: оценка зрелости

технологии / А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2(3). – С. 12–21. – DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.3.

55. Петренко, Д. А. Опыт использования технологии BIM для проектирования дорог / Д. А. Петренко, С. А. Субботин // САПР графика. – 2015. – № 3. – С. 40–43.

56. ГЭСН-2022. Государственные элементные сметные нормы на строительные работы и специальные строительные работы : утверждены Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2021 года № 1046/пр.

57. Морозова, Л. Н. Типовые проекты – инструмент единой технической политики / Л. Н. Морозова, Е. Е. Заика // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2020 : материалы VI Международной научно-практической конференции в рамках 6-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса : инфраструктурное и социально-экономическое развитие», Горловка, 27 мая 2020. – Горловка : АДИ ГОУВПО «ДОННТУ», 2020. – С. 92–94.

58. Морозова, Т. Ф. Применение типовой проектной документации в целях сокращения стадии проектирования / Т. Ф. Морозова, А. А. Сахариева // Всероссийский журнал специалистов «СтройПРОФИ» – 2012. – № 3. – С. 9–11.

59. Гибшман, М. Е. Проектирование транспортных сооружений : учебник для вузов / М. Е. Гибшман. – Москва : Транспорт, 1980. – 391 с.

60. Типовые конструкции и детали зданий и сооружений. Серия 3.503-12. Унифицированные сборные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона для мостов и путепроводов на автомобильных и городских дорогах. Выпуск 19. Цельноперевозимые балки 12, 15, 18, 21 и 24 метра, армированные горизонтальными пучками и длиной 24 и 33 метра (высотой 1,5 и 1,7 метра), армированные полигональными пучками. с натяжением пучков на упоры : нормативный документ : утвержден и введен в действие Распоряжением Минтрансстроя СССР от 20 апреля 1976 г. № Л-674 : дата введения 1976-07-01 / разработаны ГПИ «Союздорпроект». – Новосибирск : ЦИТП, 1975. – 118 с.

61. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы : свод правил : актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. № 822 : дата введения 2011-05-2020 / разработан

ОАО «ЦНИИС». – Москва : ОАО «ЦПП», 2011 – 346 с.

62. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 апреля 2015 г. № 227-ст : введен впервые : дата введения 2015-07-01 / разработан открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» (ОАО «ЦНИИС»), Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 418 «Дорожное хозяйство». – Москва : Стандартинформ, 2019. – 5 с.

63. ГОСТ 33390–2015. Дороги автомобильные общего пользования. Мосты. Нагрузки и воздействия : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 августа 2016 г. № 1006-ст : введен впервые : дата введения 2016-09-08 / разработан АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (Технический комитет по стандартизации ТК-42 «Автомобильные дороги»). – Москва : Стандартинформ, 2016. – 27 с.

64. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування : державні будівельні норми України : на заміну ДБН В.2.3-14:2006 : затверджено та надано чинності Наказом Мінрегіонбуду від 11 листопада 2009 № 484 : чинні від 2010-03-01 / розроблено Національним транспортним університетом (НТУ). – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.

65. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту Мости та труби. Навантаження і впливи : державні будівельні норми України : на заміну ДБН В.2.3-14:2006 : затверджено та надано чинності Наказом Міністерства регіонального розвитку і будівництва від 11 листопада 2009 № 484 : чинні від 2010-03-01 / розроблено Національним транспортним університетом (НТУ). – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 91 с.

66. Лившиц, Я. Д. Примеры расчета железобетонных мостов / Я. Д. Лившиц, М. М. Онищенко, А. А. Шкуратовский. – Киев : Вища школа, 1986. – 263 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Определение физико-механических свойств грунта

Таблица А.1 – Результаты определения влажности грунта

№ п/п	Дата	Лабораторный номер образца	Номер бюксы	Масса бюксы, m , г	Масса влажного грунта с бюксой, m_1 , г	Масса высушенного грунта с бюксой и крышкой, m_0 , г		Влажность, W , %	
						1-е взвешивание	2-е взвешивание	отдельной пробы	средняя
1.	29.10.2021	1	7	66,25	126,01	120,90	120,60	9,95	10,19
2.	29.10.2021	2	11	65,00	116,50	111,90	111,80	10,04	
3.	29.10.2021	3	10	66,75	123,75	118,45	118,30	10,57	

Таблица А.2 – Результаты определения границы текучести грунта

№ п/п	Дата	Лабораторный номер образца	Номер бюксы	Масса бюксы, m , г	Масса влажного грунта с бюксой, m_1 , г	Масса высушенного грунта с бюксой и крышкой, m_0 , г		Граница текучести, W_L , %	
						1-е взвешивание	2-е взвешивание	отдельной пробы	средняя
1.	12.11.2021	1	12	17,75	45,05	39,45	39,15	27,57	27,57

Таблица А.3 – Результаты определения границы раскатывания грунта

№ п/п	Дата	Лабораторный номер образца	Номер бюксы	Масса бюксы, m , г	Масса влажного грунта с бюксой, m_1 , г	Масса высушенного грунта с бюксой и крышкой, m_0 , г		Граница раскатывания, W_p , %	
						1-е взвешивание	2-е взвешивание	отдельной пробы	средняя
1.	12.11.2021	1	2	16,75	26,25	25,10	24,90	16,56	16,56

Таблица А.4 – Результаты определения плотности грунта методом режущего кольца

№ п/п	Дата	Лабораторный номер образца	Номер кольца	Номер пластинок		Масса кольца с грунтом и пластинками, m_l , г	Масса кольца, m_0 , г	Масса пластинок, г		Масса грунта, г	Объем грунта, V , см ³	Плотность грунта, ρ , г/см ³	
				верхней	нижней			верхней	нижней			образца	среднее
1.	30.10.2021	1	7	1	7	126,01	66,25	11,60	11,50	59,76	200,00	0,30	0,28
2.	30.10.2021	2	11	4	11	116,50	65,00	11,30	11,60	51,50	200,00	0,26	
3.	30.10.2021	3	10	11	10	123,75	66,75	11,80	11,55	57,00	200,00	0,29	

Таблица А.5 – Результаты испытания грунта методом стандартного уплотнения

№ испытания	Дата	Количество воды, добавленной в грунт, %	Определение плотности			
			Масса, г			
			формы, m_c	формы с уплотненным грунтом, m_i	уплотненного грунта, $m_i - m_c$	плотность грунта, ρ , г/см ³
1	16.11.2021	6	3045	5510	2465	2,47
2	16.11.2021	8	3045	5515	2470	2,47
3	16.11.2021	16	3045	5560	2515	2,52
4	16.11.2021	18	3045	5710	2665	2,67
5	16.11.2021	20	3045	5545	2500	2,50



Рисунок А.1 – Графический результат испытания грунта методом стандартного уплотнения

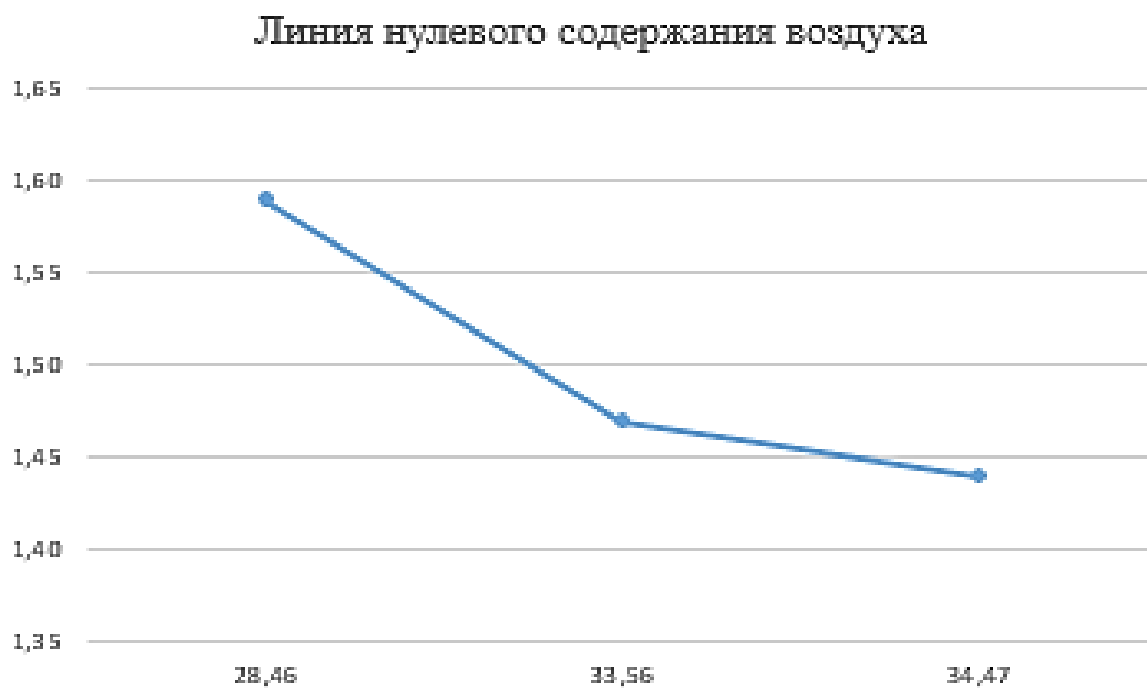


Рисунок А.2 – Графический результат линии нулевого содержания воздуха

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты испытания образцов грунта с ферментом

Таблица Б.1 – Результаты определения влажности грунта при стандартном уплотнении грунта

№ п/п	Дата	Номер бюксы	Масса бюксы, m , г	Масса влажного грунта с бюксой, m_1 , г	Масса высушенного грунта с бюксой и крышкой, m_0 , г	Влажность, W , %		Плотность сухого грунта, ρ_d , г/см ³	Коэффициент уплотнения, ρ_d/ρ_{dmax}
						абсолютная	средняя		
1.	16.11.2021	20	16,35	72,30	67,20	10,03	18,68	2,24	0,97
2.	16.11.2021	6	16,50	61,85	57,65	10,21		2,24	0,97
3.	16.11.2021	19	16,70	60,75	56,35	11,10		2,22	0,97
4.	16.11.2021	14	16,70	70,85	65,30	11,42		2,22	0,96
5.	16.11.2021	10	16,70	70,45	64,60	12,21		2,20	0,96
6.	16.11.2021	12	16,25	72,10	65,05	14,45		2,16	0,94
7.	16.11.2021	6	69,60	110,80	104,80	17,05		2,15	0,93
8.	16.11.2021	18	66,10	109,30	102,60	18,36		2,12	0,92
9.	16.11.2021	11	68,00	108,80	102,10	19,65		2,10	0,91
10.	16.11.2021	2	66,80	105,40	100,10	15,92		2,30	1,00
11.	16.11.2021	12	65,30	108,75	100,85	22,22		2,18	0,95
12.	16.11.2021	7	69,20	115,65	105,75	27,09		2,10	0,91
13.	16.11.2021	4	64,70	117,75	106,65	26,46		1,98	0,86
14.	16.11.2021	12	67,00	117,65	105,50	31,56		1,90	0,83
15.	16.11.2021	7	66,75	125,70	111,25	32,47		1,89	0,82

В результате испытания было определено число пластичности, которое составило $I_p = 11,01$ %.

На основе числа пластичности и по [3] было определено, что испытуемый грунт относится к суглинку легкому.

В результате испытания был определен удельный вес грунта, который составил $\gamma = 2,75$ кН/м³.

Таблица Б.2 – Результаты определения оптимальной влажности для уплотнения

№ п/п	Дата	Количество воды добавленное в грунт, %	Определение плотности			
			Масса, г			
			формы, m_c	формы с уплотненным грунтом, m_i	уплотненного грунта, $m_i - m_c$	плотность грунта, ρ , г/см ³
1.	13.01.2022	6	3045	5530	2485	2,49
2.	13.01.2022	8	3045	5525	2480	2,48
3.	13.01.2022	16	3045	5645	2600	2,60
4.	13.01.2022	18	3045	5640	2595	2,60
5.	13.01.2022	20	3045	5550	2505	2,51



Рисунок Б.1 – Графический результат испытания грунта с ферментом методом стандартного уплотнения



Рисунок Б.2 – Графический результат линии нулевого содержания воздуха с ферментом

Таблица Б.3 – Результаты определения влажности грунта при стандартном уплотнении грунта

№ п/п	Дата	Номер бюксы	Масса бюксы <i>m</i> , г	Масса влажного грунта с бюксой, <i>m</i> ₁ , г	Масса высушенного грунта с бюксой и крышкой, <i>m</i> ₀ , г	Влажность, <i>W</i> , %		Плотность сухого грунта, ρ_d , г/см ³	Коэффициент уплотнения, ρ_d/ρ_{dmax}
						абсолютная	средняя		
1.	13.01.2022	1	68,50	109,10	104,80	11,85	15,0	2,22	0,98
2.	13.01.2022	3	68,00	108,70	104,90	10,30		2,25	0,99
3.	13.01.2022	5	67,50	108,50	104,90	9,63		2,27	1,00
4.	13.01.2022	6	68,50	109,10	105,60	9,43		2,27	1,00
5.	13.01.2022	8	67,00	107,40	103,90	9,49		2,27	1,00
6.	13.01.2022	10	68,50	106,60	103,45	9,01		2,27	1,00
7.	13.01.2022	2	68,00	106,10	101,10	15,11		2,26	0,99
8.	13.01.2022	15	67,50	107,55	102,25	15,25		2,26	0,99
9.	13.01.2022	20	68,00	108,40	102,65	16,59		2,23	0,98
10.	13.01.2022	17	68,50	106,75	101,10	17,33		2,21	0,97
11.	13.01.2022	13	67,50	107,15	101,10	18,01		2,20	0,97
12.	13.01.2022	14	68,00	108,20	101,90	18,58		2,19	0,96
13.	13.01.2022	12	67,00	107,95	101,00	20,44		2,08	0,91
14.	13.01.2022	7	66,00	110,55	102,75	21,22		2,07	0,91
15.	13.01.2022	11	68,50	110,75	102,90	22,82		2,04	0,90

Таблица Б.4 – Результаты изготовления образцов грунта с ферментом Perma-Zyme в лаборатории

Фермент		Раствор воды с ферментом		Отсев в составе фермента, 1,25–2,5 мм		Образцы		
%	объем, мл	%	объем, мл	%	вес, г	№ образца	высота, мм	вес, г
1	2	3	4	5	6	7	8	9
500	2	16	35,2	10	22	31	50	218
						32	50	218
						33	50	217
				20	44	4	50	218
						5	50	219
						6	50	220
		30	66	55	50	220		
				56	50	217		
				57	50	218		
		18	39,6	10	22	73	50	218
						74	50	218
						75	50	220
	20			44	7	50	217	
					8	50	219	
					9	50	217	
	30			66	76	50	218	
					77	50	220	
	78	50	219					
	20	44	10	22	79	50	219	
					80	50	218	
20			44	81	50	218		
				82	50	219		

Продолжение таблицы Б.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9		
						83	50	219		
						84	50	219		
						30	66	10	50	219
								11	50	218
								12	50	219
								13	50	219
				10	22	14	50	218		
						15	50	218		
						20	44	64	50	218
								65	50	218
								66	50	219
						30	66	34	50	218
35	50	218								
36	50	220								
750	1,5	16	35,2	10	22	37	50	220		
						38	50	219		
						39	50	219		
				20	44	16	50	218		
						17	50	219		
						18	50	218		
		30	66	58	50	217				
				59	50	219				
				60	50	217				
		18	39,6	10	22	49	50	218		
						50	50	218		
						51	50	219		
20	44			52	50	217				
				53	50	217				
				54	50	220				
30	66	19	50	217						
		20	50	218						
		21	50	219						
1000	1	16	35,2	10	22	22	50	220		
						23	50	217		
						24	50	218		
				20	44	40	50	220		
						41	50	218		
						42	50	218		
		30	66	43	50	219				
				44	50	220				
				45	50	220				
		18	39,6	10	22	46	50	218		
						47	50	218		
						48	50	219		
20	44			25	50	219				
				26	50	219				
				27	50	219				
30	66	61	50	217						
		62	50	220						
		63	50	218						
20	44	10	22	67	50	220				
				68	50	219				

Окончание таблицы Б.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
						69	50	219	
				20	44	70	50	218	
							71	50	218
							72	50	219
							28	50	217
				30	66	29	50	219	
							30	50	218

Таблица Б.5 – Результаты определения предела прочности при одноосном сжатии

Фермент		Раствор воды с ферментом		Отсев в составе фермента, 1,25–2,5 мм		Образцы			Прочность			
%	объем, мл	%	объем, мл	%	вес, г	№ образца	высота, мм	вес, г	показание пресса, кН м ²	на сжатие, R _c , МПа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
500	2	16	35,2	10	22	32	50	194	6500	2,6		
						33	50	196	6500	2,6		
				20	44	4	50	188	5000	2,0		
						6	50	189	4500	1,8		
				30	66	55	50	215	6000	2,4		
						56	50	191	4500	1,8		
						57	50	194	3500	1,4		
						73	50	185	6000	2,4		
				18	39,6	10	22	74	50	185	7000	3,0
								8	50	190	6500	2,6
						20	44	9	50	186	5000	2,0
								76	50	186	6000	2,4
		30	66			77	50	190	6000	2,4		
						78	50	189	5500	2,2		
		20	44	10	22	79	50	180	7000	2,8		
						81	50	187	7500	3,0		
				20	44	82	50	177	3500	1,4		
						83	50	183	4500	1,8		
				30	66	84	50	187	4000	1,6		
						11	50	192	5000	2,0		
				12	50	191	5000	2,0				
				750	1,33	16	35,2	10	22	13	50	179
		14	50							174	3000	1,2
		20	44					64	50	187	4500	1,8
65	50							186	4500	1,8		
66	50							195	4500	1,8		
30	66	34	50					195	5000	2,0		
		36	50					197	6000	2,4		
18	39,6	10	22					37	50	190	5500	2,2
								38	50	186	5000	2,0
		20	44			16	50	190	6500	2,6		
						18	50	184	5500	2,2		
						58	50	188	4500	1,8		
		30	66			59	50	191	5000	2,0		
						60	50	189	4000	1,6		

Продолжение таблицы Б.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1000		20	44	10	22	49	50	179	5500	2,2	
						51	50	183	4000	1,6	
				20	44	52	50	198	4500	1,8	
						53	50	202	5500	2,2	
				30	66	19	50	192	6000	2,4	
						20	50	194	5000	2,0	
	16	35,2	10	22	22	50	195	7500	3,0		
					23	50	191	7500	3,0		
			20	44	41	50	179	4000	1,6		
					42	50	186	4000	1,6		
			30	66	43	50	190	5000	2,0		
					44	50	189	5000	2,0		
			18	39,6	10	22	46	50	194	5500	2,2
							48	50	199	5500	2,2
					20	44	26	50	186	4500	1,8
							27	50	182	4500	1,8
					30	66	61	50	190	4000	1,6
							62	50	193	5000	2,0
	20	44	10	22	63	50	194	4000	1,6		
					67	50	184	6500	2,6		
20			44	68	50	189	7000	2,8			
				69	50	187	7500	3,0			
30			66	70	50	185	5500	2,2			
				71	50	184	6500	2,6			
30			66	72	50	188	5000	2,0			
				28	50	177	3000	1,2			
				30	50	182	4000	1,6			

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов



Рисунок В.1 – Вид асфальтного гранулята

Таблица В.1 – Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов для нижних слоев покрытий (в процентах по массе)

Вид и тип смесей и асфальтобетонов	Размер зерен, мм, мельче										
	40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Плотные типы	Непрерывные черновые составы										
А	90–100	66–90	56–70	48–62	40–50	26–38	17–28	12–20	9–15	6–11	4–10
Б	90–100	76–90	68–80	60–72	50–60	38–52	28–39	20–29	14–22	9–16	6–12
	Прерывистые зерновые составы										
А	90–100	66–90	56–70	48–62	40–50	28–50	22–50	20–50	14–28	8–15	4–10
Б	90–100	76–90	68–80	60–72	50–60	40–60	34–60	29–60	20–40	14–23	6–12
Пористые и высокопористые	90–100	75–100	64–100	52–88	40–60	28–60	16–60	10–60	8–37	5–20	2–8
Примечание – при приемо-сдаточных испытаниях допускается определять зерновые составы смесей по контрольным ситам											

Таблица В.2 – Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов для верхних слоев покрытий (в процентах по массе)

Виды и типы смесей и асфальтобетонов	Размер зерен, в мм мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Плотные типы	Непрерывные зерновые составы									
А	90–100	75–100	62–100	40–50	28–38	20–28	14–20	10–16	6–12	4–10
Б	90–100	80–100	70–100	50–60	38–48	28–37	20–28	14–22	10–16	6–12
В	90–100	85–100	75–100	60–70	48–60	37–50	28–10	20–30	13–20	8–14
Г	–	–	–	80–100	65–82	45–65	30–50	20–36	15–25	8–16
Д			–	80–100	60–93	45–85	30–75	20–55	15–33	10–16
	Прерывистые зерновые составы									
А	90–100	75–100	62–100	40–50	28–50	20–50	14–50	10–28	6–16	4–10
Б	90–100	80–100	70–100	50–60	38–60	28–60	20–60	14–34	10–20	6–12

Таблица В.3 – Характеристика асфальтного гранулята

Наименования показателей	Требования СТП 5718-001-04000633-2006 [23]	Значения показателей
Содержание битума, %	не нормируется	2,9
Истинная плотность минеральной части, г/см ³	не нормируется	2,37
Коэффициент вариации содержания фракции 0,071–5 мм	не более 0,25	0,16
Коэффициент вариации содержания зерен размером менее 0,071 мм	не более 0,20	0,16
Коэффициент вариации содержания битума	не более 0,20	0,17

Таблица В.4 – Основные показатели свойств гранулята старого асфальтобетона фр. 5/20 мм

Наименования показателей	Требования СТП 5718-001-04000633-2006 [23]	Значения показателей
Содержание битума, %	не норм	2,9
Истинная плотность минеральной части, г/см ³	не норм	2,45
Коэффициент вариации содержания фракции 0,071–5 мм	не более 0,25	0,15
Коэффициент вариации содержания зерен размером менее 0,071 мм	не более 0,20	0,14
Коэффициент вариации содержания битума	не более 0,20	0,16

Таблица В.5 – Основные показатели свойств гранулята старого асфальтобетона фр. 0/5 мм

Наименования показателей	Требования СТП 5718-001-04000633-2006 [23]	Значения показателей
Содержание битума, %	не норм	5,3
Истинная плотность минеральной части, г/см ³	не норм	2,68
Коэффициент вариации содержания фракции 0,071–5 мм	не более 0,25	0,18
Коэффициент вариации содержания зерен размером менее 0,071 мм	не более 0,20	0,14
Коэффициент вариации содержания битума	не более 0,20	0,19

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Характеристика пролетных строений

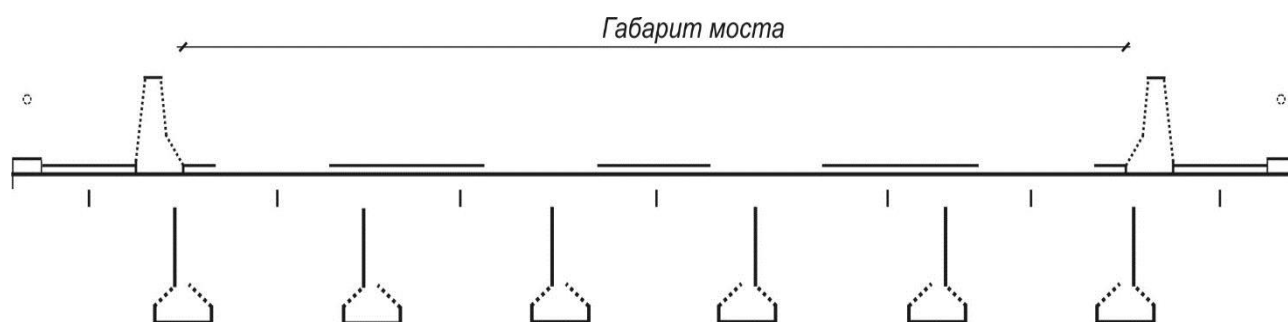


Рисунок Г1 – Схема конструкции элемента

Таблица Г1– Характеристика пролетных строений

Типовой проект	Длина пролета / расчетный пролет, l/l_p , м	Высота балки, Н, см	Армирование (в середине пролета)
Серия 3.503-12 [60]	12/11,4	90	5 пучков 24Ø5
	15/14,4	90	6 пучков 24Ø5
	18/17,4	90	7 пучков 24Ø5
	21/20,4	120	7 пучков 24Ø5
	24/23,4	120	10 пучков 24Ø5
	33/32,4	175	12 пучков 24Ø5
	42/41,4	210	14 пучков 48Ø5

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты расчета коэффициента поперечной установки и несущей способности пролетного строения по украинским нормативам

Таблица Д.1 – Расчет коэффициента поперечной установки и несущей способности пролетного строения по украинским нормативам

Габарит моста	Количество балок	Ширина полки балки	Расчетная длина балки	КПУ _А	КПУ _{Ат}	КПУ _Т	КПУ _{НК}	M _{max} , кНм	M _{пред} , кНм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Г-9 + 2×0,75	6	2,0	12	0,486	0,559	0,517	0,360	1466	2261
			15	0,474	0,547	0,497	0,35	2131	2693
			18	0,461	0,533	0,476	0,338	2978	3119
			21	0,473	0,546	0,496	0,349	3959	4066
			24	0,464	0,536	0,482	0,341	4983	5707
			33	0,471	0,543	0,492	0,347	9205	9744
			42	0,467	0,540	0,487	0,344	14610	25650
Г-9 + 2×0,75	5	2,1	12	0,602	0,691	0,651	0,449	1735	2265
			15	0,582	0,67	0,619	0,432	2500	2699
			18	0,561	0,649	0,585	0,413	3455	3661
			21	0,582	0,669	0,618	0,431	4603	4780
			24	0,567	0,654	0,594	0,418	5764	6695
			33	0,577	0,665	0,611	0,427	10590	11440
			42	0,572	0,66	0,603	0,423	16700	25780
Г-9 + 2×0,75	5	2,2	12	0,592	0,68	0,634	0,44	1718	2269
			15	0,574	0,661	0,605	0,424	2481	2704
			18	0,554	0,641	0,407	0,574	3435	3671
			21	0,573	0,661	0,604	0,423	4573	4790
			24	0,559	0,646	0,582	0,411	5733	5738
			33	0,569	0,657	0,598	0,42	10530	11470
			42	0,565	0,652	0,591	0,416	16630	25890
Г-9 + 2×0,75	5	2,3	12	0,582	0,670	0,618	0,431	1703	2272
			15	0,565	0,652	0,591	0,416	2463	2709
			18	0,547	0,634	0,563	0,401	3415	3680
			21	0,565	0,652	0,591	0,416	4544	4799
			24	0,552	0,639	0,571	0,405	5703	5751
			33	0,562	0,649	0,586	0,413	10480	10660
			42	0,558	0,645	0,579	0,41	16550	26000
Г-9 + 2×0,75	5	2,4	12	0,573	0,66	0,603	0,423	1689	2275
			15	0,557	0,644	0,579	0,409	2446	2713
			18	0,541	0,627	0,552	0,395	3397	3418
			21	0,557	0,644	0,579	0,409	4517	4655
			24	0,546	0,632	0,56	0,399	5674	5763
			33	0,555	0,641	0,574	0,407	10430	10680
			42	0,551	0,638	0,568	0,404	16490	26090
Г-9 + 2×0,75	4	2,5	12	0,718	0,827	0,757	0,531	2046	2278

Продолжение таблицы Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			15	0,713	0,822	0,75	0,526	2985	3123
			18	0,722	0,832	0,764	0,534	4197	4572
			21	0,729	0,838	0,774	0,54	5514	5519
			24	0,707	0,816	0,739	0,521	6876	7127
			33	0,723	0,833	0,765	0,535	12550	13090
			42	0,688	0,776	0,677	0,486	19210	23650
Г-9 + 2×1,0	6	2,0	12	0,486	0,559	0,525	0,36	1483	2261
			15	0,474	0,547	0,505	0,35	2157	2693
			18	0,461	0,533	0,484	0,338	3016	3119
			21	0,473	0,546	0,504	0,349	4012	4066
			24	0,464	0,536	0,489	0,341	5052	5707
			33	0,471	0,543	0,499	0,437	9338	9744
			42	0,467	0,54	0,494	0,344	14830	25650
Г-9 + 2×1,0	5	2,1	12	0,602	0,691	0,661	0,449	1755	2265
			15	0,582	0,67	0,628	0,432	2532	2699
			18	0,582	0,669	0,627	0,431	3558	3600
			21	0,603	0,692	0,663	0,45	4744	5020
			24	0,581	0,669	0,627	0,431	5912	6400
			33	0,594	0,682	0,647	0,442	10860	11390
			42	0,572	0,66	0,612	0,423	16970	25780
Г-9 + 2×1,0	5	2,2	12	0,592	0,68	0,644	0,44	1739	2269
			15	0,574	0,661	0,614	0,424	2513	2704
			18	0,573	0,66	0,613	0,423	3533	3607
			21	0,593	0,681	0,645	0,441	4707	5028
			24	0,573	0,66	0,613	0,423	5914	6414
			33	0,585	0,672	0,632	0,433	10800	14100
			42	0,565	0,652	0,6	0,416	16890	25890
Г-9 + 2×1,0	5	2,3	12	0,582	0,67	0,628	0,431	1723	2272
			15	0,565	0,652	0,6	0,416	2495	2709
			18	0,565	0,652	0,599	0,416	3510	3614
			21	0,583	0,671	0,629	0,432	4672	5034
			24	0,565	0,652	0,6	0,416	5840	6427
			33	0,562	0,649	0,595	0,413	10640	14400
			42	0,558	0,645	0,588	0,41	16810	26000
Г-9 + 2×1,0	5	2,4	12	0,573	0,66	0,612	0,423	1709	2275
			15	0,557	0,644	0,588	0,409	2478	2713
			18	0,557	0,644	0,587	0,409	3488	3619
			21	0,574	0,661	0,614	0,424	4639	5040
			24	0,557	0,644	0,587	0,409	5806	6440
			33	0,567	0,654	0,603	0,418	10670	11450
			42	0,551	0,638	0,557	0,404	16740	26090
Г-9 + 2×1,0	5	2,5	12	0,564	0,651	0,598	0,415	1695	2278
			15	0,550	0,637	0,575	0,403	2462	2717
			18	0,549	0,636	0,575	0,402	3467	3625
			21	0,565	0,652	0,6	0,416	4608	5046
			24	0,539	0,626	0,558	0,393	5729	5774
			33	0,554	0,641	0,582	0,406	10580	10650

Продолжение таблицы Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			42	0,544	0,631	0,566	0,398	16680	26180
Г-10,5 + 2×0,75	6	2,0	12	0,543	0,629	0,549	0,392	1591	2261
			15	0,530	0,615	0,528	0,38	2305	2693
			18	0,530	0,614	0,527	0,379	3246	3592
			21	0,537	0,623	0,54	0,387	4285	4539
			24	0,519	0,604	0,511	0,37	5346	5707
			33	0,532	0,617	0,532	0,382	9864	10560
			42	0,523	0,607	0,516	0,373	15530	25650
Г-10,5 + 2×0,75	6	2,1	12	0,526	0,612	0,533	0,383	1565	2265
			15	0,513	0,597	0,514	0,372	2269	2699
			18	0,512	0,597	0,513	0,371	3198	3600
			21	0,521	0,606	0,525	0,378	4227	4547
			24	0,502	0,585	0,499	0,363	5273	5723
			33	0,51	0,594	0,51	0,36	9709	9767
			42	0,506	0,59	0,504	0,366	15370	25780
Г-10,5 + 2×0,75	5	2,2	12	0,656	0,76	0,674	0,48	1863	2269
			15	0,633	0,736	0,642	0,461	2676	2704
			18	0,648	0,752	0,663	0,474	3791	4081
			21	0,657	0,761	0,675	0,481	4991	5028
			24	0,632	0,735	0,641	0,46	6201	6414
			33	0,647	0,75	0,661	0,472	11350	11410
			42	0,623	0,724	0,627	0,452	17650	25890
Г-10,5 + 2×0,75	5	2,3	12	0,644	0,747	0,656	0,47	1843	2272
			15	0,623	0,725	0,627	0,452	2653	2709
			18	0,637	0,739	0,647	0,464	3758	4087
			21	0,645	0,748	0,658	0,471	4947	5034
			24	0,622	0,724	0,627	0,452	6157	6427
			33	0,636	0,738	0,645	0,463	11270	11430
			42	0,614	0,715	0,614	0,445	17560	26000
Г-10,5 + 2×0,75	5	2,4	12	0,632	0,734	0,64	0,46	1825	2275
			15	0,613	0,714	0,614	0,444	2631	2713
			18	0,626	0,728	0,632	0,455	3727	4093
			21	0,633	0,736	0,642	0,461	4906	5040
			24	0,613	0,714	0,613	0,444	6155	6440
			33	0,625	0,727	0,631	0,454	11050	11450
			42	0,605	0,706	0,602	0,438	17470	26090
Г-10,5 + 2×0,75	5	2,5	12	0,621	0,723	0,625	0,451	1808	2278
			15	0,604	0,704	0,601	0,437	2611	2717
			18	0,616	0,717	0,617	0,447	3698	4098
			21	0,623	0,724	0,627	0,452	4868	5046
			24	0,604	0,704	0,601	0,437	6077	6451
			33	0,615	0,717	0,617	0,446	11130	11460
			42	0,597	0,697	0,591	0,431	17390	26180
Г-10,5 + 2×1,0	6	2,0	12	0,538	0,624	0,557	0,392	1600	2261
			15	0,523	0,608	0,535	0,38	2317	2693
			18	0,522	0,607	0,535	0,379	3265	3592
			21	0,531	0,617	0,548	0,387	4319	4539

Окончание таблицы Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			24	0,51	0,595	0,518	0,37	5380	5707
			33	0,525	0,61	0,539	0,382	9955	10560
			42	0,515	0,599	0,524	0,373	15680	25650
Г-10,5 + 2×1,0	6	2,1	12	0,526	0,612	0,541	0,383	1582	2265
			15	0,513	0,597	0,521	0,372	2296	2699
			18	0,512	0,597	0,521	0,371	3237	3600
			21	0,521	0,606	0,533	0,378	4281	4547
			24	0,502	0,585	0,506	0,363	5343	5723
			33	0,516	0,6	0,525	0,374	9886	10580
			42	0,506	0,59	0,511	0,366	15590	25780
Г-10,5 + 2×1,0	6	2,2	12	0,516	0,6	0,526	0,374	1566	2269
			15	0,504	0,587	0,508	0,364	2275	2704
			18	0,503	0,587	0,508	0,364	3211	3607
			21	0,511	0,595	0,519	0,37	4246	4554
			24	0,494	0,577	0,494	0,356	5308	5738
			33	0,501	0,585	0,504	0,362	9783	9788
			42	0,498	0,581	0,5	0,359	15500	25890
Г-10,5 + 2×1,0	5	2,3	12	0,644	0,747	0,666	0,47	1864	2272
			15	0,623	0,725	0,636	0,452	2685	2709
			18	0,637	0,739	0,656	0,464	3805	4087
			21	0,645	0,748	0,668	0,471	5013	5034
			24	0,622	0,724	0,636	0,452	6242	6427
			33	0,636	0,738	0,655	0,463	11430	11439
			42	0,614	0,715	0,623	0,445	17820	26000
Г-10,5 + 2×1,0	5	2,4	12	0,632	0,734	0,65	0,46	1846	2275
			15	0,613	0,714	0,622	0,444	2663	2713
			18	0,626	0,728	0,641	0,455	3774	4093
			21	0,633	0,736	0,652	0,461	4971	5040
			24	0,613	0,714	0,622	0,444	6200	6440
			33	0,625	0,727	0,64	0,454	11360	11450
			42	0,605	0,706	0,611	0,438	17740	26090
Г-10,5 + 2×1,0	5	2,5	12	0,621	0,723	0,634	0,451	1828	2278
			15	0,604	0,704	0,609	0,437	2643	2717
			18	0,616	0,717	0,626	0,447	3744	4098
			21	0,623	0,724	0,636	0,452	4933	5046
			24	0,604	0,704	0,609	0,437	6161	6451
			33	0,615	0,717	0,626	0,446	11290	11460
			42	0,597	0,697	0,599	0,431	17650	26180

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Графики зависимости коэффициента поперечной установки и расстояния между балками для габаритов моста по украинским нормативам

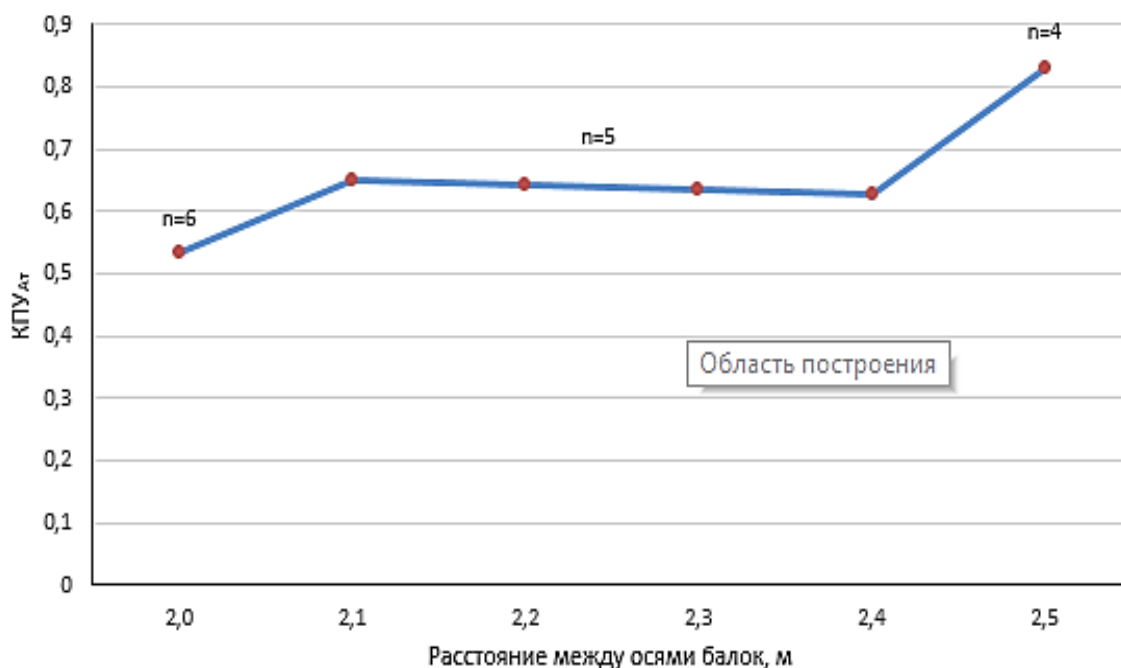


Рисунок Е.1 – График зависимости между КПУ и расстоянием между балками для Г-9 + 2×0,75

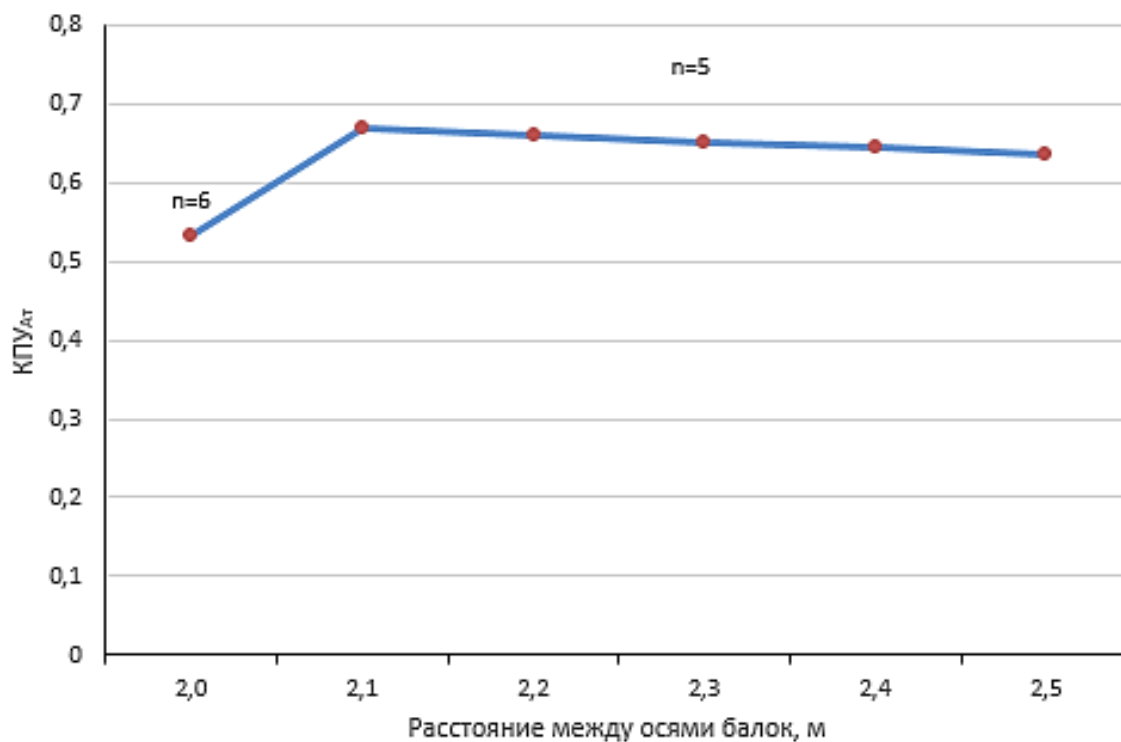


Рисунок Е.2 – График зависимости между КПУ и расстоянием между балками для Г-9 + 2×1,0

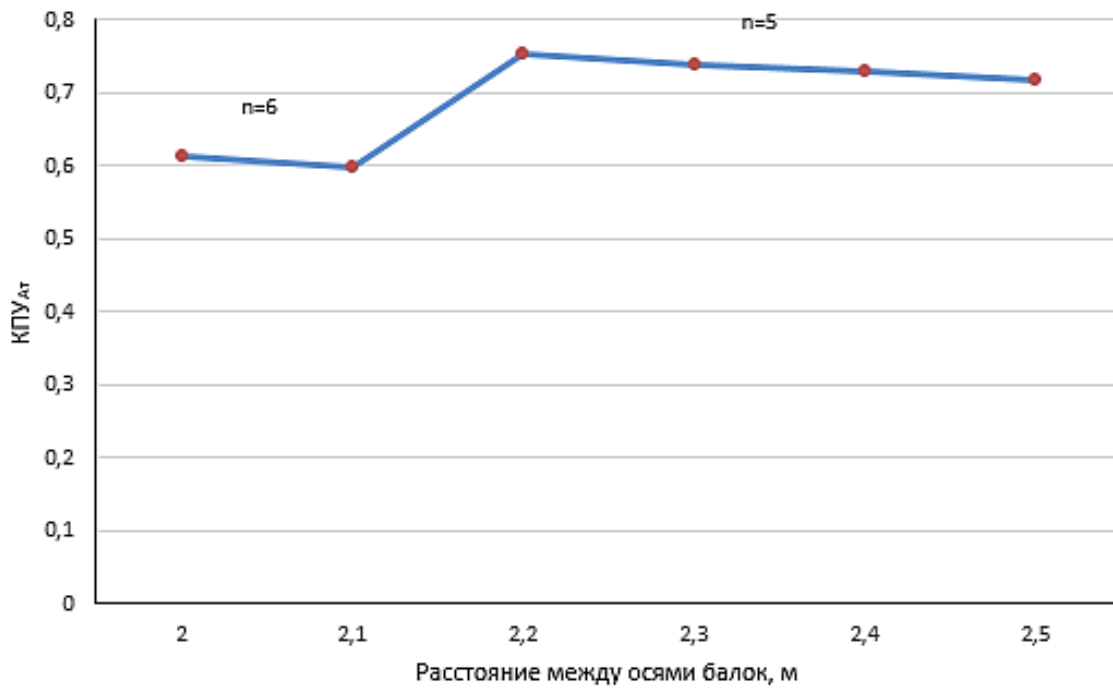


Рисунок Е.3 – График зависимости между КПУ и расстоянием между балками для Г-10,5 + 2×0,75

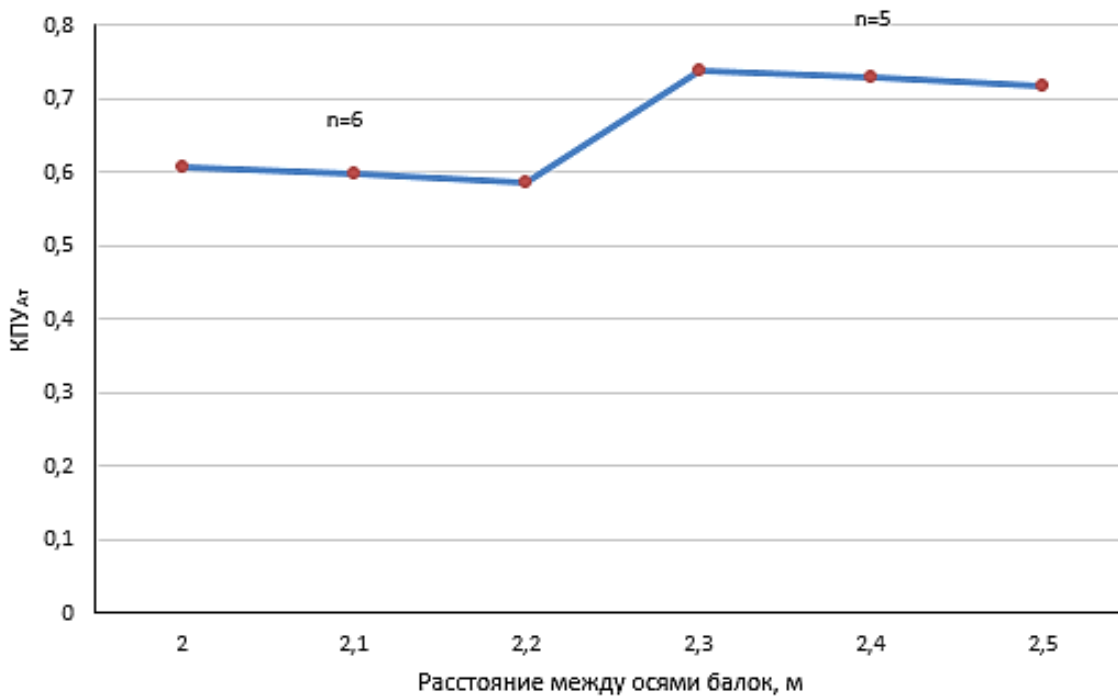


Рисунок Е.4 – График зависимости между КПУ и расстоянием между балками для Г-10,5 + 2×1,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Результаты расчета коэффициента поперечной установки и несущей способности пролетного строения по российским нормативам

Таблица Ж.1 – Расчет коэффициента поперечной установки и несущей способности пролетного строения по российским нормативам

Габарит моста	Количество балок	Ширина полки балки	Расчетная длина балки	КПУ _А	КПУ _{Ат}	КПУ _Т	КПУ _{НК}	M _{max} , кНм	M _{пред} , кНм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Г-8 + 2×0,75	5	2,0	12	0,513	0,576	0,628	0,310	1650	2216
			15	0,5	0,564	0,599	0,302	2373	2639
			18	0,5	0,563	0,598	0,302	3311	3529
			21	0,507	0,57	0,615	0,306	4355	4476
			24	0,489	0,554	0,575	0,296	5404	5617
			33	0,502	0,565	0,602	0,303	9867	10450
			42	0,492	0,557	0,581	0,298	15410	25400
Г-8 + 2×0,75	5	2,1	12	0,506	0,569	0,611	0,305	1637	2220
			15	0,494	0,558	0,585	0,299	2357	2645
			18	0,493	0,558	0,584	0,299	3291	3537
			21	0,500	0,564	0,6	0,303	4326	4484
			24	0,484	0,549	0,563	0,293	5378	5633
			33	0,496	0,56	0,49	0,3	9821	10470
			42	0,487	0,552	0,57	0,295	15350	25520
Г-8 + 2×0,75	5	2,2	12	0,499	0,562	0,596	0,301	1624	2224
			15	0,488	0,553	0,572	0,295	2342	2650
			18	0,487	0,552	0,571	0,295	3272	3544
			21	0,494	0,558	0,585	0,299	4300	4491
			24	0,479	0,545	0,552	0,29	5353	5648
			33	0,49	0,554	0,576	0,296	9768	10490
			42	0,482	0,547	0,559	0,292	15280	25640
Г-8 + 2×0,75	4	2,3	12	0,624	0,704	0,747	0,377	1972	2227
			15	0,621	0,701	0,739	0,375	2860	3061
			18	0,618	0,699	0,734	0,374	3962	4024
			21	0,631	0,71	0,762	0,381	5214	5444
			24	0,616	0,696	0,728	0,372	6492	7014
			33	0,622	0,702	0,741	0,376	11690	12300
			42	0,598	0,68	0,689	0,362	18010	25740
Г-8 + 2×0,75	4	2,4	12	0,617	0,697	0,73	0,373	1959	2230
			15	0,614	0,694	0,723	0,371	2843	3065
			18	0,611	0,692	0,719	0,37	3939	4030
			21	0,623	0,703	0,744	0,377	5182	5450
			24	0,609	0,69	0,713	0,369	6459	7026
			33	0,615	0,695	0,726	0,372	11630	12150
			42	0,593	0,675	0,677	0,36	17950	25840
Г-8 + 2×0,75	4	2,5	12	0,610	0,69	0,714	0,369	1946	2233
			15	0,607	0,688	0,708	0,367	2826	3069

Продолжение таблицы Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			18	0,605	0,686	0,704	0,366	3918	4035
			21	0,616	0,696	0,728	0,372	5029	5456
			24	0,603	0,68	0,699	0,635	6427	7037
			33	0,608	0,689	0,711	0,368	11580	12170
			42	0,588	0,671	0,667	0,357	17890	25930
Г-8 + 2×1,0	5	2,0	12	0,513	0,576	0,639	0,31	1675	2216
			15	0,500	0,564	0,61	0,302	2411	2639
			18	0,500	0,563	0,608	0,302	3367	3529
			21	0,507	0,57	0,626	0,306	4432	4476
			24	0,489	0,554	0,585	0,296	5503	5617
			33	0,502	0,566	0,614	0,304	10070	10450
			42	0,493	0,557	0,593	0,298	15730	25400
Г-8 + 2×1,0	5	2,1	12	0,506	0,569	0,622	0,305	1661	2220
			15	0,494	0,558	0,595	0,299	2395	2645
			18	0,493	0,558	0,594	0,299	3346	3537
			21	0,500	0,564	0,61	0,303	4403	4484
			24	0,484	0,549	0,573	0,293	5477	5633
			33	0,495	0,559	0,599	0,3	10010	10470
			42	0,487	0,552	0,579	0,295	15660	25520
Г-8 + 2×1,0	5	2,2	12	0,499	0,562	0,606	0,301	1648	2224
			15	0,488	0,553	0,581	0,295	2380	2650
			18	0,487	0,552	0,581	0,295	3327	3544
			21	0,494	0,558	0,595	0,299	4376	4491
			24	0,479	0,545	0,561	0,29	5451	5648
			33	0,490	0,554	0,585	0,296	9959	10490
			42	0,482	0,547	0,568	0,292	15610	25640
Г-8 + 2×1,0	5	2,3	12	0,492	0,556	0,591	0,298	1636	2227
			15	0,482	0,547	0,569	0,292	2366	2655
			18	0,482	0,547	0,568	0,292	3308	3550
			21	0,488	0,553	0,582	0,295	4351	4497
			24	0,474	0,54	0,55	0,288	5426	5661
			33	0,484	0,549	0,573	0,293	9912	10510
			42	0,477	0,543	0,557	0,289	15530	25740
Г-8 + 2×1,0	4	2,4	12	0,617	0,697	0,742	0,373	1989	2230
			15	0,614	0,694	0,735	0,371	2890	3065
			18	0,611	0,692	0,731	0,37	4008	4030
			21	0,623	0,703	0,757	0,377	5278	5450
			24	0,609	0,69	0,725	0,369	6583	7026
			33	0,622	0,702	0,755	0,376	11930	13780
			42	0,593	0,675	0,688	0,36	18330	25840
Г-8 + 2×1,0	4	2,5	12	0,610	0,69	0,726	0,369	1976	2233
			15	0,607	0,688	0,72	0,367	2873	3069
			18	0,605	0,686	0,716	0,366	3986	4035
			21	0,616	0,696	0,74	0,372	5246	5456
			24	0,603	0,684	0,71	0,365	6550	7037
			33	0,608	0,689	0,723	0,368	11810	12170
			42	0,588	0,671	0,677	0,357	18270	25930

Продолжение таблицы Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Г-10 + 2×0,75	6	2,0	12	0,515	0,594	0,55	0,281	1655	2216
			15	0,502	0,581	0,531	0,275	2373	2639
			18	0,502	0,581	0,53	0,275	3304	3529
			21	0,509	0,589	0,542	0,278	4214	4476
			24	0,492	0,57	0,515	0,27	5234	5617
			33	0,570	0,584	0,534	0,276	9787	10450
			42	0,495	0,573	0,519	0,272	15250	25400
Г-10 + 2×0,75	6	2,1	12	0,504	0,583	0,534	0,276	1635	2220
			15	0,493	0,572	0,517	0,271	2348	2645
			18	0,493	0,571	0,516	0,271	3272	3537
			21	0,499	0,578	0,527	0,274	4172	4484
			24	0,484	0,562	0,502	0,267	5330	5633
			33	0,495	0,573	0,519	0,272	9705	10470
			42	0,487	0,565	0,507	0,268	15150	25520
Г-10 + 2×0,75	5	2,2	12	0,628	0,724	0,677	0,342	1957	2224
			15	0,625	0,721	0,671	0,34	2829	3056
			18	0,623	0,719	0,667	0,339	3840	4017
			21	0,633	0,73	0,688	0,345	5129	5438
			24	0,620	0,716	0,662	0,338	6378	7000
			33	0,625	0,721	0,672	0,341	11430	12120
			42	0,604	0,699	0,632	0,329	17590	25640
Г-10 + 2×0,75	5	2,3	12	0,618	0,714	0,659	0,337	1939	2227
			15	0,616	0,711	0,654	0,335	2805	3061
			18	0,614	0,709	0,651	0,334	3878	4024
			21	0,630	0,726	0,681	0,343	5114	6392
			24	0,604	0,699	0,632	0,329	6292	6337
			33	0,612	0,708	0,648	0,333	11320	11328
			42	0,598	0,692	0,619	0,325	17500	25740
Г-10 + 2×0,75	5	2,4	12	0,610	0,705	0,643	0,332	1923	2230
			15	0,608	0,702	0,638	0,331	2783	3065
			18	0,606	0,701	0,635	0,33	3850	4030
			21	0,615	0,71	0,652	0,335	5047	5450
			24	0,597	0,691	0,618	0,324	6253	6349
			33	0,605	0,699	0,633	0,329	11250	11340
			42	0,591	0,685	0,607	0,321	17420	25840
Г-10 + 2×0,75	5	2,5	12	0,602	0,696	0,627	0,327	1907	2233
			15	0,600	0,694	0,623	0,326	2762	3069
			15	0,600	0,694	0,623	0,326	2762	3069
			18	0,598	0,693	0,62	0,325	3823	4035
			21	0,606	0,701	0,636	0,33	5010	5456
			24	0,590	0,684	0,605	0,321	6216	6361
			33	0,597	0,692	0,619	0,325	11190	11360
			42	0,585	0,678	0,595	0,318	17340	25930
Г-11,5 + 2×0,75	7	2,0	12	0,496	0,578	0,475	0,243	1598	2216
			15	0,487	0,569	0,462	0,239	2299	2639
			18	0,487	0,568	0,462	0,239	3201	3529
			21	0,492	0,574	0,469	0,241	4193	4476

Продолжение таблицы Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			24	0,480	0,56	0,451	0,236	5214	5617
			33	0,484	0,565	0,458	0,238	9430	9636
			42	0,482	0,563	0,454	0,237	14780	25400
Г-11,5 + 2×0,75	6	2,1	12	0,560	0,694	0,581	0,292	1861	2220
			15	0,594	0,692	0,577	0,291	2689	3051
			18	0,592	0,69	0,575	0,29	3716	4010
			21	0,597	0,695	0,581	0,292	4850	4957
			24	0,582	0,679	0,56	0,285	6018	6309
			33	0,590	0,687	0,572	0,289	10820	11280
			42	0,576	0,671	0,55	0,282	16720	25520
Г-11,5 + 2×0,75	6	2,2	12	0,585	0,682	0,564	0,287	1839	2224
			15	0,573	0,669	0,547	0,281	2632	2650
			18	0,581	0,678	0,559	0,285	3678	4017
			21	0,586	0,682	0,565	0,287	4677	4964
			24	0,573	0,668	0,546	0,281	5964	6324
			33	0,580	0,676	0,556	0,284	10730	11300
			42	0,567	0,661	0,537	0,278	16610	25640
Г-11,5 + 2×0,75	6	2,3	12	0,575	0,67	0,549	0,282	1818	2227
			15	0,564	0,658	0,533	0,277	2606	2655
			18	0,571	0,666	0,544	0,28	3641	4024
			21	0,575	0,671	0,549	0,282	4753	4971
			24	0,564	0,658	0,532	0,277	5914	6337
			33	0,570	0,665	0,542	0,28	10640	11320
			42	0,558	0,652	0,525	0,275	16500	25740
Г-11,5 + 2×0,75	6	2,4	12	0,565	0,659	0,534	0,278	1798	2230
			15	0,555	0,649	0,52	0,273	2582	2659
			18	0,562	0,656	0,53	0,276	3608	4030
			21	0,565	0,66	0,535	0,278	4709	4977
			24	0,555	0,648	0,519	0,273	5867	6349
			33	0,557	0,651	0,523	0,274	10530	10539
			42	0,550	0,643	0,513	0,271	16400	25840
Г-11,5 + 2×0,75	5	2,5	12	0,705	0,822	0,682	0,345	2166	2233
			15	0,711	0,822	0,69	0,348	3146	3475
			18	0,708	0,825	0,686	0,347	4326	4509
			21	0,716	0,834	0,698	0,35	5649	5929
			24	0,698	0,813	0,67	0,342	6988	7037
			33	0,708	0,825	0,686	0,347	12500	12980
			42	0,681	0,794	0,645	0,334	19100	25930
Г-11,5 + 2×1,0	7	2,0	12	0,496	0,578	0,481	0,243	1616	2216
			15	0,487	0,569	0,468	0,239	2327	2639
			18	0,487	0,568	0,468	0,239	3242	3529
			21	0,492	0,574	0,475	0,241	4249	4476
			24	0,48	0,56	0,457	0,236	5287	5617
			33	0,484	0,565	0,464	0,238	9572	9636
			42	0,482	0,563	0,46	0,237	15010	25400
Г-11,5 + 2×1,0	7	2,1	12	0,486	0,567	0,466	0,239	1596	2220
			15	0,478	0,559	0,455	0,235	2302	2645

Продолжение таблицы Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			18	0,478	0,558	0,455	0,235	3210	3537
			21	0,483	0,563	0,462	0,237	4207	4484
			24	0,472	0,551	0,445	0,232	5243	5633
			33	0,476	0,556	0,451	0,234	9497	9659
			42	0,474	0,554	0,448	0,233	14910	25520
Г-11,5 + 2×1,0	6	2,2	12	0,585	0,682	0,572	0,287	1860	2224
			15	0,583	0,679	0,568	0,286	2692	3056
			18	0,581	0,678	0,566	0,285	3726	4017
			21	0,586	0,682	0,572	0,287	4866	4964
			24	0,573	0,668	0,553	0,281	6051	6324
			33	0,58	0,676	0,564	0,284	10900	11300
Г-11,5 + 2×1,0	6	2,3	42	0,576	0,661	0,544	0,278	16880	25640
			12	0,575	0,67	0,556	0,282	1838	2227
			15	0,564	0,658	0,54	0,277	2639	2655
			18	0,571	0,666	0,551	0,28	3689	4024
			21	0,575	0,671	0,557	0,282	4819	4971
			24	0,564	0,658	0,539	0,277	6000	6337
Г-11,5 + 2×1,0	6	2,4	33	0,57	0,665	0,549	0,28	10810	11320
			42	0,558	0,652	0,531	0,275	16770	25740
			12	0,565	0,659	0,541	0,278	1819	2230
			15	0,555	0,649	0,527	0,273	2614	2659
			18	0,562	0,656	0,537	0,276	3655	4030
			21	0,565	0,66	0,542	0,278	4775	4977
Г-11,5 + 2×1,0	6	2,5	24	0,555	0,648	0,526	0,273	5953	6349
			33	0,561	0,655	0,535	0,276	10730	11340
			42	0,55	0,643	0,519	0,271	16660	25840
			12	0,556	0,649	0,528	0,274	1800	2233
			15	0,547	0,64	0,514	0,27	2591	2663
			18	0,553	0,646	0,523	0,272	3623	4035
Г-11,5 + 2×1,0	6	2,5	21	0,557	0,65	0,528	0,274	4734	4982
			24	0,547	0,639	0,514	0,27	5908	6361
			33	0,553	0,646	0,522	0,272	10650	11360
			42	0,543	0,635	0,508	0,268	16560	25930
			12	0,417	0,487	0,405	0,205	1444	2216
			15	0,411	0,481	0,397	0,203	2090	2639
Г-11,5 + 2×1,5	8	2,0	18	0,405	0,474	0,388	0,2	2910	3055
			21	0,411	0,48	0,396	0,203	3835	4002
			24	0,407	0,476	0,39	0,201	4822	5617
			33	0,409	0,479	0,394	0,202	8794	9636
			42	0,408	0,477	0,392	0,201	13880	25400
			12	0,486	0,567	0,478	0,239	1632	2220
Г-11,5 + 2×1,5	7	2,1	15	0,478	0,559	0,467	0,235	2358	2645
			18	0,478	0,558	0,466	0,235	3292	3537
			21	0,483	0,563	0,473	0,237	4321	4484
			24	0,472	0,551	0,456	0,232	5390	5633
			33	0,48	0,56	0,468	0,236	9814	10470
			42	0,474	0,554	0,46	0,233	15370	25520

Окончание таблицы Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Г-11,5 + 2×1,5	7	2,2	12	0,477	0,557	0,464	0,235	1613	2224
			15	0,47	0,55	0,454	0,232	2335	2650
			18	0,47	0,549	0,454	0,232	3262	3544
			21	0,474	0,554	0,46	0,233	4280	4491
			24	0,464	0,453	0,445	0,229	5347	5648
			33	0,471	0,551	0,456	0,232	9738	10490
			42	0,466	0,545	0,448	0,23	15260	25640
Г-11,5 + 2×1,5	7	2,3	12	0,469	0,548	0,452	0,231	1596	2227
			15	0,463	0,541	0,442	0,228	2313	2655
			18	0,462	0,541	0,442	0,228	3233	3550
			21	0,466	0,545	0,447	0,23	4242	4497
			24	0,457	0,535	0,434	0,226	5306	5661
			33	0,461	0,539	0,439	0,228	9640	9699
			42	0,459	0,537	0,437	0,227	15170	25740
Г-11,5 + 2×1,5	6	2,4	12	0,565	0,659	0,555	0,278	1860	2230
			15	0,563	0,657	0,552	0,277	2702	3065
			18	0,562	0,656	0,551	0,276	3752	4030
			21	0,565	0,66	0,556	0,278	4908	4977
			24	0,555	0,648	0,539	0,273	6125	6349
			33	0,561	0,655	0,549	0,276	11060	11340
			42	0,55	0,643	0,532	0,271	17200	25840
Г-11,5 + 2×1,5	6	2,5	12	0,556	0,649	0,541	0,274	1841	2233
			15	0,547	0,64	0,527	0,27	2656	2663
			18	0,553	0,646	0,537	0,272	3719	4035
			21	0,557	0,65	0,542	0,274	4865	4982
			24	0,547	0,639	0,527	0,27	6079	6361
			33	0,553	0,646	0,536	0,272	10980	11360
			42	0,543	0,635	0,521	0,268	17100	25930

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Графики зависимости коэффициента поперечной установки и расстояния между балками для габаритов моста по российским нормативам

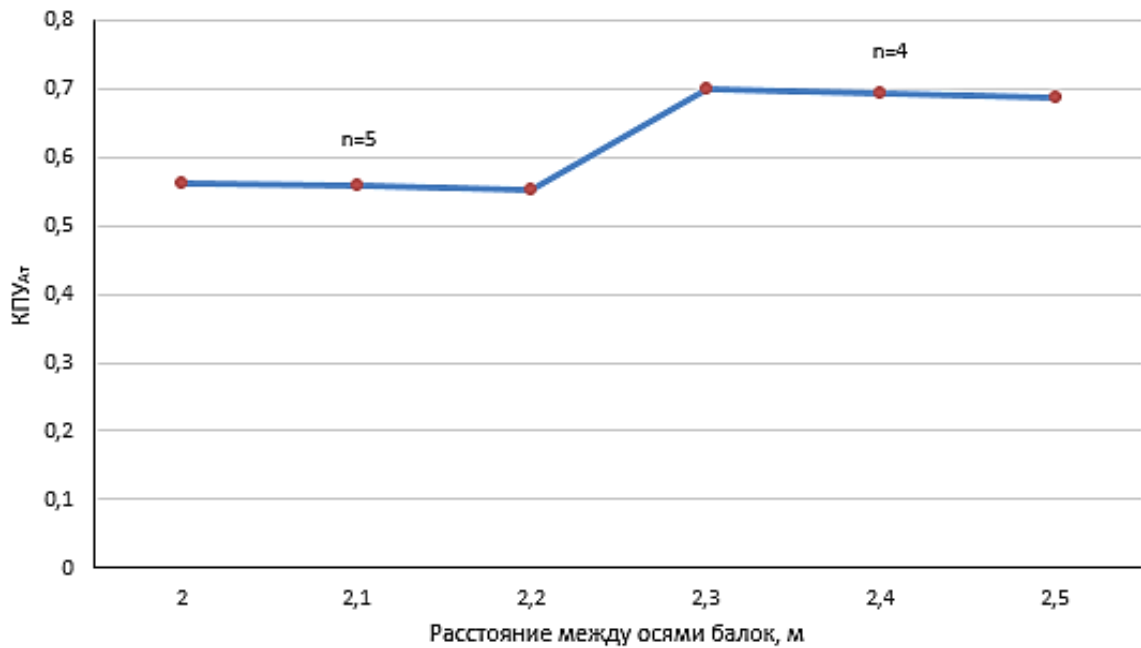


Рисунок И.1 – График зависимости между КПУ и расстоянием между балками для Г-8 + 2×0,75

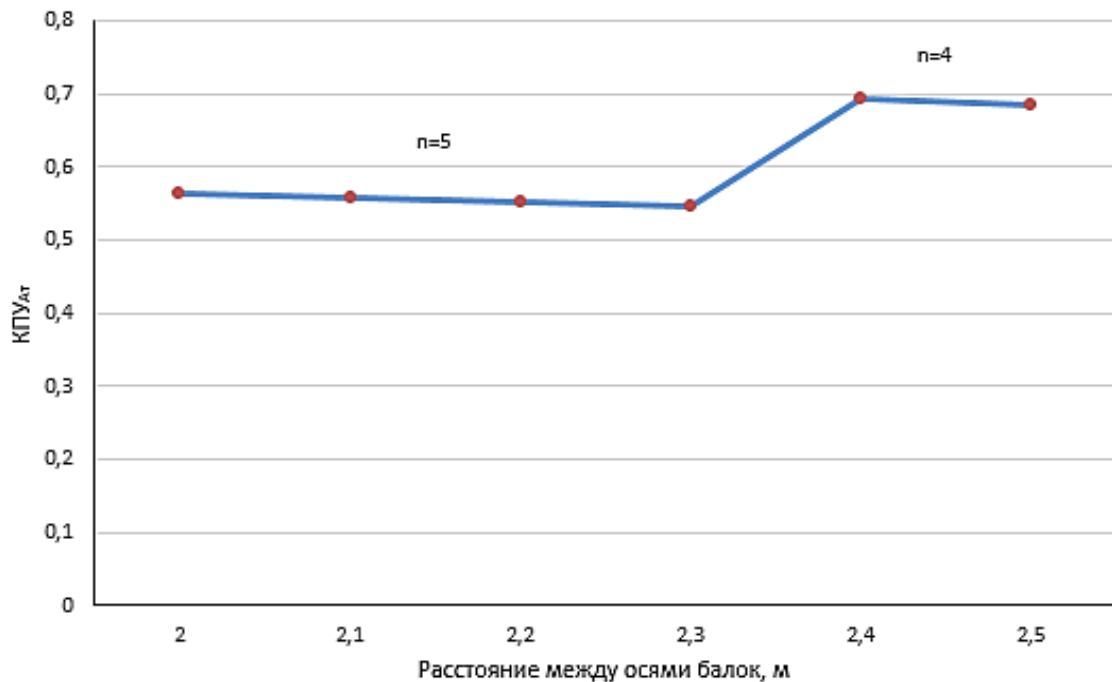


Рисунок И.2 – График зависимости между КПУ и расстоянием между балками для Г-8 + 2×1,0

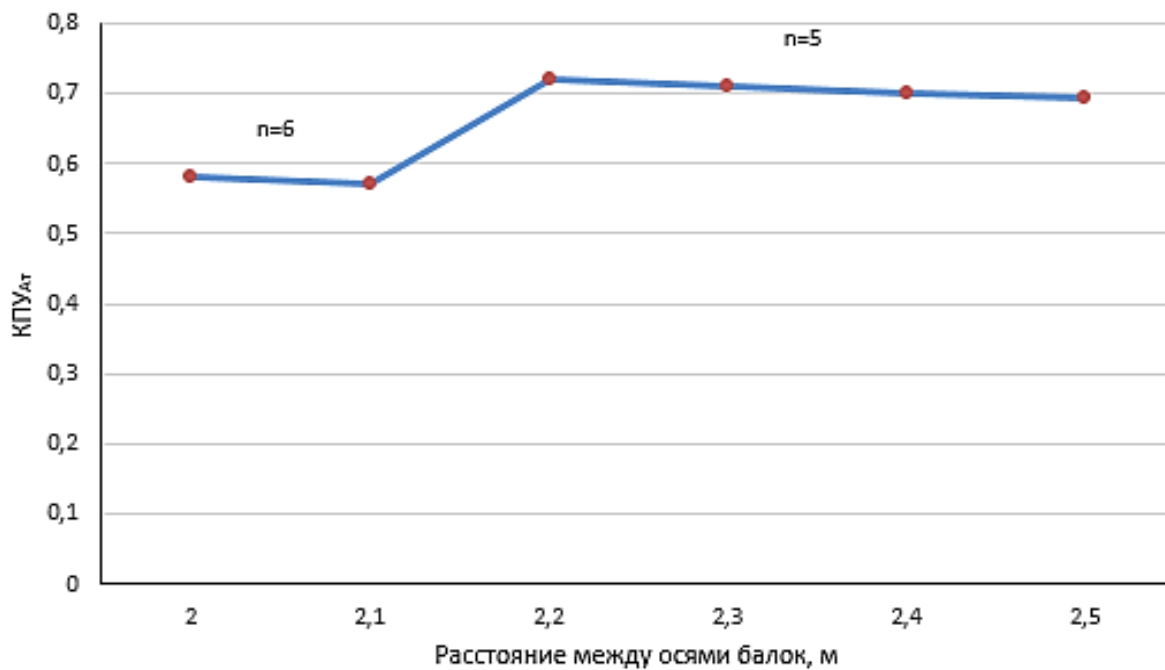


Рисунок И.3 – График зависимости между КПУ и расстоянием между балками для Г-10 + 2×0,75

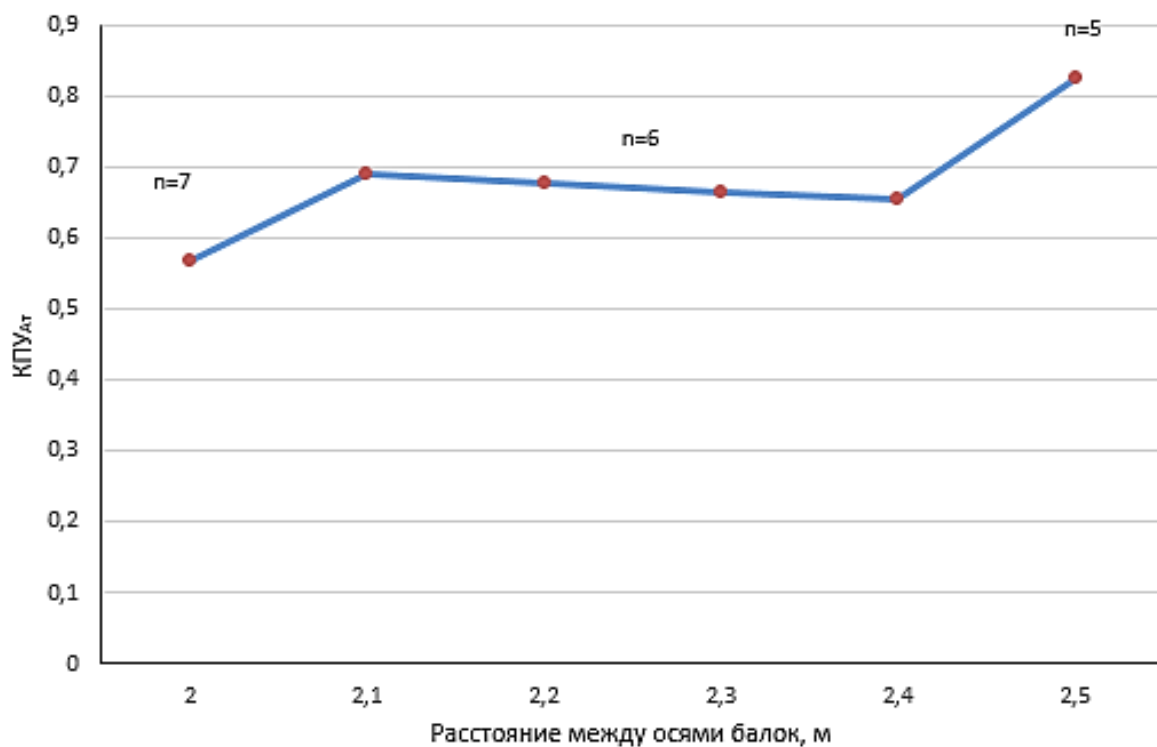


Рисунок И.4 – График зависимости между КПУ и расстоянием между балками для Г-11,5 + 2×0,75

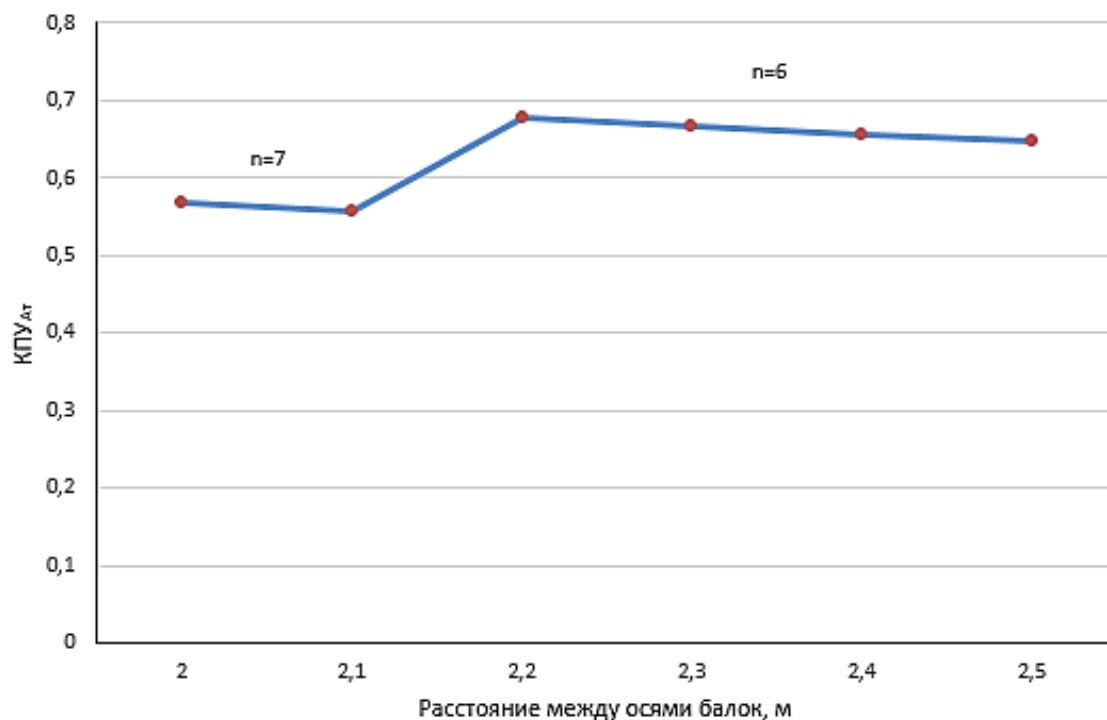


Рисунок И.5 – График зависимости между КПУ и расстоянием между балками для Г-11,5 + 2×1,0

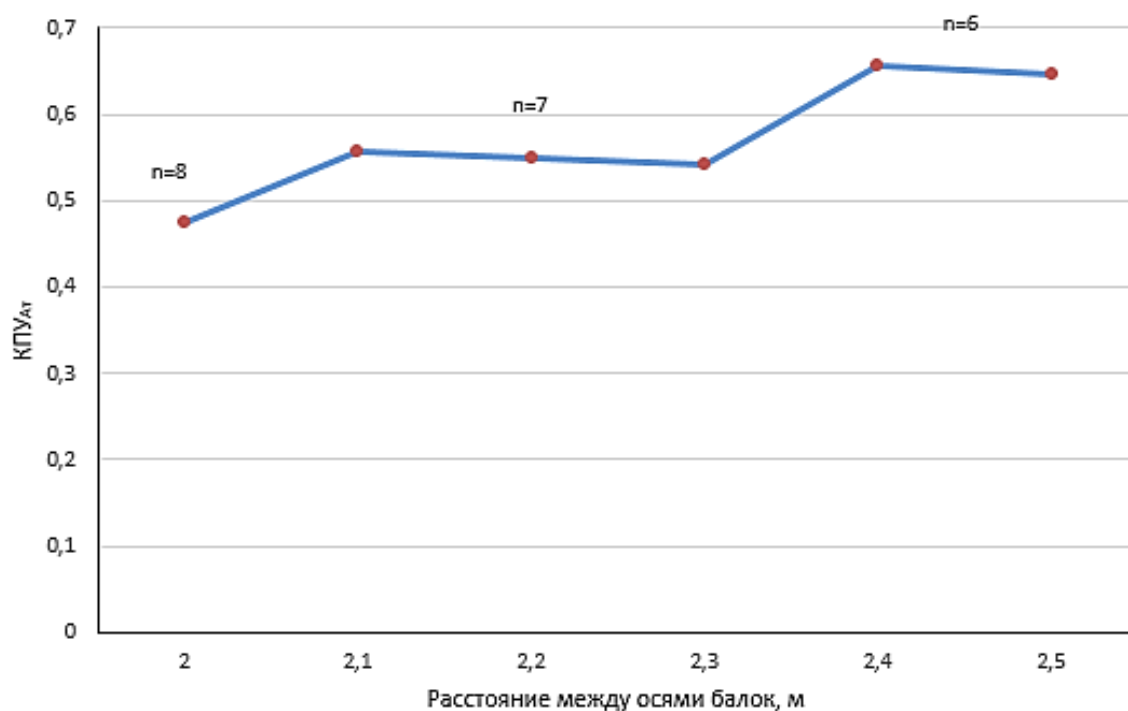


Рисунок И.6 – График зависимости между КПУ и расстоянием между балками для Г-11,5 + 2×1,5

Научное издание

Монография

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РЕМОНТА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ
ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДОНБАССА

Скрыпник Татьяна Владимировна

Морозова Людмила Николаевна

Губа Виктория Викторовна

Шилин Игорь Владимирович

Бушева Валентина Михайловна

Пархоменко Виктор Владимирович

Третьякова Людмила Николаевна

Коноплястова Елизавета Владимировна

Ляшенко Юрий Петрович

Ответственный за выпуск: Н.Ф. Курган

Подписано к печати 17.02.2023.

Формат 60×84/16. Бумага офисная.

Гарнитура «Times New Roman». Печать – лазерная.

Уч. – изд л. 8,38. Усл. печ. л. 8,06

Заказ № 23. Тираж 100 экз.

Отпечатано в Автомобильно – дорожном институте
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»
284646, Донецкая Народная Республика, г. Горловка, ул. Кирова, 51.
E-mail: druknf @ rambler.ru

Свидетельство о государственной регистрации ДНР
Серия АА03 № 029192 от 7 апреля 2016 г.