

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

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.В. Серватинский
« ____ » _____ 2021

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
08.03.01 «Строительство»
08.03.01.15 «Автомобильные дороги»

Сравнительный анализ асфальтобетонных смесей с добавками ПБВ, по физико-механическим характеристикам и по показателю устойчивости к колееобразованию

Руководитель _____ доцент, к.т.н. Л. А. Иванова

Выпускник _____ А.С. Корицкая

Красноярск 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1 Полимерно-битумное вяжущее	15
1.2.1 Основные направления ПБВ	15
1.2.2 Способы производства ПБВ	16
1.2.3 Адгезионные добавки для ПБВ	18
1.2 Понятие модифицированного битума	19
1.2.1 Применение модифицированных битумов в дорожном строительстве	19
ГЛАВА 2 ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ	21
2.1 Модификатор ПОЛИЭПОР-Р	21
2.2 Сравнительный анализ вяжущего	24
2.2.1 Асфальтобетонная смесь	27
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	29
3.1 Подбор состава асфальтобетонной смеси	29
3.1.1 Асфальтобетонная смесь. Физико-механические свойства	32
3.1.2 Испытания на физико-механические свойства асфальтобетона	37
3.2 Испытание асфальтобетонной смеси на колееобразование	44
3.2.1 Понятие колееобразования	44
3.2.2 Метод испытания асфальтобетона на колееобразование	45
3.2.3 Проведение и подготовка испытания на колееобразование	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	64
ПРИЛОЖЕНИЕ А	66
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	67
ПРИЛОЖЕНИЕ В	68

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на территории Красноярского края имеются:

- 989 +41 дорог регионального и межмуниципального пользования (автомобильные дороги с твёрдым покрытием не ниже пятой технической категории и отвечающие требованиям действующих строительных норм и правил, необходимыми для содержания автомобильных дорог, а также автомобильные дороги, включающие в себя искусственные дорожные сооружения). По территории Красноярского края проходят автомобильные трассы федерального значения: "Байкал" М53 (Новосибирск- Красноярск- Иркутск) и "Енисей" М54 (Красноярск-Абакан- Кызыл-Государственная граница), идущая в Монголию (Цаган-Толгой). [21]

- Федеральная автомобильная дорога Р-255 "Сибирь" (М-53 "Байкал") в Красноярском крае проходит от границы с Кемеровской областью км 557 до границы с Иркутской областью км 1176, включая обходы г. Красноярска, обход г. Канска, обход Н.Поймы. Федеральная автомобильная дорога Р-255 "Сибирь" проходит по 12 районам Красноярского края (Боготольский, Ачинский, Козульский, Емельяновский, Березовский, Манский, Уярский, Рыбинский, Канский, Иланский, Нижнеингашский);

- Федеральная автомобильная дорога Р-257 "Енисей" (М-54 "Енисей") берет свое начало от г. Красноярска до границы с Монголией км 15 до км 445 + 600. По Красноярскому краю с км 15 по км 257 + 250 и с км 424 по км 445 + 600 проходит по следующим районам Красноярского края (Емельяновский, Козульский, Балахтинский, Новоселовский, Минусинский). В границах Республики Хакасия с км 257 + 250 по км 424 проходит по следующим районам Республики Хакасия (Боградский, Усть-Абаканский, Алтайский);

- А-382 Автомобильный подъезд до аэропорта от р.п. Тура км 0 - км 17 проходит в Эвенкийском районе Красноярского края;

- А-383 Автомобильный подъезд до аэропорта от г. Дудинка км 0 - км 53,4 проходит в Таймырском районе Красноярского края.

Протяженность автомобильных дорог общего пользования регионального и межмуниципального значения составляет 13952,196 километра. Протяженность грунтовых дорог составляет 563,105 км. Удельный вес автомобильных дорог с твердым покрытием составляет 96%. Протяженность дорог местного значения составляет 16 746,8 км.

Протяженность зимних автомобильных дорог общего пользования регионального значения составляет 2 402,86 км. Протяженность зимних дорог местного значения составляет 6 335,5 км (на территории Эвенкийского и Таймырского Долгано-Ненецкого муниципальных районов).

На автомобильных дорогах общего пользования регионального и межмуниципального значения насчитывается 930 автомобильных мостов и путепроводов, а так же 4724 водопропускных труб.

Плотность автомобильных дорог общего пользования регионального и межмуниципального значения с твердым покрытием составляет 0,0000013389 км дорог на 1000 квадратных метров территории.

В крае находится единственная городская агломерация - Красноярская агломерация, общая протяженность автодорог которой составляет около 1,5 тыс. км дорог с усовершенствованным покрытием, кроме того насчитывается 58 мостов и путепроводов площадью 216,5 кв. км, 15 тоннелей площадью 6,5 кв. км.[21]

В Красноярском крае существует федеральная программа «Безопасные и качественные дороги». Это национальный проект, инициированный Президентом Российской Федерации в качестве приоритетного стратегического направления развития страны. Красноярский край в числе нескольких десятков субъектов Российской Федерации, где этот проект успешно реализуется с 2017 года. Программа рассчитана на 9 лет. Главная задача - развитие транспортной системы страны.

Финансирование программы - из федерального и краевого бюджетов. Общая протяженность дорожной сети города Красноярска, включенная в

программу - 616,82 км автомобильных дорог, предусмотрен ремонт 372 автодорог (улиц).

В планах ремонта автодорог общего пользования регионального и межмуниципального значения Красноярского края на 2021 год 66 объектов в 37 районах края, с вводом в 2021 году 137 км. Из них:

-24 объекта переходящих с 2020 года на 2021 год (в том числе 2 объекта в пределах Красноярской агломерации), общей протяжённостью 101 км.

-41 объект вновь начинаемый в 2021 году (в том числе 7 объектов в пределах Красноярской агломерации), общей протяжённостью 36 км.

-1 объект капитального ремонта. В 2021 году начнутся подготовительные работы на автомобильной дороге регионального значения Шадрино-Подсосное в Козульском и Назаровском районах, протяженностью 12,9 км с переводом ее из переходного в асфальтобетонный тип покрытия. Ввод объекта в эксплуатацию запланирован на 2023 год.

В 2021 году завершится реконструкция автодороги со 157 по 168 км Елишино-Северо-Енисейский в Северо-Енисейском районе. На участке запланировано устройство системы водоотведения, спрямление профиля дороги и усиление покрытия переходного типа.

Планируется приступить к реконструкции автодороги Красноярск - Элита (0-8 км). Трасса после реконструкции будет соответствовать II технической категории. Проектом предусмотрено расширение проезжей части до 4-х полос, устройство барьерного ограждения, искусственного освещения, водоотвода, тротуаров, пешеходных дорожек и автобусных остановок, а также строительство надземного пешеходного перехода. [21]

Статистика объектов дорожных работ региональной сети в 2021 году, включенных в национальную программу «Безопасные качественные дороги»: В планах ремонта автодорог общего пользования регионального и межмуниципального значения Красноярского края на 2021 год 69 объектов в 37 районах края, с вводом в 2021 году 210 км. Из них:

- 24 объекта переходящих с 2020 года на 2021 год (в том числе 2 объекта в пределах Красноярской агломерации), общей протяжённостью 107 км.

- 44 объекта вновь начинаемых в 2021 году. В том числе на 10-ти объектах в пределах агломерации общей протяжённостью 46 км. Всего введут в эксплуатацию 103 км.

- 1 объект капитального ремонта: в этом сезоне дорожники начнут подготовительные работы по капитальному ремонту автодороги Шадрино - Подсосное в Козульском и Назаровском районах, протяженностью 12,9 км с переводом ее из переходного в асфальтобетонный тип покрытия

Реконструкция и строительство:

- В 2021 году завершится реконструкция автодороги со 157 по 168 км Епишино - Северо-Енисейский в Северо-Енисейском районе. На участке протяжённостью 11 км запланировано устройство системы водоотведения, спрямление профиля дороги и усиление покрытия переходного типа. Объём финансирования работ по реконструкции объекта - порядка 450 млн рублей.

В прошлом сезоне на объекте прошли подготовительные работы (расчистка полосы отвода дороги от растительности для обеспечения видимости, устройство водоотвода, на локальных участках произведена отсыпка земляного полотна), основной объём запланирован на текущий год.

- Начнётся реконструкция автодороги Красноярск - Элита (0-8 км). Трасса после реконструкции будет соответствовать II технической категории. Проектом предусмотрено расширение проезжей части до 4-х полос, устройство барьерного ограждения, искусственного освещения, водоотвода, тротуаров, пешеходных дорожек и автобусных остановок, а также строительство надземного пешеходного перехода.

При пересечениях с автомобильными дорогами Минино - Бугачево и Еловая - ст. Минино будут исключены левые повороты и светофорные объекты. На протяжении всей трассы будут организованы разворотные петли (6 шт.), которые позволят выполнять левые повороты без пересечения

встречных потоков. В рамках реконструкции на 3-ем км автодороги будет установлен автоматизированный пункт весогабаритного контроля.

Весь объем работ распределён на 4 этапа. Начнётся реконструкция с участка, включающего пересечение автомобильных дорог Красноярск - Элита и Еловое - ст. Минино. Здесь обустроят одноуровневую развязку с устройством разворотных съездов. В районе перекрёстка будут устроены две автобусные остановки. Работы в рамках данного этапа завершатся в 2022 году.

Затем дорожники приступят к реализации следующего этапа работ - на участке в районе остановки «Мясокомбинат». Выполнят сопряжение проектного участка с улично-дорожной сетью г. Красноярска. Будет выполнено смещение оси проектируемой автомобильной дороги относительно оси существующей автомобильной дороги. Также запланировано устройство водопропускного сооружения параллельно существующему мосту через р. Бугач. [1]

- Строительство Высокогорского моста через р. Енисей в Енисейском районе. Строительство началось в сентябре 2020 года. Мост станет седьмым по счету и самым северным автомобильным переходом через реку Енисей. Его строительство окажет большое влияние на экономическое развитие Северо-Енисейского района и края в целом. Ввод в эксплуатацию запланирован до конца 2023 года. Стоимость строительных работ составит порядка 6 млрд рублей. [17]

Таблица 1 - Объекты ремонта, переходящие с 2020 года

Район	Наименование объекта	Исполнитель	Год сдачи
Балахтинский	Автомобильная дорога Тюльково - Якушево на участке км 0+000 - км 6+000	АО "Балахтинское ДРСУ"	2021
	Автомобильная дорога Балахта - Виленка на участке км 1+900 - км 14+900	АО "Балахтинское ДРСУ"	2021

Большемуртинский	Автомобильная дорога Большой Кантат - Предивинск на участке км 0+700 - км 9+500	АО "Большемуртинское ДРСУ"	2021
Богучанский	Автомобильная дорога Канск - Абан - Богучаны на участке км 187+000 - км 197+000	АО "КрайДЭО"	2021
Ермаковский	Автомобильная дорога Ермаковское - Разъездное - Большая Речка на участке км 0+000 - км 10+088	АО "ДРСУ - 10"	2021
Иланский	Автомобильная дорога Иланский - Соколовка на участке км 0+000 - км 7+000	АО "КрайДЭО"	2021
Канский	Автомобильная дорога Канск - Абан - Богучаны на участке км 4+228 - км 13+119	АО "КрайДЭО"	2021
	Автомобильная дорога Канск - Тарай на участке км 10+554 - км 14+725	АО "КрайДЭО"	2021
Каратузский	Автомобильная дорога Кочергино - Каратузское - Таяты на участке км 14+850 - км 17+162, км 42+000 - км 49+000, км 58+890 - км 59+529	АО "Каратузское ДРСУ"	2021
Манский, Партизанский	Автомобильная дорога Новомихайловка - Малый Имбеж на участках км 3+950 - км 5+829, км 20+786 - км 23+197	АО "КрайДЭО"	2021
Мотыгинский	Автомобильная дорога Раздолинск - Южно-Енисейский - Кировский на участке км 0+000 - км 2+1997	АО "Лесосибирск- Автодор"	2021
Минусинский	Автомобильная дорога Минусинск - ж- д. станция Минусинск км 0+193 - км 5+390	АО "ДРСУ - 10"	2021

Новоселовский	Автомобильная дорога Новоселово - Пристань на участке км 0+000 - км 5+171	АО "Балахтинское ДРСУ"	2021
Рыбинский	Автомобильная дорога Заозерный - Агинское на участке км 0+000 - км 4+400	АО "КрайДЭО"	2021
Северо-Енисейский район	Автомобильная дорога Епишино - Северо-Енисейский на участках км 42+070 - км 43+113, км 49+1605 - км 51+572	АО "НБС - Сибирь"	2021
Сухобузимский	Автомобильная дорога Сухобузимское - Нахвальское - Берег Таскино на участках км 8+850 - км 14+115, км 15+700 - км 16+528, км 16+770 - км 17+405, км 17+880 - км 18+1066	АО "Большемуртинское ДРСУ"	2021
Тюхтетский	Автомобильная дорога Тюхтет - Чиндат на участке км 76+000 - 80+400, км 93+690 - км 97+790	АО "Ачинское ДРСУ"	2021
Ужурский	Автомобильная дорога Кулун - Корнилово на участке км 10+400 - км 17+384	АО "Балахтинское ДРСУ"	2021
Шарыповский	Автомобильная дорога Шарыпово - Ужур - Балахта на участке км 1+667 - км 5+000	АО "Балахтинское ДРСУ"	2021
Шушенский	Автомобильная дорога Ильичево - Корнилово на участке км 0+000 - км 10+000	АО "ДРСУ - 10"	2021
Емельяновский	Автомобильная дорога Емельяново - Частоостровское на участке км 7+000 - км 16+2816	ООО "НБС-Сибирь"	2021
Манский	Автомобильная дорога Саяны на участке км 364+634 км 375+109	АО "КрайДЭО"	2021

Согласно данным Федеральной службы статистики РФ, разработка транспортной стратегии Красноярского края совпала с обвалом национальной экономики на четверть, а доходов бюджетов различных уровней в 2,5 раза за последние два года. Так, средневзвешенный показатель индекса промышленного производства снизился на 23,6%, развитие обрабатывающих производств сократилось на 32%, а индекс добычи полезных ископаемых на 45,7%.

Следствием произошедших событий в экономике России стало отсутствие роста в области грузоперевозок в транспортном комплексе страны, снижение объемов грузовых коммерческих перевозок на 2,6%, также снизился пассажирооборот на 5%. В то же время наблюдается существенный рост экспортных транспортных услуг, увеличение которых составило 30%. Что позволяет сделать общий вывод о сохранении и отдельном росте мировых сфер экономической деятельности, с одновременной стагнацией российской экономики.[22]

На сегодня Красноярский край является крупным транспортно-распределительным и транзитным узлом Сибирского федерального округа. Транспортный комплекс края представлен всеми видами транспорта. Общая протяженность эксплуатируемых наземных и водных путей, включая грунтовые дороги и малые реки с местным маломерным флотом, составляет до 50 тыс. км.

Транспортная сеть распределена по обширной территории региона крайне неравномерно. Это обусловлено экономико-географическими и историческими особенностями его хозяйственного освоения, неравномерностью заселения и размещения производительных сил. Так, на протяжении длительного времени осваивались в основном центральные и южные территории региона, имеющие наиболее благоприятные условия для развития сельскохозяйственного производства и заготовки древесины. Именно по этой территории в свое время был проложен Московский тракт, а затем прошла Транссибирская железнодорожная магистраль. Данная

территория стала базовой для развития более северных районов края. Первоначально именно вдоль Транссибирской магистрали были сосредоточены основные производственные мощности, снабженческие и ремонтные предприятия. Весь данный потенциал использовали для эшелонированного индустриального освоения дальних северных районов, строительства энергопромышленных объектов, и формирования транспортной инфраструктуры. Ближние северные районы были ориентированы на вывоз продукции за пределы Красноярского края. Подобный тип односторонней интеграции между Европейской частью страны и краем стал характерным для всей Сибири.

Оказались недостаточно развитыми транспортные пути, проходящие вдоль меридиана в северном направлении:

- В крае действуют только две подобные железнодорожные ветки: Ачинск -Лесосибирск, Решоты - Карабула;

- Автомагистрали: Канск - Богучаны - Кодинск, Красноярск - Северо-Енисейский.

Основную роль в осуществлении меридиональных грузовых перевозок продолжают играть реки, автозимники и воздушное сообщение.[14]

Исходя из вышесказанного, можно отметить, что многие участки края не входят в процент поддержания дорог, который предусматривает улучшение состояния транспортных сетей.

Дороги в Красноярском крае подразделяются на технические категории. Ниже представлена таблица протяженности дорог в крае по категориям:

Таблица 2 - Протяженность дорог по техническим категориям

Категория автодорог	Протяженность, км
I	28,1
II	275,66
III	1978,22
IV	7268,06
V	4401,14

Для сдерживания сети краевых автомобильных дорог от дальнейшего разрушения и растущего недоремонта необходимо ежегодно ремонтировать от 600 км до 800 км нуждающихся в ремонте автомобильных дорог, при этом фактически ремонтируется от 239 до 303 км, или 5,6% - 7,2% из 4200,6 км требующих ремонта автодорог. При этом учитывая уменьшение объемов финансирования на проведение ремонтных работ, в рамках действующих государственных программ на территории Красноярского края, идет ежегодное снижение отремонтированных километров. За предыдущие годы отремонтировано в 2013 г. - 303 км, 2014 г. - 249 км, 2015 г. - 239 километров. Все это приводит к росту протяженности автомобильных дорог, не отвечающих нормативным требованиям.[1]

Цель работы. Разработка сравнительного анализа асфальтобетонных смесей с добавками ПБВ по соответствующим физико-механическим характеристикам, а также по показателю устойчивости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса.

Задачи.

- Оценить качества материалов как вяжущих, так и инертных;
- Сделать подбор оптимальных составов на различных материалах или вяжущих;
- Провести испытания материалов на физико-механические характеристики, а также на стойкость к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса;
- Провести анализ полученных результатов и составить заключение по сравнительным показателям.

Внедрение результатов исследования. Результаты проведенных исследований позволят испытать в производственных условиях в виде проб, полученных в лабораторных условиях, асфальтобетонных смесей для верхнего слоя покрытия.

1.1 Полимерно-битумные вяжущие

1.1.1 Основные направления ПБВ

Предметом нашего исследования выступает - полимерно-битумное вяжущее Полимерно-битумное вяжущее (ПБВ)-композиционный материал, получаемый путем смешения и гомогенизации вязких дорожных нефтяных битумов с блоксополимерами типа СБС; пластификаторами и ПАВ.

ПБВ - новый материал, превосходящий по характеристикам битумы нефтяные дорожные (БНД), выполняет функцию вяжущего (замещая БНД) при производстве асфальтобетонных смесей применяемых при строительстве, реконструкции, ремонте дорог, мостов и аэродромов.

Преимущества ПБВ перед БНД:

- высокая эластичность;
- наиболее широкий интервал пластичности;
- более высокая адгезия с минеральными компонентами асфальтобетонной смеси;
- улучшенные низкотемпературные свойства;
- снижение колееобразования дорожных покрытий;
- повышение коррозионной стойкости дорожных покрытий.

Вследствие повышения качества, увеличивается срок службы дорожного покрытия в 2 - 3 раза, с 6 лет при использовании БНД до 12 - 18 лет при использовании ПБВ, что позволяет значительно снизить затраты на эксплуатацию и ремонт дорог.

При производстве ПБВ в качестве полимера используются термопласты, каучуки и термоэластопласты.

Термопласты обладают способностью многократного размягчения при повышении температуры, а так же отвердеванию при ее снижении. Среди термопластов в процессах модификации битума участвуют полиэтилены,

полипропилены, атактические полипропилены, поливинилхлориды, полистиролы, этиленвинилацетаты и вископласты.

Каучуки, или эластомеры имеют спиральное строение макромолекул, что дает возможность удлинения до десяти раз при прикладывании растягивающей нагрузки и возвращение в исходное состояние при ее снятии. Из этого класса модификаторов для улучшения свойств битума используются бутадиен-стирольные, полихлоропропеновые и этиленпропиленовые полимеры, а также бутилкаучук.

Термоэластопласты - полимеры, обладающие в условиях эксплуатации эластичными свойствами, а при повышенных температурах обратимо переходящие в пластическое или вязкотекучее состояние. Выделяют три типа термоэластопластов - полимеры стирол-бутадиен-стирол (СБС), полимеры стирол-изопрен-стирол (СИС) и полимеры стирол-этилен/бутилен-стирол (СЕ/БС).

Для модификации дорожных битумов чаще всего используют СБС. Это обусловлено их способностью не только повышать прочность битума, но и придавать полимерно-битумной композиции эластичность - причем при небольшой концентрации (3 - 5% от массы битума). Использование в рецептуре асфальтобетонной смеси битума, модифицированного полимером типа СБС, обеспечивает дорожному покрытию способность к быстрому снятию напряжений, возникающих в покрытии под воздействием движущегося транспорта.

1.1.2 Способы производства ПБВ

В настоящее время наиболее эффективным методом производства ПБВ можно считать процесс с использованием такого устройства, как коллоидная мельница. Это устройство позволяет измельчать полимер в процессе приготовления ПБВ. При измельчении полимера увеличивается удельная поверхность контакта смешиваемых компонентов, и соответственно ускоряются процессы набухания и растворения полимера.

Существует два способа приготовления ПБВ:

По первому основному способу все компоненты ПБВ, согласно рецептуре, перемешиваются в одной емкости. Сперва в емкость подают битум, предварительно обезвоженный и подогретый до 110 - 120 °С. Затем туда же подают необходимое количество пластификатора, нагретого до 90 - 100 °С, и перемешивают до однородного состояния, после чего, при постоянном перемешивании, порционно вводят полимер и постепенно нагревают смесь до 155 - 160 °С. Далее смесь поступает в коллоидную мельницу. В мельнице полимер дробится на мелкие частицы и эффективно вмешивается в битум. Из мельницы смесь попадает в емкости созревания, где в течение нескольких часов происходит окончательное набухание полимера. После этого полимерно-битумное вяжущее готово к использованию.

По второму способу предварительно готовят раствор полимера в пластификаторе той концентрации, которая была установлена при подборе состава ПБВ, а затем раствор вводят в обезвоженный и нагретый битум, после чего в конце процесса - ПАВ и перемешивают смесь до однородного состояния. Если вязкость раствора полимера высока и возникают трудности при перемешивании и перекачке в расходные емкости, то в него добавляют битум в количестве, равном содержанию раствора в емкости. Получается битумосодержащий раствор полимера, который затем вводят в битум и перемешивают до однородного состояния.

Для ускорения процесса измельчения и набухания полимера, уменьшения температуры протекания процесса и соответственно для минимизации затрат, целесообразно применять комплексные полимерные добавки, в состав которых, кроме полимера, входят специальные поверхностно-активные вещества. В этом случае снижается или вовсе исключается необходимость введения пластификатора, что также снижает себестоимость производимого ПБВ.

Пластификаторы для ПБВ

При введении термоэластопластов в битум без пластификаторов для получения ПБВ с оптимальными свойствами требуется как минимум 5 - 6% полимера по массе. При этом вязкость получаемого вяжущего существенно выше вязкости битумов, что может привести к технологическим затруднениям при приготовлении асфальтобетонных смесей на АБЗ. Повышать же температуру приготовления более 160 °С не рекомендуется, так как в России применяются окисленные битумы, которые подвержены интенсивному старению при температурах выше 160 °С. Для получения ПБВ требуемого качества без лишних затрат полимера и энергии важно правильно подобрать пластификатор.

Рынок производства пластификаторов для ПБВ расширяется из года в год. И если раньше в качестве пластификаторов использовали индустриальные масла, экстракты селективной очистки, машинные масла и т.д., то в настоящее время подобные пластификаторы не рекомендованы к использованию, и на смену им выпускается множество эффективных пластификаторов на основе экологически безопасного сырья. К таким относится Унипласт, производимый ООО «Селена». Использование пластификатора Унипласт позволяет обеспечить требуемый температурный режим (не выше 160°С) и существенно повысить эффективность вводимого полимера, т. е. получить ПБВ с развитой пространственной структурной полимерной сеткой при минимальном содержании полимера 2 - 2,5 %, а также, в некоторых случаях, исключить из необходимого комплекта оборудования коллоидную мельницу.

1.1.3 Адгезионные добавки для ПБВ

ПБВ должны характеризоваться необходимой адгезией к поверхности минеральных материалов, используемых в данной полимерасфальтобетонной смеси, чтобы как минимум обеспечить требуемый коэффициент длительной водостойкости материала и его длительную эксплуатацию в покрытии или в

другой конструкции без шелушения и выкрашивания. Однако введение только полимера типа СБС в битум в большинстве случаев не позволяет получить требуемую адгезию ПБВ. Необходимо введение эффективных адгезионных добавок.

1.2 Понятие модифицированного битума

1.2.1 Применение модифицированных битумов в дорожном строительстве

Требование к транспортно-эксплуатационным характеристикам автомобильных дорог возрастает параллельно с ростом скоростей движения и увеличением количества тяжёлых и сверхтяжёлых грузовых автомобилей на магистральных дорогах, откуда выявляют недостаточность существующего в настоящий момент уровня качества дорожных покрытий. Вследствие чего, срок службы дорожных асфальтобетонных покрытий снижается из-за преждевременного выхода асфальтобетонных покрытий из эксплуатации.

Для увеличения надёжности и долговечности работы асфальтобетонных покрытий в настоящее время рекомендуется использовать битум, модифицированный полимерными вяжущими. Широкое использование модифицированных битумов вместо обычных обуславливается их более качественными свойствами. Полимерные битумы имеют обширный диапазон его рабочих температур, то есть разница между температурой хрупкости и температурой размягчения, до 100°С в то время, как обычные битумы, без модификаторов, имеют рабочую температуру до 60°С.

Органическое вяжущее, каковым и является битум, и определяет основные характеризующие свойства асфальтобетона, поэтому, на основании полученных результатов испытаний по модификации нефтяных битумов полимерами, было предпринято исследование основных свойств модификатора в асфальтобетоне.

Благодаря введению в массу асфальтобетона резиновой крошки либо модификации битумных вяжущих полимерными соединениями свойства асфальтобетонной смеси значительно улучшаются. Как правило, полимерные добавки не взаимодействуют химически с вяжущим материалом. Растворяясь или диспергируясь в вяжущем, в нашем случае в битуме, модификаторы способствуют упрочнению его структуры. За счёт этого полимер-битумная композиция приобретает ряд важных физико-механических свойств, которые присущи вводимым полимерам, а также устойчивость к старению.

Для модификации битумного вяжущего в производстве асфальтобетонных смесей, битумы марок БНД-90/130 и БНД-130/200 модифицировали девулканизированной резиновой крошкой термоэластопластами, содержащими в определённой пропорции СКЭПТ, СКИ-3, ПЭВД, СКИ-3 вводился в небольших количествах с целью повысить скорость растворения ТЭП, что является классом технических материалов, который прекрасно сочетает в себе внешний вид, упругость и эластичность обычной терморезиновой резины и эффективность обработки пластмасс, а перерабатываемость расплавленного ТЭП делает его очень подходящим для литья под давлением и экструзии с большими объемами, в дорожном битуме.

По комплексному анализу технических свойств более предпочтительно модификация дорожного битума БНД-90/130. При этом наиболее существенно снижается водонасыщение и повышается прочность.

На основе полимер-битумных вяжущих были разработаны и испытаны асфальтобетонные смеси в лабораторных условиях, что показало результаты, по которым мы можем сделать вывод, что применение девулканизата резиновой крошки для модифицирования битумного вяжущего показали перспективность её применения. Проблема переработки изношенных автомобильных шин и вышедших из эксплуатации резинотехнических изделий имеет большое экологическое и экономическое значение для всех развитых стран мира.

ГЛАВА 2 ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Модификатор ПОЛИЭПОР-Р

В нашей работе мы использовали для сравнительного анализа модификатор «ПОЛИЭПОР-Р» на основе активного порошка шинной резины, для «сухого» введения в асфальтобетонные смеси. Данный модификатор улучшает качества и повышает долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях интенсивного движения. Именно модификаторы на основе резиновой крошки позволяют увеличить долговечность асфальтобетонов. Также асфальтобетонные покрытия, в основе которых немодифицированный битум, не способны обеспечить нормативные сроки эксплуатации на дорогах с интенсивным движением.

Основным компонентом модификатора «Полиэпор-Р» является активный порошок дискретно девулканизированной шинной резины (АПДДР). «Полиэпор-Р» получен методом высокотемпературного сдвигового измельчения шинной крошки, способом модификации является модификация битума в процессе приготовления асфальтобетонной смеси. В производственной сфере модификатор «Полиэпор-Р» используется по патенту РФ №2612637, приоритет от 9.07.2015 «Способ получения высокодисперсного полимерного материала и устройство для его осуществления». Также данный модификатор соответствует требованиям ГОСТ Р 55419-2013 «Композиционный материал на основе активного резинового порошка, модифицирующий асфальтобетонные смеси. Технические условия» и СТО 11101543-07-2015 «Композиционный материал Полиэпор-Р на основе активного резинового порошка. Технические условия», который в свою очередь предусматривает возможность оценки эффективности Полиэпор-Р до этапа приготовления асфальтобетонной смеси.

Отличительной чертой модификаторов для «сухого» введения в асфальтобетонную смесь является его основной компонент - активный порошок дискретно девулканизированной резины, который получен в результате высокотемпературного сдвигового измельчения резины отработанных автопокрышек в специализированных установках - роторных диспергаторах. Преимущество «сухой» модификации обусловлена способностью АПДДР к быстрому распаду на микро- и нано-фрагменты при контакте с горячим битумом.

Опыт работы и применения модификатора «Полиэпор-Р» был в октябре 2015 в составе ЩМА на объекте: «Ремонт автомобильной дороги Р- 240 «Уфа-Оренбург» на участке км 16+900-км 27+000 общей площадью около 1100 м (гарантийный ремонт». Исходя из данного опыта были сделаны выводы по использованию модификатора «Полиэпор-Р»:

- ЩМА-20, модифицированная Полиэпор-Р соответствует требованиям ГОСТ 31015-2002;

- Технология производства асфальтобетонной смеси с модификатором Полиэпор-Р не отличалась от существующей технологии приготовления щебёночно-мастичной смеси асфальтобетона. Технология укладки и уплотнения дорожной одежды соответствует стандартной технологии для ЩМА;

Существует ряд рекомендаций по применению и вводу в асфальтобетонную смесь данный модификатор «Полиэпор-Р», а именно его поставляют уже в готовом виде, поэтому не требуется специальной подготовки перед его вводом в асфальтобетонную смесь. Далее «Полиэпор-Р» вводят в асфальтобетонную смесь в количестве от 8% до 15% от массы битума, а содержание модификатора и битума в свою очередь уточняется по результатам лабораторного подбора оптимального состава асфальтобетонных смесей.

Нами был выбран именно модификатор «Полиэпор-Р» исходя из его преимущественных характеристик, так как:

- Модификатор позволяет не изменять технологию приготовления асфальтобетонных смесей, а также укладки дорожных покрытий;

- Проблемы хранения и транспортировки, возникающие при использовании модифицированных вяжущих, позволяет сократить до минимума;

- Повышает низкотемпературные свойства асфальтобетонов;

- Благодаря данному модификатору увеличивается долговечность асфальтобетонных покрытий и вследствие чего снижаются межремонтные сроки;

- Повышается устойчивость асфальтобетонов к образованию колеи пластичности при введении в эксплуатацию в условиях высоких температур и больших транспортных нагрузок.

Исходя из последнего преимущества, мы можем сделать вывод, что асфальтобетоны, которые модифицированы «Полиэпор-Р» характеризуются повышенной устойчивостью к колееобразованию, прочностью и сдвигоустойчивостью, а также уменьшением хрупкости при отрицательных температурах.



Рисунок 1- Перемешивание битума БНД 90/130 с модификатором «Полиэпор-Р» перемешивающим устройством.

Таблица. 3. - Влияние «Полиэпор-Р» на характеристики асфальтобетона

Показатель	Изменение показателя при введении Полиэпор-Р	
Средняя пропорциональная глубина колеи после 20000 проходов (PRD)	уменьшение	Более 40%
Средний уклон кривой графика развития колеи на участке 5000-10000, мм/1000	уменьшение	3,3 раза
Предел прочности при сжатии при температуре 20°C и температуре 50°C	Увеличение	Более 30%
Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при температуре 50°C	Увеличение	Более 15%
Предельная относительная деформация растяжения при минус 18°C	увеличение	Более 15%

2.2 Сравнительный анализ вяжущего

Суть метода определения температуры размягчения битумов по кольцу и шару заключается в определении температуры, при которой битум, который находится в кольце заданного размера в условиях испытания размягчения, перемещается под действием стального шарика после чего касается нижней пластинки и в этот момент фиксируется на приборе температура размягчения. Данный метод является одним из главных для определения физико-механических свойств марок битумов.

Дуктильность (растяжимость) битумов - это показатель, который характеризует способность битумной смеси, при нормальных условиях (25°C), вытягиваться нить. Параметр дуктильности измеряется следующим образом: для проведения испытания берётся специально подготовленный образец битума, который заливается в формы-восьмёрки. Для точных результатов берутся три формы. Далее образец подвергается растягиванию с заданной линейной скоростью и при определенном температурном показателе (25°C). Температуру необходимо поддерживать на протяжении всего испытания. Растяжение происходит с помощью синхронного механизма, растягивающий битум с постоянной скоростью 0,25 и 5 см/мин.

Специальный датчик перемещения показывает положение шкалы на линейной градуированной шкале.



Рисунок 2 - Определение растяжимости вяжущего при помощи дуктилометра.

Температура хрупкости - это температура, при которой материал разрушается под действием кратковременно приложенной нагрузки. Температура хрупкости характеризует поведение битума в дорожном покрытии, т.е. чем она ниже, тем выше качество дорожного битума. Окисленные битумы имеют более низкую температуру хрупкости, чем другие битумы той же пенетрации. Температура хрупкости дорожных битумов обычно находится в диапазоне от -2 до -40°C .

Пенетрация- показатель, который характеризует глубину проникания иглы в полужидкие и полутвёрдые продукты (вяжущее). Пенетрацию определяют пенетрометром, за единицу пенетрации принята глубина проникания иглы на $0,1$ мм. Пенетрация дорожных нефтяных битумов различных марок при 25°C , нагрузке 100Г , в течении 5 секунд составляет $40-300 \cdot 0,1$ мм, а при 0°C , нагрузке 200Г , в течении 60 секунд - от 13 до $50 \cdot 0,1$ мм. Таким образом, в зависимости от температуры, нагрузки и длительности проникания иглы значение пенетрации существенно изменяется.

На рисунке 3 представлена подготовка образцов вяжущего к проведению испытаний.



Рисунок 3 - Подготовка образцов вяжущего к проведению испытаний.

Таблица 4 - Сравнительный анализ по результатам испытания вяжущих.

№	Наименование показателя	Битум БНД 90/130	Битум БНД 90/130 с модификатором «Полиэпор-Р»	ПБВ (60-90)
1	Растяжимость (дуктильность), см	35	6,9	79
2	Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	106	161	98
3	Температура хрупкости, °C	-33,4	-28,3	-30,2
4	Температура размягчения по кольцу	78,1	84,3	67

Из сравнительного анализа делаем вывод, что наиболее высокий результат у битума БНД 90/130 с модификатором «Полиэпор-Р», где показатель пенетрации и показатель температуры размягчения по кольцу и шару сравнительно выше, чем те же показатели у битума БНД 90/130 без добавок и ПБВ, что характеризует твёрдость данного материала, а также жёсткость при различных нагрузках. В то же время показатель дуктильности наиболее высокий у ПБВ, где показатель составляет 79 см. Несмотря на качественные характеристики битума БНД 90/130 с добавками, температура

хрупкости значительно ниже остальных образцов, что говорит о его устойчивости к перепадам довольно низких температур.

2.2.1 Асфальтобетонная смесь

Асфальтобетон - это строительный материал, полученный в результате уплотнения специально приготовленной смеси, в состав которой входит щебень (гравий), песок, минеральный порошок и органическое вяжущее, взятые в определённых соотношениях.

Требования к свойствам асфальтобетона и составляющих материалов были разработаны в 1932 г. [15]. Первые технические условия на асфальтобетон были разработаны Центральным институтом автомобильного транспорта, а затем были переработаны в Технические правила ГУШОСДОРА. Первый государственный стандарт (ГОСТ 9128-59), был утверждён в 1959 г. В настоящее время действует ГОСТ 9128-97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия» [3].

На стадии разработки проекта строительства, реконструкции или ремонта автомобильной дороги или улицы определяют асфальтобетон определённой разновидности конкретно для каждого слоя дорожной одежды в зависимости от интенсивного движения, климатических условий, характеристики участков дорог и т.п.

В верхних слоях дорожных одежд используют исключительно плотные, высокоплотные и щебёночно-мастичные асфальтобетоны, а нижние слои устраивают как из плотного, так и из пористого и высокопористого асфальтобетонов.

Состав асфальтобетонной смеси подбирают по заданию (рецепту), составленному на основании проекта автомобильной дороги. В этом задании указывается вид, тип и марка асфальтобетонной смеси, а также конструктивный слой дорожной одежды, для которого она предназначена [13].



Рисунок 4 - Минеральная часть асфальтобетонной смеси в лабораторном смесителе.



Рисунок 5 - Полученная асфальтобетонная смесь в лабораторном смесителе.

Готовую асфальтобетонную смесь получаем путем перемешивания щебня, отсева дробления, минерального порошка и вяжущего в лабораторном смесителе.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Подбор состава асфальтобетонной смеси

Подбор асфальтобетонной смеси включает в себя следующие этапы:

- испытание исходных материалов;
- выбор материалов по результатам испытания исходных материалов;
- установление оптимального соотношения минеральных материалов в соответствии с требованиями нормативных документов;
- назначение примерного содержания вяжущего;
- приготовление и испытание пробной смеси;
- При необходимости корректировка состава смеси;
- приготовление смеси скорректированного состава;
- испытание смеси с определением всех показателей, предусмотренных нормативно-техническими документами.

Одним из главных факторов, который обеспечивает требуемое качество асфальтобетона, является зерновой состав минеральной части. Правильно подобранный зерновой состав обеспечивает оптимальную плотность асфальтобетона, а отсюда долговечность [13].

Определение и подбор оптимального состава асфальтобетонной смеси и всех исходных материалов обеспечивает получение строительного дорожного полотна высокого качества. Для этого проводят испытания асфальтобетона, чтобы оценить его характеристики по сдвигоустойчивости, трещиностойкости, влагостойкости, износостойкости и устойчивости к старению.

Асфальтобетонная смесь в зависимости от содержания щебня может быть «каркасной» (при содержании щебня более 45%) или «бескаркасной» [8].

При использовании в песчаном асфальтобетоне отсевов дробления также образоваться каркас, хотя и менее жесткий, который формируется из дробленых зерен, содержащихся в отсеве дробления.

При подборе зернового состава асфальтобетонной смеси с отсевами дробления следует учитывать содержащиеся в нем зерна мельче 0,071 мм, которые могут быть использованы в качестве минерального порошка.

Минеральный порошок в асфальтобетоне выполняет следующие функции:

- способствует созданию плотного минерального остова;
- структурирует (наполняет) битум;
- обеспечивает адгезионные связи в асфальтобетоне.

Чтобы обеспечить прочность и сдвигоустойчивость «бескаркасного» и песчаного асфальтобетона рекомендуется повышать вязкость применяемого битума и увеличивать содержание минерального порошка. [13,53]



Рисунок 6 - Разделение щебня на фракции методом просеивания

В таблице 5 представлен состав асфальтобетонной смеси горячей мелкозернистой плотной типа А, марки I.

№ п/п	Наименование материалов с указанием производителя	Содер жани е %	Содержание зерен мельче данного размера, мм, в % по массе										
			40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,07
1	Щебень фр. 10-20 мм к-р «Кордон»	26,0	26,0	25,2	14,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Щебень фр. 5-10 мм к-р «Кордон»	32,0	32,0	32,0	32,0	31,4	6,4	1,0	0,6	0,5	0,4	0,3	0,0
3	Песок из отвесов дробления фр. 0-5 мм к-р	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	35,3	23,6	18,2	12,2	8,7	5,3	0,4
4	Минеральный порошок «ХМЗ»	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9
ИТОГО		100,0	100,0	99,2	88,0	74,4	45,7	28,6	22,8	16,7	13,1	9,5	4,3
Требования ГОСТ 9128-2013 к составу смеси			90-100	90-100	75-100	62-100	40-50	28-38	20-28	14-20	10-16	6-12	4-10

По ГОСТ 12801-98 "Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний" проводятся испытание асфальтобетона на определение свойств водонасыщения средней плотности.

Сущность метода испытания на средней плотности заключается в определении плотности асфальтобетона с учетом имеющихся в нем пор на образцах, приготовленных в лаборатории из смеси, или на образцах-вырубках (кернах) из покрытия (основания). В данном случае испытания были проведены в лабораторных условиях, которые приготовленные из асфальтобетонной смеси. Для начала образцы взвешиваются на воздухе при комнатной температуре, затем образцы помещают в воду на 30 минут при температуре $(20\pm 2)^\circ\text{C}$, после этого образцы взвешивают в воде, температура которой должна быть так же $(20\pm 2)^\circ\text{C}$, а затем повторно взвешивают на воздухе, предварительно образцы вытирают.

Среднюю плотность образца определяют по формуле (1) с погрешностью $0,01 \text{ г/см}^3$

$$\frac{g}{g_2 - g_1} \quad (1)$$

g_0 - масса образца, взвешенного на воздухе, г;

g_1 - масса образца, выдержанного в воде 30 минут, а затем взвешенного на воздухе, г;

g_2 - масса образца, выдержанного в воде 30 минут, а затем взвешенного в воде, г;

Истинная плотность воды равна 1 г/см^3

Среднюю плотность принимают среднеарифметическое значение результатов определений плотности трёх образцов, расхождение между которыми не должно превышать $0,02 \text{ г/см}^3$.

За величину водонасыщения образцов асфальтобетона принимают количество воды, поглощенное образцом при заданном режиме насыщения.

Водонасыщение определяют на образцах, приготовленных в лаборатории из смеси, или на образцах-вырубках (кернах) из покрытия (основания). В данном случае испытания были проведены в лабораторных условиях, которые приготовленные из асфальтобетонной смеси, образцы цилиндрической формы. Образцы из смесей, которые взвешены на воздухе и в воде по испытанию на определение средней плотности, помещают в сосуд с водой температурой $(20\pm 2)^\circ\text{C}$, при этом уровень воды над испытываемыми образцами должен быть не менее 3 см.

Сосуд с образцами цилиндрической формы устанавливают в вакуумную установку, где создают и поддерживают давление не более 2000 Па (15 мм рт. Ст.) в течении 1 часа (при испытании образцов из смесей с жидким и эмульгированным вяжущими). Затем давление доводят до атмосферного и образцы, которые испытывают, находясь в том же сосуде с водой с температурой $(20\pm 2)^\circ\text{C}$, выдерживают в течении 30 минут. После чего образцы достают из сосуда, обтирают мягкой тканью и взвешивают на воздухе.

Водонасыщение образца определяют по формуле (2) для смесей

$$\Delta = \frac{g_5 - g_1}{g_2 - g_1} \quad (2)$$

g_0 - масса образца, взвешенного на воздухе, г;

g_1 - масса образца, взвешенного в воде, г;

g_2 - масса образца, выдержанного в воде 30 минут, а затем взвешенного на воздухе, г;

g_5 - масса насыщенного водой образца, а затем взвешенного на воздухе, г.

За результат определения водонасыщения принимают округленное до первого десятичного знака среднеарифметическое значение трёх определений.

В данной работе проведены испытания с образцами цилиндрической формы из асфальтобетонной смеси, в составе которой битум 4,5%, модифицированный битум (4,5% с 10% добавки) и с добавкой ПБВ.

Таблица 6 - Переформованный образец с добавлением битума 4,5%

№ образца	g ₀	g ₁	g ₂	g ₃	%	W	G
1	679,21	681,85	409,55	686,55	272,30	2,70	2,49
2	682,20	684,43	409,75	689,70	274,68	2,73	2,48
3	680,96	683,70	411,43	687,92	272,27	2,56	2,50
						2,70	2,49

Таблица 7 - Переформованный образец на модифицированном битуме (4,5% с 10% добавки)

№ образца	g ₀	g ₁	g ₂	g ₃	%	W	G
1	679,76	684,86	408,94	275,92	4,93	4,93	2,46
2	679,01	684,73	410,62	274,11	4,16	4,16	2,48
3	678,04	683,33	408,92	274,41	4,77	4,77	2,47
						4,60	2,47

Таблица 8 - Переформованный образец с добавкой ПБВ

№ образца	g ₀	g ₁	g ₂	g ₃	%	W	G
1	679,19	680,68	409,63	683,55	271,05	1,61	2,51
2	670,76	673,95	406,54	676,54	267,41	2,16	2,51
3	664,00	666,37	400,78	669,90	265,59	2,22	2,50
						2,0	2,51

По ГОСТ 9128-2013

«Смеси асфальтобетонные,

полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия» водонасыщение, для асфальтобетонной смеси типа А марки I, находится в диапазоне от 1,5 до 5,0%. В то время как средняя плотность нормируется по рецепту.

Исходя из выше представленных таблиц, можно сделать вывод по результату, что образцы, в основе которых битум 4,5% с добавлением ПБВ более прочный (средняя плотность равна 2,51г/см³) и имеет наиболее низкий показатель по водонасыщению (2,0), что характеризует о том, что данные образцы не окажутся переувлажненными и в результате многократного замораживания и оттаивания в холодный период не будут подвержены разрушению, а значит данные образцы из асфальтобетонной смеси с добавлением ПБВ имеют более высокий срок службы.

Щебень добыча и производство

Щебень представляет собой сыпучий материал, получаемый путем дробления и сортировки горных пород, в редких случаях минералов, отходов металлургической промышленности или строительства, представляет собой камни (фракции) различных размеров. В зависимости от типа исходного сырья различается процесс производства, состав и характеристики щебня. Сырье природного происхождения требует добычи, которая может осуществляться в соответствии с различными технологиями (способами) и с применением целого спектра оборудования.

Виды щебня возможно классифицировать в соответствии с различными критериями. Происхождение щебня позволяет выделить значительное количество разновидностей, некоторые вызывают повышенный интерес:

- гранитный;
- гравийный;
- доломитовый;
- известняковый;
- мраморный;
- шлаковый;
- пеностекольный;
- керамзитовый и аглопоритовый, которые похоже визуально, но различаются свойствами;
- базальтовый;

- кварцевый и сланцевый.

В соответствии с типом постобработки, после производства материал может быть подвержен дополнительной обработке, различают черный, цветной, мытый, галтованный. Всем видам присущи представленные далее характеристики, но каждый обладает собственными определенными показателями, величинами, которые и определяют сферы применения.

Определение зернового состава щебня:

Зерновой состав крупного заполнителя (щебня или гравия) в значительной мере влияет на качество приготовленного на нём асфальтобетона. При выборе зернового состава крупного заполнителя для асфальтобетона необходимо исходить из основного требования: получить наименьший объём пустот в крупном заполнителе, а, следовательно, наименьший расход вяжущего.

В зависимости от размера зерен щебень (гравий) подразделяют на следующие фракции: 5-10, 10-20, 20-40 и 40-70 мм. В каждой фракции гравия или щебня должны быть зерна всех размеров: от наибольшего до наименьшего для данной фракции.

Зерновой состав непромытого нефракционированного щебня (гравия) определяют просеиванием.

В данном случае крупный заполнитель высушивают до постоянной массы. Просеиванием разделяем с помощью сит смеси твёрдых частиц различных размеров на фракции, путём просеивания через сита (грохоты). Для каждой смеси мы берём набор сит (20, 15, 10, 5, 2,5, 1,25, 0,63, 0,315, 0,16, 0,075).

Далее вычисляют частные остатки на каждом сите, % к суммарной массе просеянной пробы по формуле 3:

$$Щ = \frac{(m_i - 100)}{100}$$

где - масса остатка на i-ом сите, кг; m - сумма частных остатков на всех ситах, кг.

Методом просеивания разделяем с помощью сит смеси твёрдых частиц различных размеров на фракции, путём просеивания через сита (грохоты). Для данной смеси мы берём набор сит (20, 15, 10, 5, 2,5, 1,25, 0,63, 0,315, 0,16, 0,071).



Рисунок 7 - Разделение щебня на фракции методом просеивания

Таблица 9 - Смесь фракции 10-20

Сито	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Остаток в % по массе	97	54	5	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 10 - Смесь фракции 5-10

Сито	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Остаток в % по массе	100	99	97	19	3	2	1,5	1,2	1	0

Таблица 11- Смесь фракции 0-5 (отсев от дробления)

Сито	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Остаток в % по массе	100	100	99	92	61	48	32	23	14	1

3.1.2 Испытания на физико-механические свойства асфальтобетона.

Для сравнения прочностных характеристик асфальтобетона проводились стандартные испытания по ГОСТ 12801-98. Образцы изготавливаются из

асфальтобетонной смеси с помощью пресса. Образцы изготавливаются цилиндрической формы высотой диаметром 71,4 мм.

Из данного ГОСТа мы брали испытания такие как: Предел прочности при сжатии, при температуре 20°C для асфальтобетонов, Предел прочности при сжатии, при температуре 0°C для асфальтобетонов, предел прочности при сжатии, при температуре 50°C, трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0°C и скорости деформирования 50 мм/мин для асфальтобетонов, предел прочности на растяжение при изгибе, при температуре 50°C и предел прочности при одноосном сжатии при температуре 0°C.

Предел прочности при сжатии при температуре 0°C, 20°C и 50°C определяется путём помещения образцов под пресс, который оказывает давление, поступательно увеличиваясь до значения, при котором и происходит разрушение образцов. Максимальный показатель измерителя - это и есть разрушающая нагрузка. Суть метода заключается в расчёте нагрузки, которая оказывается на образец вплоть до его разрушения.

Предел прочности на сжатие при водонасыщении при температуре 20°C испытывается после выдерживания образцов в воде температурой в 20°C. После водонасыщения образец помещают на установку для сжатия и поступает постепенно нагрузка до разрушения образца.

Испытание предела прочности при расколе происходит путём сжатия образца, который помещают в центр нижней плиты пресса на боковую поверхность. Далее опускают верхнюю плиту гидравлического пресса, и поступательно происходит нагружение до появления трещины в образце, что показывает разрушающую нагрузку. Скорость нагружения составляет 50 ± 1 мм/мин.

Характеристику сдвигоустойчивости образца определяют так же путём сжатия образца. В данном методе используют специальную цилиндрическую установку в виде двух одинаковых частей толстостенной обоймы, имеющих радиус испытываемого образца (устройство по схеме Маршалла). Перед

проведением испытания образцы термостатируют в воде температурой $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ в течении 1 часа. После выдерживания образцов в воде, его помещают на устройство по схеме Маршалла. Верхняя плита прессы должна находиться на расстоянии 5-10 мм от верха образца или от верхней части обжимного устройства. После этого включают электродвигатель прессы и начинают нагружать образец методом постепенного увеличения нагрузки. В процессе испытания образца фиксируют максимальное показание силоизмерителя, которое принимают за разрушающую нагрузку. Одновременно с помощью индикатора перемещений замеряют предельную деформацию, соответствующую разрушающей нагрузке или началу стадии текучести, и время нагружения образца по секундомеру. Допускается определять предельную деформацию по произведению постоянной скорости деформирования на время нагружения образца. [2]



Рисунок 8 - Образец после испытания на определение сдвигоустойчивости по схеме Маршалла

В таблицах 12 и 12.1 представлены полученные значения асфальтобетонной смеси с модифицирующей добавкой «Полиэпор-Р» после испытаний на данные показатели.

Таблица 12 - Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси с модификатором.

Номер образ	Разрушающая нагрузка Р, Н	Площадь поперечного сечения с 2	Высота образца h, см	Диаметр образца d, см	Предел прочности при сжатии Я, МПа	Среднее значение R, МПа
Определение предела прочности при сжатии при 0 °С						
1	24890	39,57	7,1	7,1	6,3	6,5
2	25990	39,57	7,1	7,1	6,6	
3	26170	39,57	7,1	7,1	6,6	
Определение предела прочности при сжатии при 20 °С						
1	16530	39,57	7,1	7,1	4,2	3,7
2	14580	39,57	7,1	7,1	3,7	
3	13380	39,57	7,1	7,1	3,4	
Определение предела прочности при сжатии при водонасыщении при 20 °С						
1	19100	39,57	7,1	7,1	4,8	4,6
2	18350	39,57	7,1	7,1	4,6	
3	16890	39,57	7,1	7,1	4,3	
Определение предела прочности при сжатии при 50 °С						
7	8485	39,57	7,1	7,1	2,1	1,8
8	7022	39,57	7,1	7,1	1,8	
9	6392	39,57	7,1	7,1	1,6	
Определение предела прочности на растяжение при расколе при 0 °С						
10	15540	-	7,1	7,1	3,1	3,2
11	15800	-	7,1	7,1	3,1	
12	16950	-	7,1	7,1	3,4	

Таблица 12.1 - Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси с модификатором.

Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, Н	Работа А, Дж	Предельная деформация 1, мм	Среднее значение А, Дж	Коэффициент внутреннего	Сцепление при сдвиге С, МПа
Определение предела прочности при одноосном сжатии при 50 °С					1,0	0,31
16	1041	0,22	0,43	0,39		
17	1221	0,38	0,62			
18	1129	0,57	1,01			
Определение предела прочности по схеме Маршалла при 50 °С						
19	24,47	45,15	3,69	47,43		
20	23,40	45,05	3,85			
21	23,12	49,82	4,31			

Ниже в таблицах 13 и 13.1 представлены результаты испытаний на физико-механические свойства асфальтобетонной смеси (битум 4,5%).

Таблица 13- Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси

Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, Н	Площадь поперечного сечения с 2 S, см	Высота образца h, см	Диаметр образца d, см	Предел прочности при сжатии Я, МПа	Среднее значение R, МПа
Определение предела прочности при сжатии при 0 °С						
4	18600	39,57	7,1	7,1	4,7	4,5
5	16780	39,57	7,1	7,1	4,2	
6	18450	39,57	7,1	7,1	4,7	
Определение предела прочности при сжатии при 20 °С						
1	11670	39,57	7,1	7,1	2,9	3,3
2	12630	39,57	7,1	7,1	3,2	
3	14370	39,57	7,1	7,1	3,6	

Продолжение таблицы 13

Определение предела прочности при сжатии при водонасыщении при 20 °С

7	19100	39,57	7,1	7,1	4,8	
8	18350	39,57	7,1	7,1	4,6	
9	16890	39,57	7,1	7,1	4,3	
Определение предела прочности при сжатии при 50 °С						
7	1288	39,57	7,1	7,1	0,3	0,3
8	1404	39,57	7,1	7,1	0,4	
9	1356	39,57	7,1	7,1	0,3	
Определение предела прочности на растяжение при расколе при 0 °С						
13	16210	39,57	7,1	7,1	3,2	3,3
14	15020	39,57	7,1	7,1	3,0	
15	18760	39,57	7,1	7,1	3,7	

Таблица 13.1 - Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси

Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, Н	Работа А, Дж	Предельная деформация 1, мм	Среднее значение А, Дж	Коэффициент внутреннего	Сцепление при сдвиге С, МПа	
Определение предела прочности при одноосном сжатии при 50 °С						0,99	0,38
16	8712	3,14	0,72	0,99			
17	8787	3,03	0,69				
18	7655	1,91	0,5				
Определение предела прочности по схеме Маршалла при 50 °С						0,99	0,38
19	23,54	69,56	5,91	65,74			
20	21,16	46,45	4,39				
21	26,49	85,03	6,42				

Далее в таблицах 14 и 14.1 представлены результаты испытаний по физико-механическим характеристикам асфальтобетонной смеси с полимер-битумным вяжущим.

Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, Н	Площадь поперечного сечения S , см ²	Высота образца h , см	Диаметр образца d , см	Предел прочности при сжатии Я, МПа	Среднее значение R , МПа
Определение предела прочности при сжатии при 0 °С						
4	22890	39,57	7,1	7,1	5,8	5,9
5	25290	39,57	7,1	7,1	6,4	
6	22250	39,57	7,1	7,1	5,6	
Определение предела прочности при сжатии при 20 °С						
7	10990	39,57	7,1	7,1	2,8	2,6
8	10270	39,57	7,1	7,1	2,6	
9	95850	39,57	7,1	7,1	2,4	
Определение предела прочности при сжатии при водонасыщении при 20 °С						
1	14220	39,57	7,1	7,1	3,6	3,5
2	13920	39,57	7,1	7,1	3,5	
3	12850	39,57	7,1	7,1	3,2	
Определение предела прочности при сжатии при 50 °С						
10	5639	39,57	7,1	7,1	1,4	1,7
11	7746	39,57	7,1	7,1	2,0	
12	6610	39,57	7,1	7,1	1,7	
Определение предела прочности на растяжение при расколе при 0 °С						
13	14700	39,57	-	7,1	2,9	3,0
14	12680	39,57	-	7,1	2,5	
15	17550	39,57	-	7,1	3,5	

Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, Н	Работа А, Дж	Пределная деформация 1, мм	Среднее значение А, Дж	Коэффициент внутреннего	Сцепление при сдвиге С, МПа
Определение предела прочности при одноосном сжатии при 50 °С					1,0	0,31
16	990	0,53	1,07	0,60		
17	939	0,41	0,88			
18	954	0,87	1,82			
Определение предела прочности по схеме Маршалла при 50 °С						
19	24,47	86,62	7,08	48,76		
20	23,40	44,93	3,84			
21	23,12	52,60	4,55			

3.2 Испытание асфальтобетонной смеси на колееобразование

3.2.1 Понятие колееобразования

Помимо основных дефектов на автомобильных дорогах таких как выбоины и трещины, существует так же образование колеености, что является одним из самых распространённым дефектом дорожного покрытия, возникающего в процессе его эксплуатации. В следствии чего возникают ряд проблем на автомобильных дорогах, таких как: снижение комфортного проезда для водителей, а также снижение безопасности движения и как следствие, образование колеености затрудняет сток воды с поверхности покрытия, что провоцирует дальнейшее разрушение дорожного покрытия.

Ровность покрытия автомобильной дороги - один из главных факторов безопасности движения. Однако в процессе эксплуатации дороги на ней неизбежно появляется колея, препятствующая безопасному движению.

Причина образования колеяности объясняется процессами накопления остаточных деформаций в слоях дорожной одежды и в верхнем дорожном слое полотна. Второй и основной причиной является износ верхнего слоя покрытия в следствии совместного воздействия износа и преждевременного ненормированного разрушения слоя асфальтобетона под влиянием внешних факторов, а так же к ним относятся следующие причины:

1. Нарушение технологии строительства автомобильных дорог.

Влияние на прочность верхних слоев асфальтобетонного покрытия оказывает качество подготовленного под асфальт основания. К ним относятся [земляные работы](#), работы по подготовке песчано-щебеночного основания и прочие виды работ. Также качественное уплотнение песчанощебеночного и естественного основания, выдержка необходимых пропорций компонентов согласно нормативных документов, СНиП, ГОСТ, соблюдение технологии укладки.

Проектная документация по строительству автомобильных дорог должна разрабатываться с учетом климатических, ландшафтных и иных особенностей местности. Также, важно учитывать категорию и пропускную способность дорог.

2. Низкое качество материалов, используемых для строительства дорог.

Важную роль в качестве асфальтобетонного покрытия играют материалы, применяемые при строительстве дорожной одежды. Если они не соответствуют необходимым техническим параметрам, происходит ускоренная деформация дорожной одежды. В результате на дорожном полотне могут наблюдаться выбоины, трещины, выкрашивания, пучины, просадки, колеи, а также обрушение обочин. Многие деформации устраняет [ямочный ремонт](#), который

3. Разуплотнение конструкции дорожной одежды.

Разуплотнение конструкции дорожной одежды может наблюдаться в нескольких случаях:

- Попадание осадков в дорожную одежду;
- Производство земляных работ близ конструкции дорожной одежды.

4. Неправильная эксплуатация дорог.

На дорогах недопустимо:

Нарушение весового контроля. Перегруз грузовых автомобилей негативно сказывается на асфальтобетонном покрытии дорог;

Нарушение сроков планового ремонта. Попадание осадков через трещины и ямы приводит к разуплотнению конструкции дорожной одежды;

Нарушение условий зимнего содержания дорог. При некачественном обслуживании дорог в зимнее время, на дорогах появляется наледь, вследствие чего увеличивается нагрузка на определенный участок дороги и появляется колея.

5. Климатические аспекты.

Чрезмерная жара либо, напротив, морозы, способны серьезно повлиять на структуру дорожной одежды. Осадки, изменение ландшафта, грунтовые воды и многие другие аспекты природных явлений способны повлиять на качество дорожного полотна.

В реальных условиях эксплуатации автомобильной дороги все эти факторы действуют еще и совместно, и в существенной степени влияют на безопасность движения. Но их необходимо разделять не только для того, чтобы понимать причины образования колеи, но и для того, чтобы знать, как с этой колеи бороться.

Полностью избавиться от пластических деформаций невозможно. Даже если учесть все воздействующие факторы, невозможно изменить существующую природу материала. Любой асфальтобетон по своей сути

является упруго-вязким пластичным материалом, который имеет все проявления, свойственные этой категории материала: усталость восприятия нагрузки, перераспределение основного каркасного материала - щебня, который находится в составе асфальтобетона, поскольку основным элементом асфальтобетона является дисперсная структура асфальтовяжущая, придающая ему свойства упруго-вязкопластического тела. Асфальтобетон это не упругое тело, он будет накапливать остаточные деформации по мере нагрузки. Отличие заключается лишь в том, что упруго-пластические свойства и свойства накопления остаточной деформации асфальтобетона находятся в некоторой зависимости от температуры.

3.2.3 Проведение и подготовка испытания на определение стойкости к колееобразованию

Для данного испытания использовалось оборудование:

[Катковый секторный уплотнитель для приготовления а/б образцов по ПНСТ 185-2016 \(EN 12697-33\)](#). Он предназначен для изготовления образцов асфальта по EN 12697-33 различных размеров, высотой 40..120 мм. Горячая асфальтобетонная смесь загружается в уплотняющую форму машины, где посредством воздействия сектора, под определенной нагрузкой имитируется уплотняющее воздействие дорожных катков, тем самым формируется образец уплотненного асфальтобетона, максимально приближенный к уплотнению на дороге в условиях реальных дорожных работ.

[Оборудование для испытания на колееобразование асфальтобетона по ПНСТ 181-2016 \(EN 12697-22 \(процедуры А и В\) и AASHTO T324\)](#). Установка для проведения испытаний асфальтобетонных образцов на устойчивость к образованию колеи.

Сущность метода заключается в прокатывании нагруженного колеса по испытываемому образцу при требуемой температуре и определении глубины колеи после 10 000 циклов нагрузки (20 000 прокатываний) или до достижения предельного значения.

Требования к условиям испытания

При выполнении испытания соблюдают следующие условия для помещений, в которых испытываются образцы: - температура $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$; - относительная влажность не более 80 %.

Подготовка к выполнению испытания

При подготовке к выполнению испытания осуществляют следующие операции: - отбор вырубков или приготовление образцов-плит; - измерение толщины испытуемого образца; - закрепление испытуемого образца; - термостатирование

Отбор вырубков (керна) или приготовление образцов-плит
Приготовление образцов-плит осуществляют в соответствии с ГОСТ Р 58406.4. Для испытания необходимо подготовить не менее двух испытуемых образцов из одной асфальтобетонной смеси. Допускается проводить испытание на образцах, приготовленных в соответствии с ГОСТ Р 58401.13. При этом образцы должны быть уплотнены до проектного ГОСТ Р 58406.3 - 2020 6 содержания воздушных пустот, с учетом предельно допустимых отклонений от рецепта смеси по показателю «содержание воздушных пустот».

Перед испытанием образцы-плиты и образцы, приготовленные в соответствии с ГОСТ Р 58401.13 следует выдержать на воздухе не менее 24 ч при температуре $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$, но не более 72 ч

Определение пропорциональной глубины колеи

Пропорциональную глубину колеи PRD, %, вычисляют по формуле 4:

$$PRD = \frac{r_{п}}{h_{ср}} 100 \quad (4)$$

где RD - глубина колеи при определенном количестве прокатываний, мм;

$h_{ср}$ - фактическая толщина испытуемого образца, мм.

Значение пропорциональной глубины колеи записывают с точностью до 0,1 %. Если расхождение между результатами параллельных определений превышает 0,5 %, то испытания необходимо повторить.

Определение угла наклона кривой колееобразования Угол наклона кривой колееобразования WTS, мм/1000 циклов, вычисляют по формуле 5:

$$WTS = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{1000} \quad (5)$$

где d_{10000} — средняя глубина колеи после 10 000 циклов нагружения, мм;

d_{5000} — средняя глубина колеи после 5000 циклов нагружения, мм.

В случае если глубина колеи составила более 15 мм и количество циклов составило менее 10 000, то угол наклона кривой не определяют.

В лабораторных условиях были изготовлены три образца-плиты из асфальтобетонной смеси, в составе которых битум 4,5%, битум с модификатором «Полиэпор-Р» и битум с добавлением ПБВ. Все технические условия соблюдены, результаты для сравнительного анализа были получены.



Рисунок 9 - Образец-плита из асфальтобетонной смеси с битумом 4,5% после испытания на колееобразование (вид сбоку)



Рисунок 10 - Образец-плита из асфальтобетонной смеси с битумом 4,5% после испытания на колееобразование (вид сверху)



Рисунок 11 - Образец-плита из асфальтобетонной смеси с ПБВ после испытания на колееобразование (вид сбоку)



Рисунок 12 - Образец-плита из асфальтобетонной смеси с ПБВ после испытания на колееобразование (вид сверху)



Рисунок 13- Образец-плита из асфальтобетонной смеси с модификатором «Полиэпор-Р» после испытания на колееобразование (в установке)

Результаты испытания на колееобразование представлены в виде графиков, изображенных на рисунках.

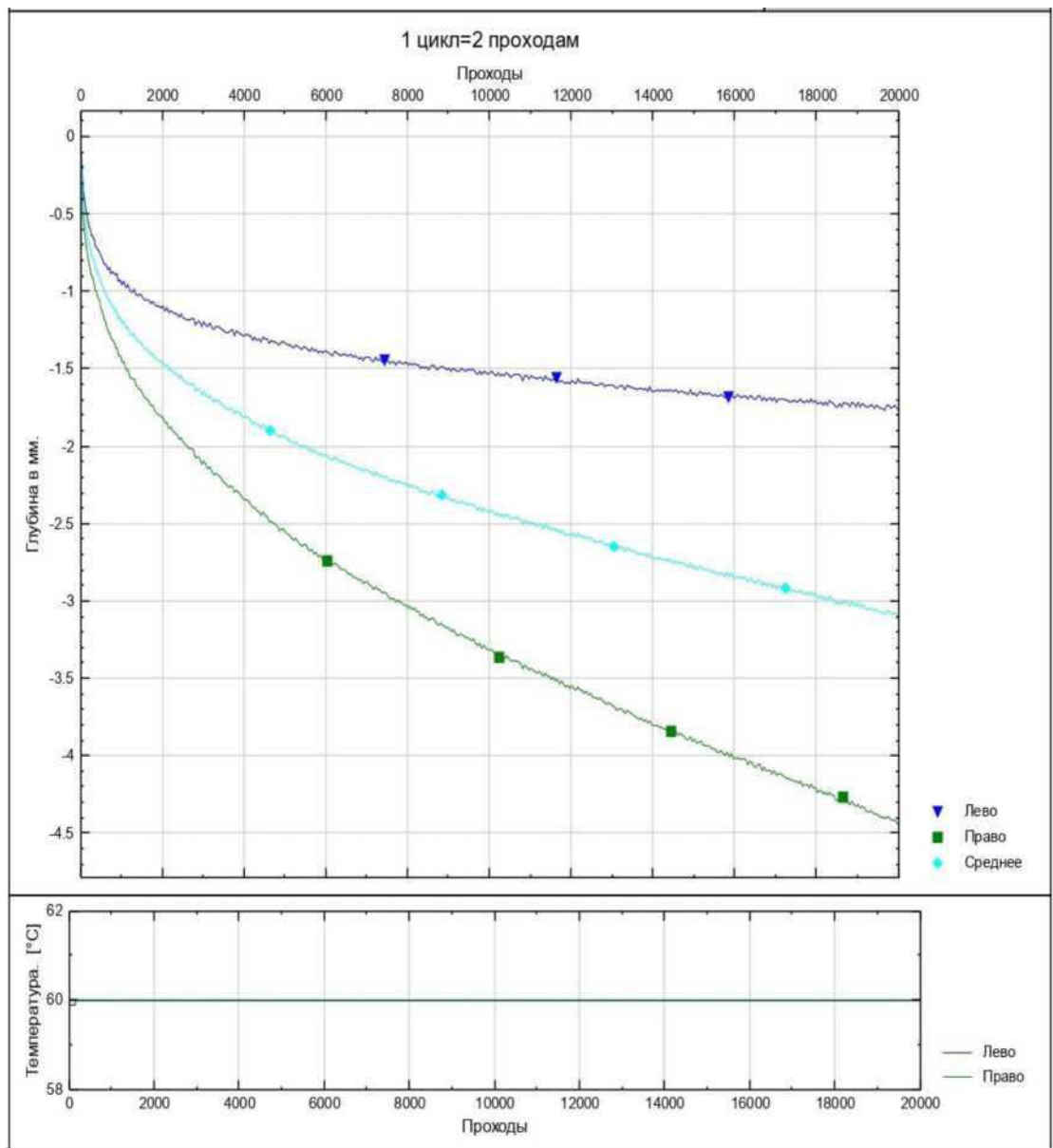


Рисунок 14 – График прохода колёс по циклам (зелёный – битум 4,5%, синий битум 4,5% с модификатором «Полиэпор-Р»)

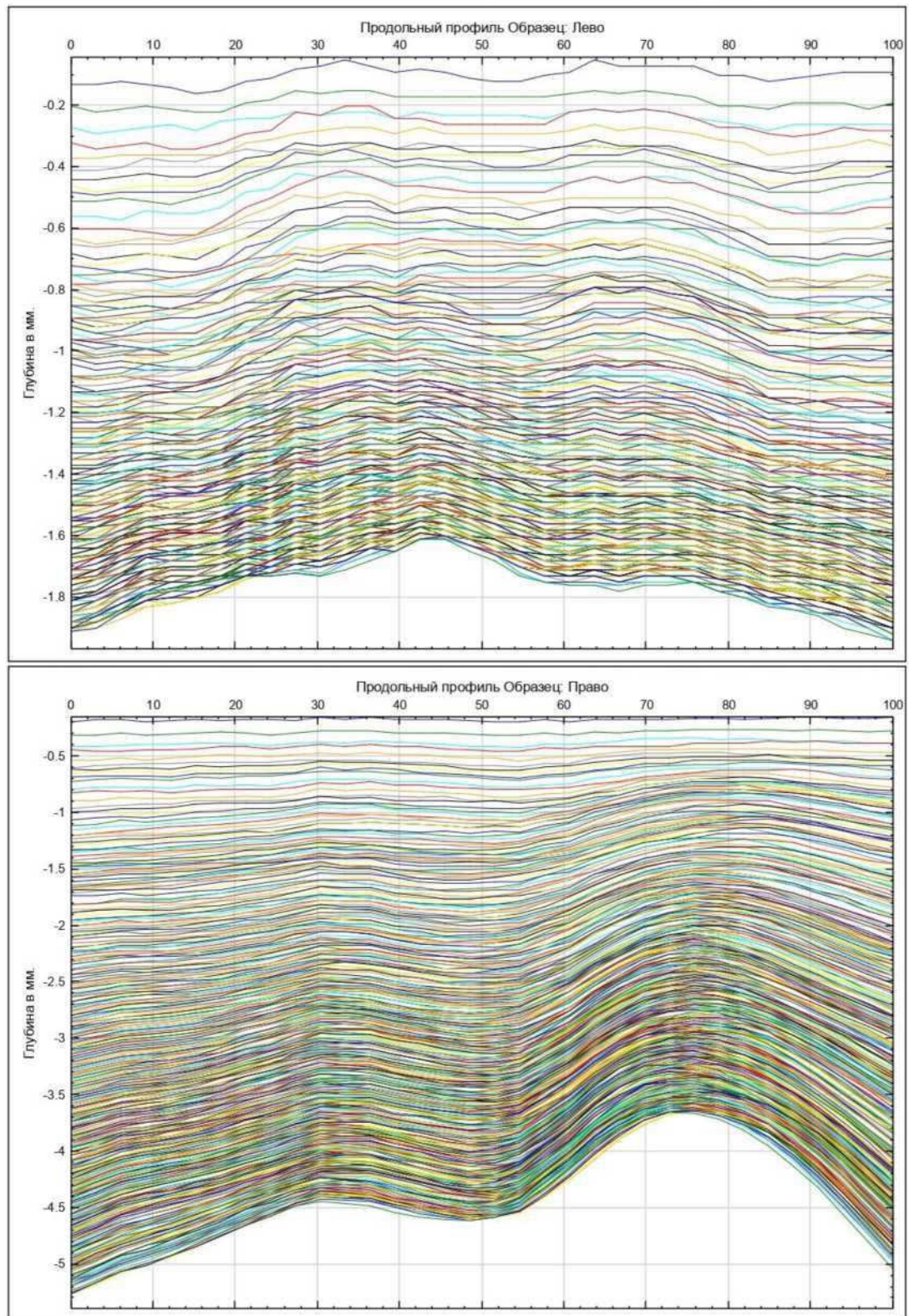


Рисунок 15 - Продольный профиль (право - битум 4,5%, лево - битум 4,5% с модификатором «Полиэпор-Р»)

Образец	Глубина колеи	Среднее значение	диапазон
	[mm]	[mm]	[mm]
Лево	-1.76	-3.10	2.68
Право	4.44		

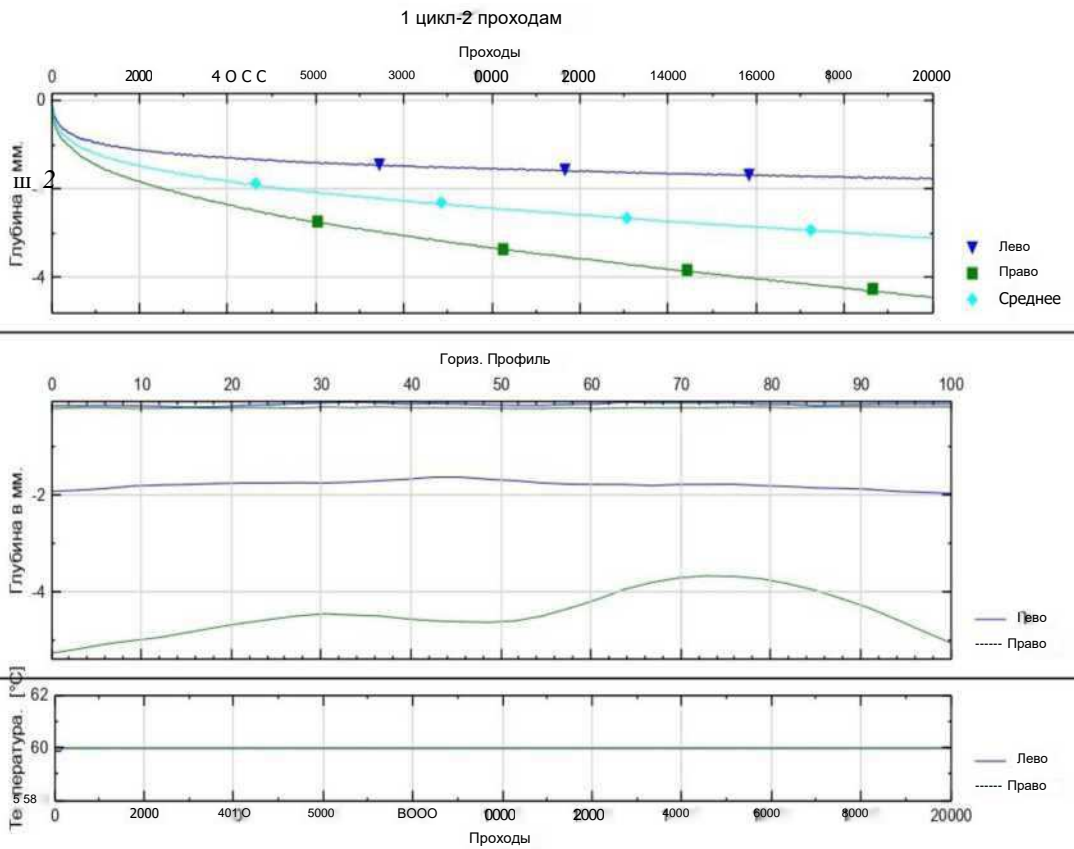


Рисунок 16 - Горизонтальный профиль (зелёный - битум 4,5%, синий - битум 4,5% с модификатором «Полиэпор-Р»)

Образец	Скорость прохода колес [цт/цикл]	Среднее Скорость прохода колес [рт/цикл]	Среднее Глубина колеи
Лево	-0.2	-0.2	-1.1
Право	-0.6	-0.5	-1.8

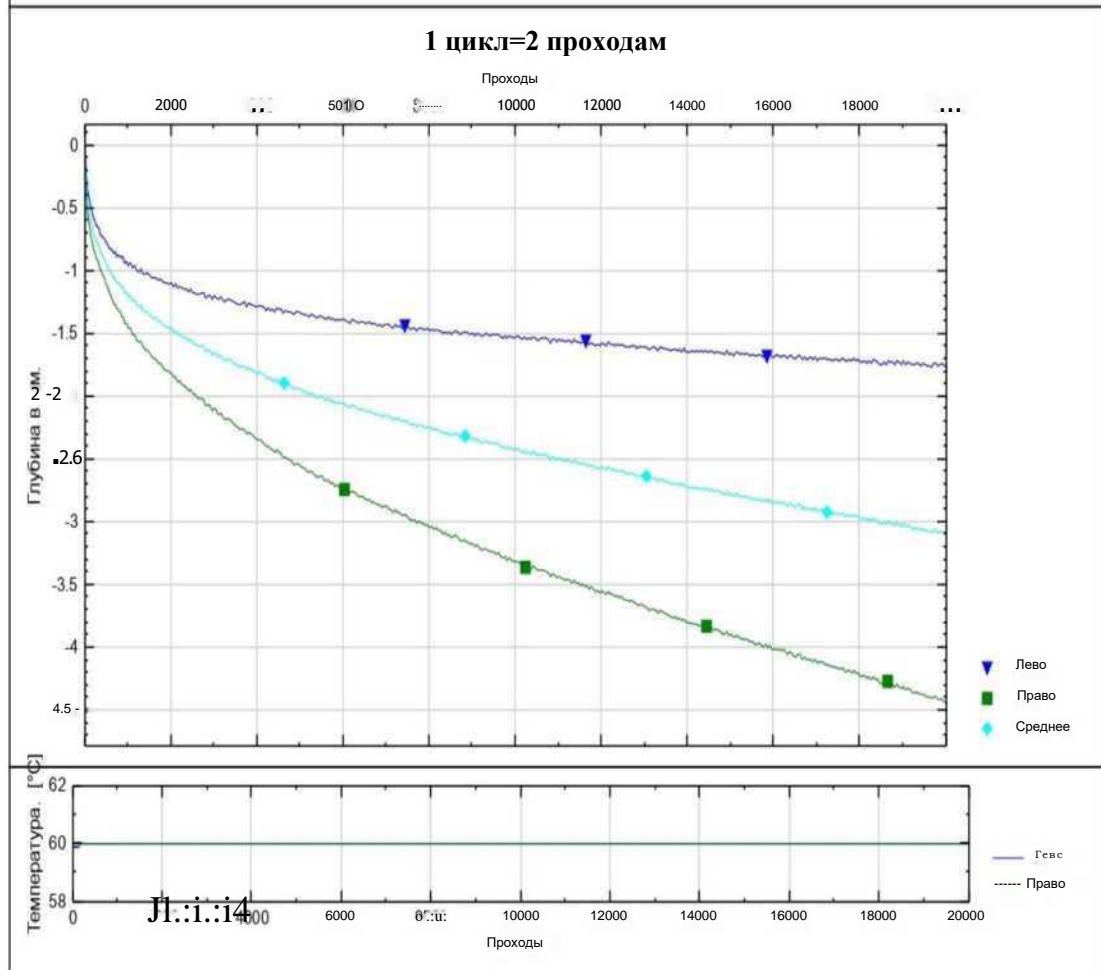


Рисунок 17 - График зависимости глубины колеи от количества совершенных проходов нагруженного колеса (зелёный - битум 4,5%, синий - битум 4,5% с модификатором «Полиэпор-Р»)

Образец	Наклон прохода колес [mm/1000 циклов]	Наклон прохода колес (линейная часть) [mm/1000 циклов]	Глубина колеи [mm]	глубина колеи [%]
Лево	-0.05 (d10000-d5000)	-0.05 (d7800-d5800)	-1.8 (d 10000)	
Право	-0.23 (d10000-d5000)	-0.22 (d8775-d6775)	-4.4 (d10000)	
Среднее значение	-0.14	-0.13	-3.1	

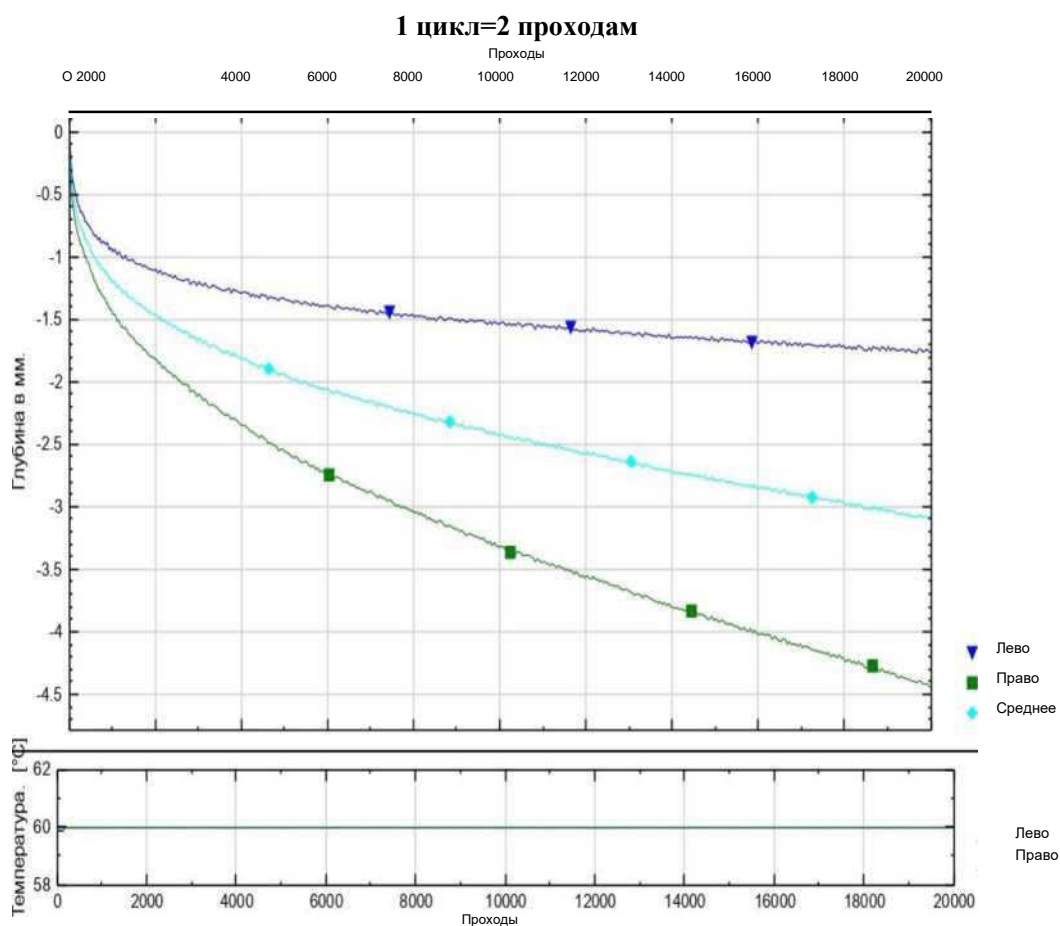
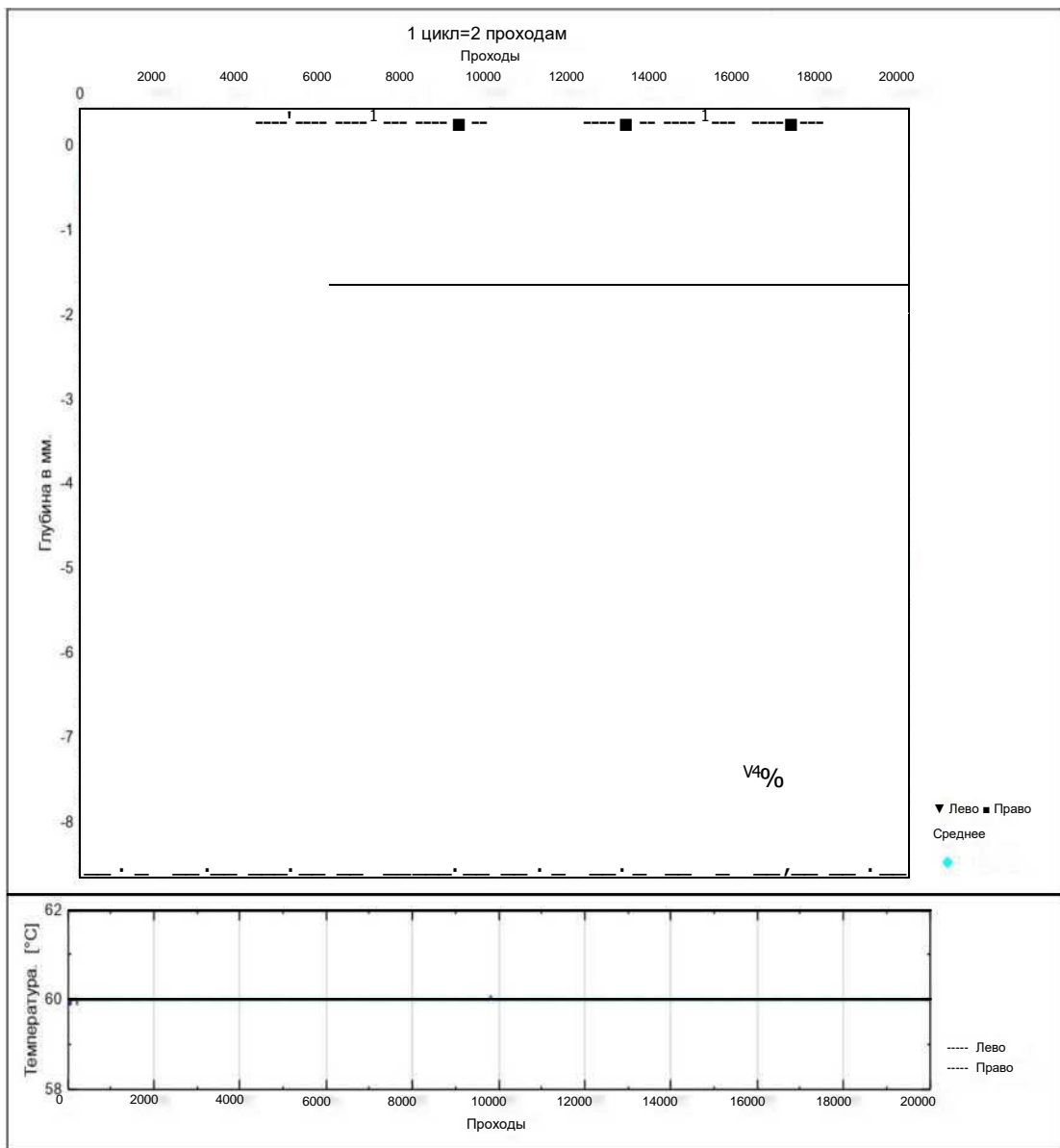
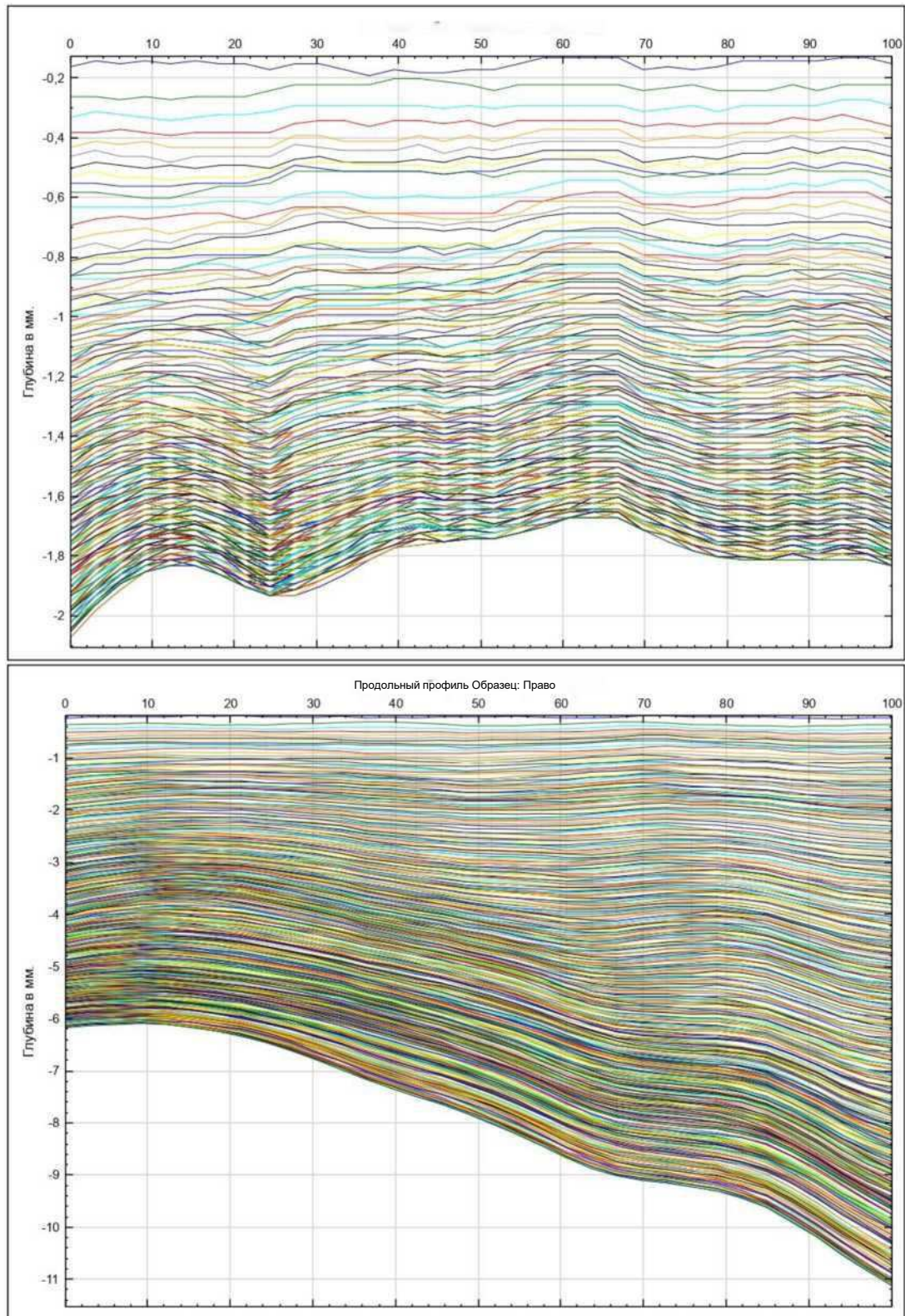


Рисунок 18 - График зависимости глубины колеи от количества совершенных проходов нагруженного колеса с показателем наклона прохода колёс (зелёный - битум 4,5%, синий - битум 4,5% с модификатором «Полиэпор-Р»)



©InfraTest / SpurTest V2.110

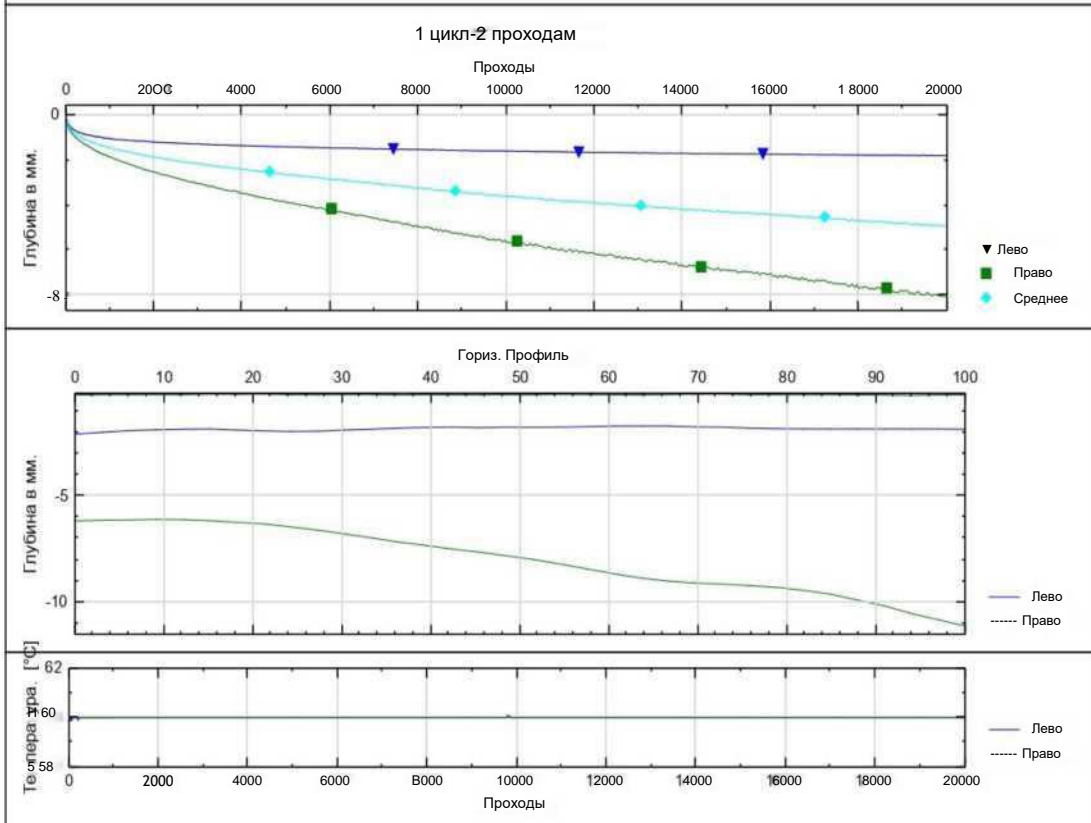
Рисунок 19 - График прохода колёс по циклам (зелёный - битум 4,5%, синий - битум 4,5% ПБВ)



©InfraTest / SpurTest V2.110

Рисунок 20 - Продольный профиль зависимости от глубины колеи (право - битум 4,5%, лево - битум 4,5% с ПБВ)

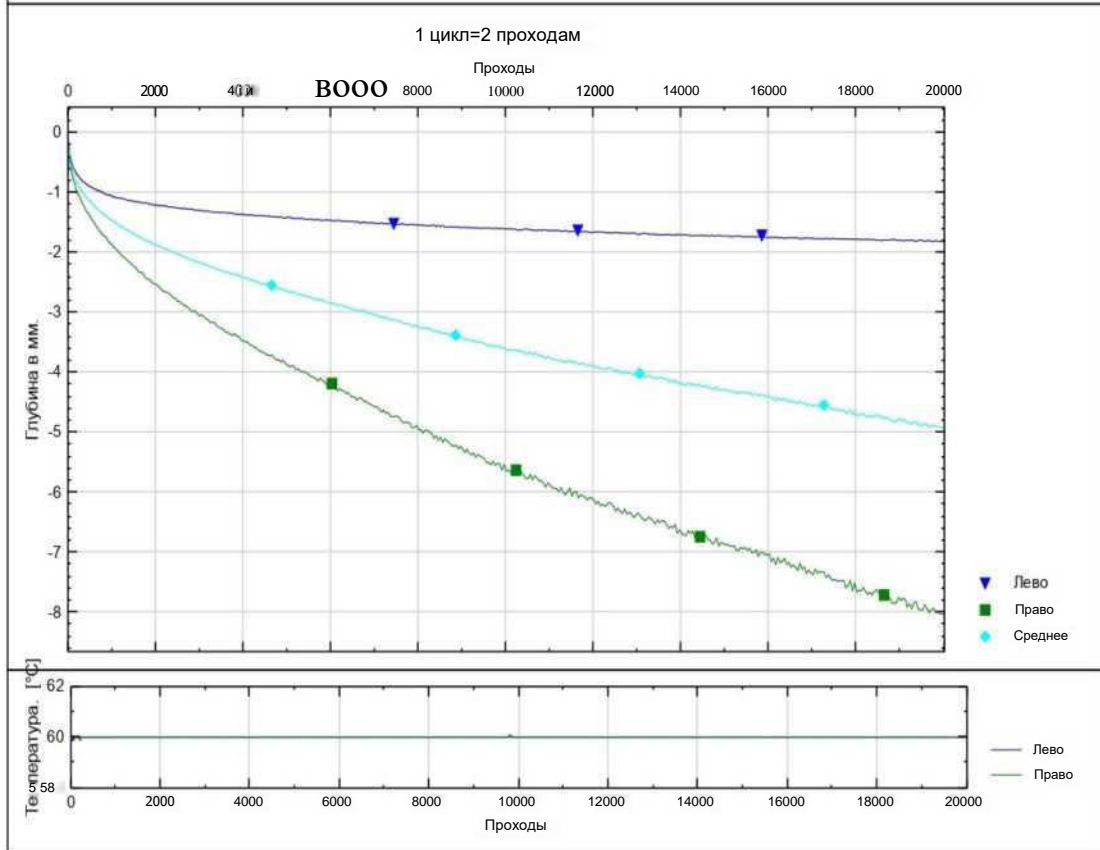
	[mm]	[mm]	[mm]
Лево	-180	-4,91	6,22
Право	-3,02		



©InfraTest / SpurTest V2.110

Рисунок 21 - Горизонтальный (продольный) профиль (зелёный - битум 4,5%, синий - битум 4,5% с ПБВ)

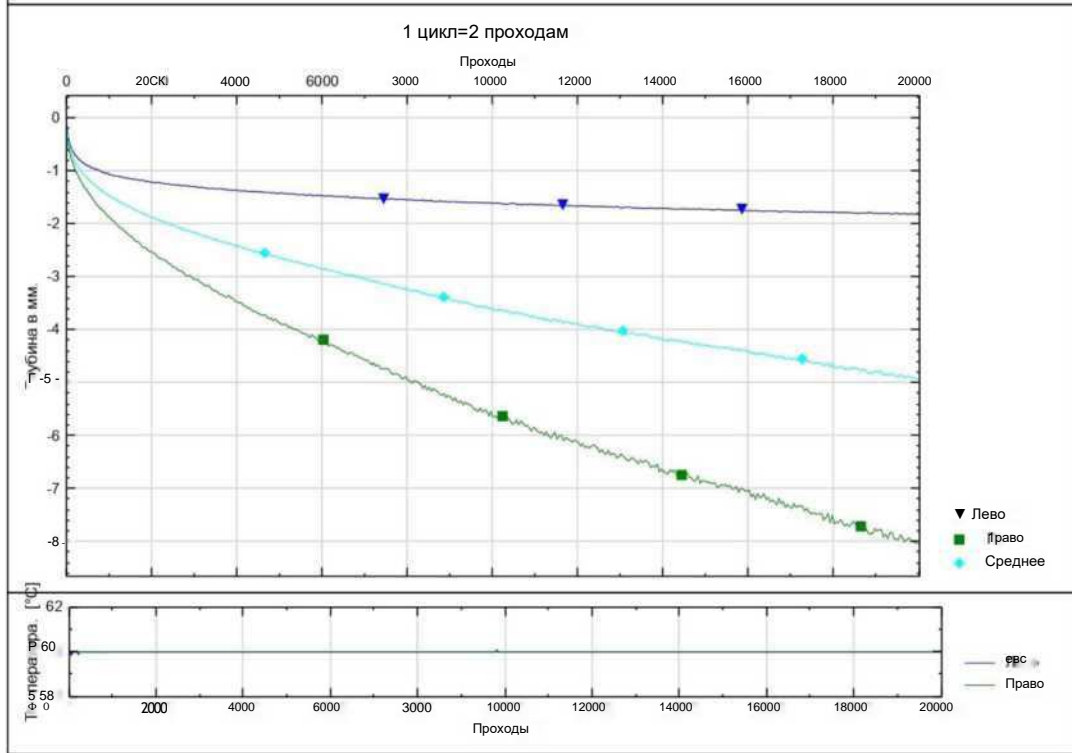
	Скорость прохода колес [рт/цикл]	Среднее Скорость прохода колес [рт/цикл]	Среднее Глубина колеи [ГТ]
Лево	-0,3	-0,2	-1,2
Право	-1,2	-0,9	-2,5



©InfraTest / SpurTest V2.110

Рисунок 22 - График зависимости глубины колеи от прохода колеса (зелёный - битум 4,5%, синий - битум 4,5% с ПБВ)

Образец	Наклон прохода колес [mm/1000 циклов]	Наклон прохода колес (линейная часть) [mm/1000 циклов]	Глубина колеи [mm]	глубина колеи [%i]
Лево	-0,04 (d10000-d5000)	-0,06 (de400-d4400)	1,8 (d10000)	
Право	-0,48 (d10000-d5000)	-0,74 (d3800-d1800)	8,0 (d10000)	
Среднее значение	-0,26	-0,40	4,9	



©InfraTest / SpurTest V2.110

Рисунок 23 - График зависимости глубины колеи от прохода колеса (зелёный - битум 4,5%, синий - битум 4,5% с ПБВ)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были рассмотрены асфальтобетонные смеси, в составе которых в качестве используемого вяжущего материала использовался битум БНД 90/130 в чистом виде, битум БНД 90/130 с добавлением модификатора в виде вулканизированной резиновой крошки марки «Полиэпор-Р», а также полимер-битумное вяжущее.

Для сравнительного анализа асфальтобетонных смесей были проведены испытания на физико-механические свойства изготовленных смесей, а также испытания вяжущих материалов по следующим показателям: дуктильность, температура хрупкости по Фраасу, пенетрация и температура размягчения по кольцу и шару. После были проведены испытания, которые характеризуют устойчивость асфальтобетонной смеси к колееобразованию, где в качестве результата были получены сравнительные графики зависимостей согласно требованиям ПНСТ 181-2013. [13]

Из вышеперечисленного можно выделить следующие объёмы проделанных нами работ:

- определение гранулометрического состава методом просеивания каменных материалов;
- подбор состава асфальтобетонной смеси;
- испытание вяжущего материала по 4 показателям: температура хрупкости, температура размягчения по кольцу и шару, дуктильность (растяжимость) и пенетрация;
- перемешивание минеральной части смеси с вяжущим в лабораторном смесителе с целью получения асфальтобетонных смесей типа А марки I;
- приготовление образцов-цилиндров в машине для прессования образцов из асфальтобетонной смеси ПО-500 с целью дальнейших их испытаний;
- испытания на физико-механические свойства асфальтобетонной смеси образцов-цилиндров;

- проведён сравнительный анализ физико-механических свойств асфальтобетонной смеси, а также сравнительный анализ минерального вяжущего;

- приготовление образцов-плит в секторном уплотнителе для дальнейших испытаний;

- проведение испытаний образцов-плит по показателю устойчивости к колееобразованию;

- сравнительный анализ по трём составам асфальтобетонной смеси по всем имеющимся показателям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 22245-90 Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия
2. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний (С Изменениями N 1, 2, с поправками)
3. ГОСТ 11506-73 Битумы нефтяные. Методы определения температуры размягчения по кольцу и шару (с Изменениями N 1, 2, 3) (ред.)
4. ГОСТ 11501-78 Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы (с Изменениями N 1, 2, 3, 4)
5. ГОСТ 11505-75 Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости (с Изменениями N 1,2)
6. ГОСТ 11507-78 Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу (с Изменениями N 1, 2, 3)
7. Постановление от 17.06.2002 №205-п «Об утверждении перечня автомобильных дорог общего пользования регионального или межмуниципального значения Красноярского края».- Красноярск.- 2002 г.
8. ГОСТ 12801-84 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».- 1985 г.
9. ГОСТ 9128-97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон»
10. ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний». - Москва. - 1998 г.
11. ГОСТ Р 52056-2003 Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия
12. СП 78.13330.2012 «Автомобильные дороги». - Москва. -2013
13. ПНСТ 181-2019 «Метод определения стойкости к колееобразованию асфальтобетонных покрытий прокатыванием наружного колеса».- Москва.- 2019 г.

14. ГОСТ 8236-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». - Издательство стандартов. - 1995 г.
15. ПНСТ 185-2016 «Приготовление образцов-плит вальцовым уплотнителем».- Москва.- 2017 г.
16. Министерство транспорта Красноярского края. Приказ от 9 января 2018 года N 6/2-Н.- Положение «Об утверждении транспортной стратегии Красноярского края до 2030 года» - Красноярск. - 2018
17. Калашникова Т.Н., Сокальская М.Б. «Строительство и ремонт асфальтобетонных покрытий». - Москва. - 2010 г.
18. Галлямова З.О. "Модифицированные битумы для асфальтобетона , издательство Вестник, МГСУ, Казань, 2010
19. Горельшев Н.В., Быстров Н.В. «Пути повышения долговечности дорожных асфальтобетонных покрытий. Сборник научных трудов «70 лет отраслевой дорожной науке 1926-1996». - Издательская фирма «КРУК». - Москва. - 1996 г.
20. Грушко И.М., Золотарев В.А., Глущенко Н.Ф. «Испытания дорожно-строительных материалов. Лабораторный практикум». - Издательство «Транспорт». - Москва. - 1985 г.
21. <https://krudor.ru/actual/bkd/> [Электронный ресурс]
22. <https://krudor.ru/actual/bkd/most-vysokogorskiy/> [Электронный ресурс]

Приложение А

date: 25.03.2021 time: 15:29:26

Я'И
•0°

specimen №1 Предел прочности при сжати 20* > identification:
ultimate strength: 11,67 kN 1,6 mm

load-displacement diagram

13-					
10-					
load [kN]					
5-					
0.00		5 1 displ.		5 2.0	
		0 1 [mm]			

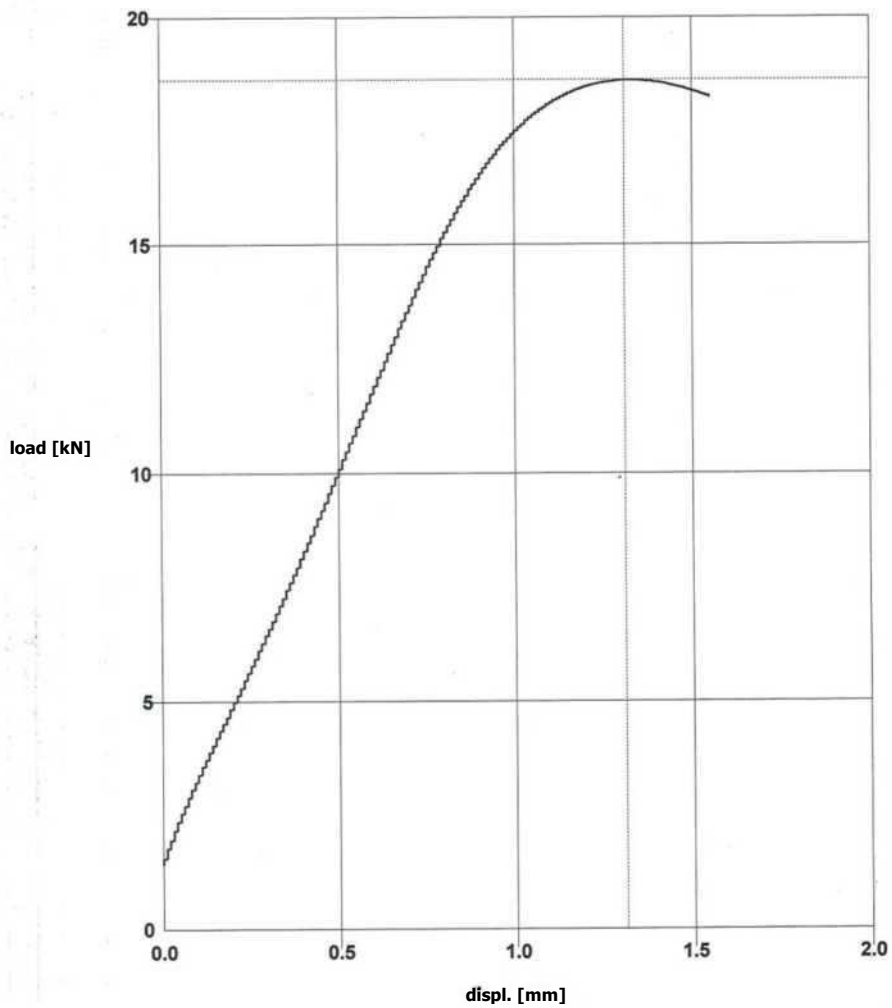
date: 25.03.2021

time: 15:38:39

specimen identification: №4 Предел прочности при сжати 0 *

ultimate strength : 18,60 kN
1,31 mm

load-displacement diagram

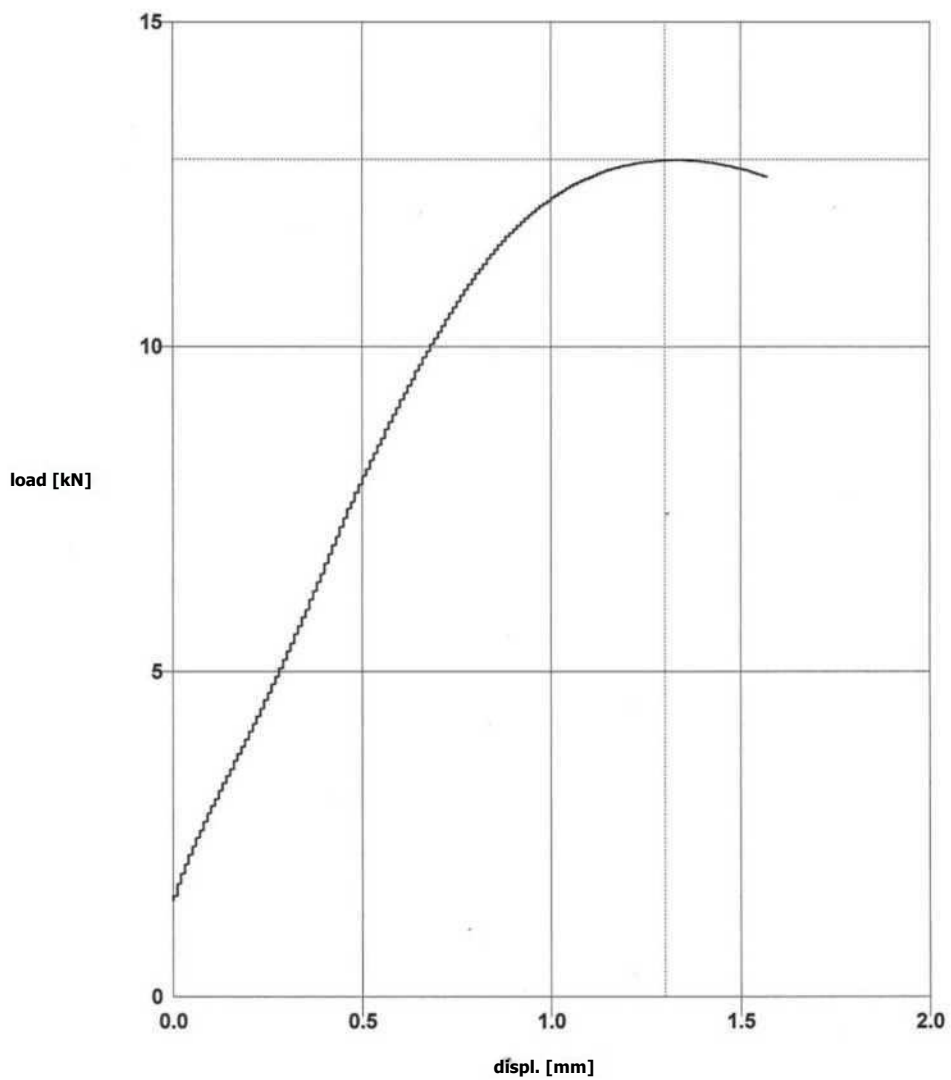


date: 30.03.2021
time: 13:56:30

specimen identification: №7 предел прочности на сжатие при 20

ultimate strength : 12,88 kN
1,3 mm

load-displacement diagram

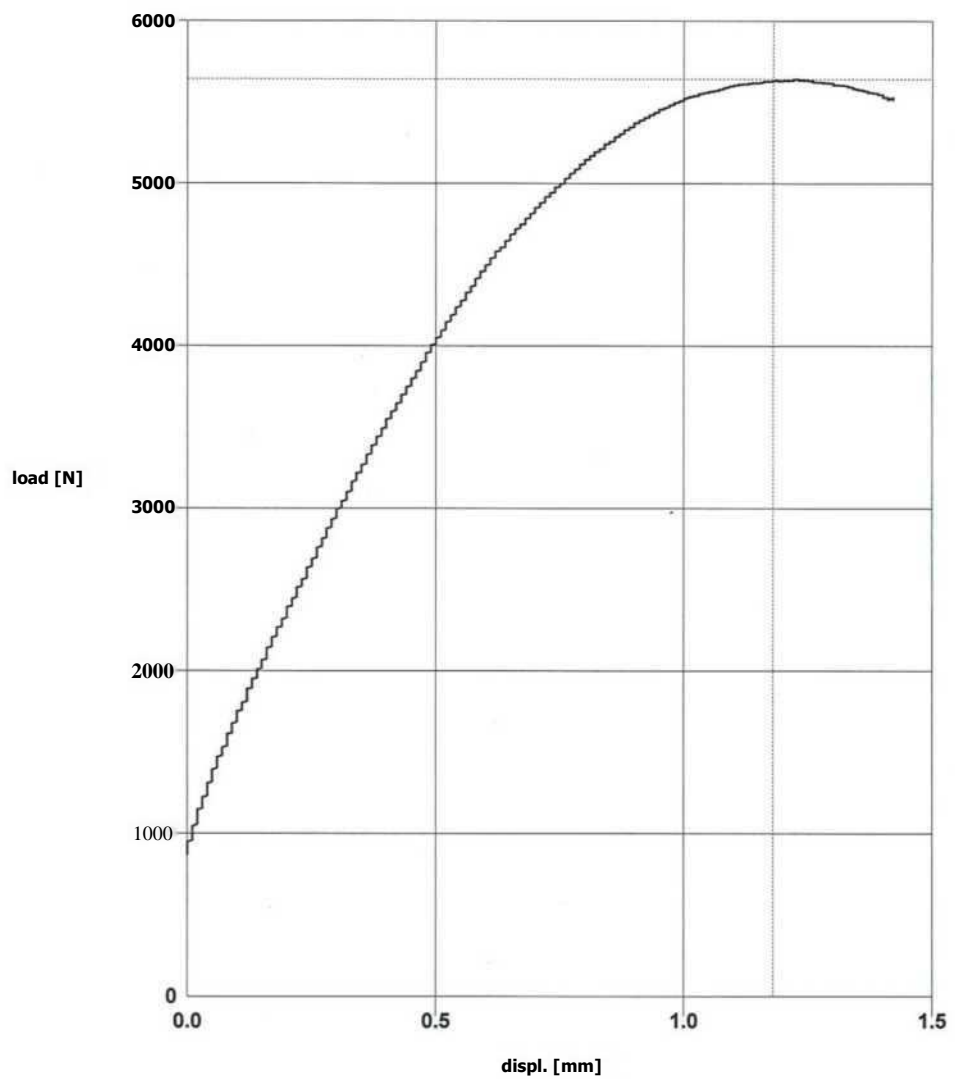


date: 29.04.2021
time: 16:25:25

specimen Identification: №10 предел прочности при сжатии R50

ultimate strength : 5639 N
1,18 mm

load-displacement diagram

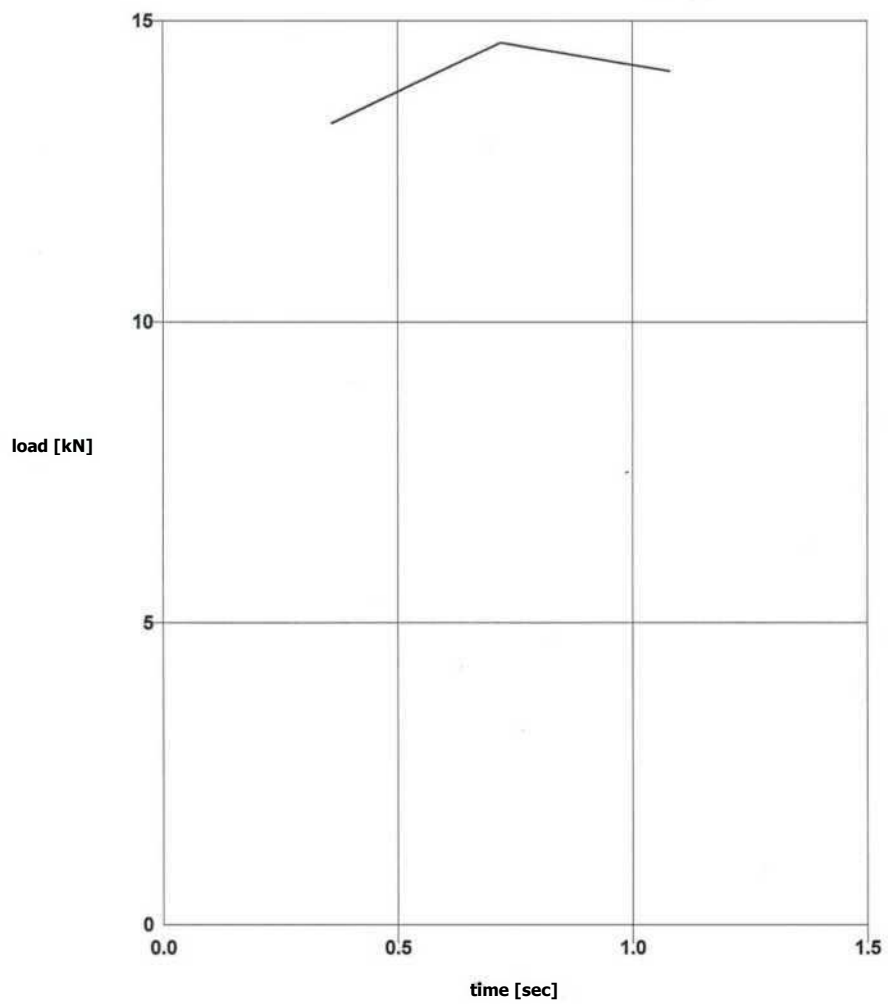


4,5%)

date: 29.04.2021
time: 17:07:43

specimen identification: №13 при расколе при 0 *
ultimate strength : 14,70 kN
1 sec

load-time diagram



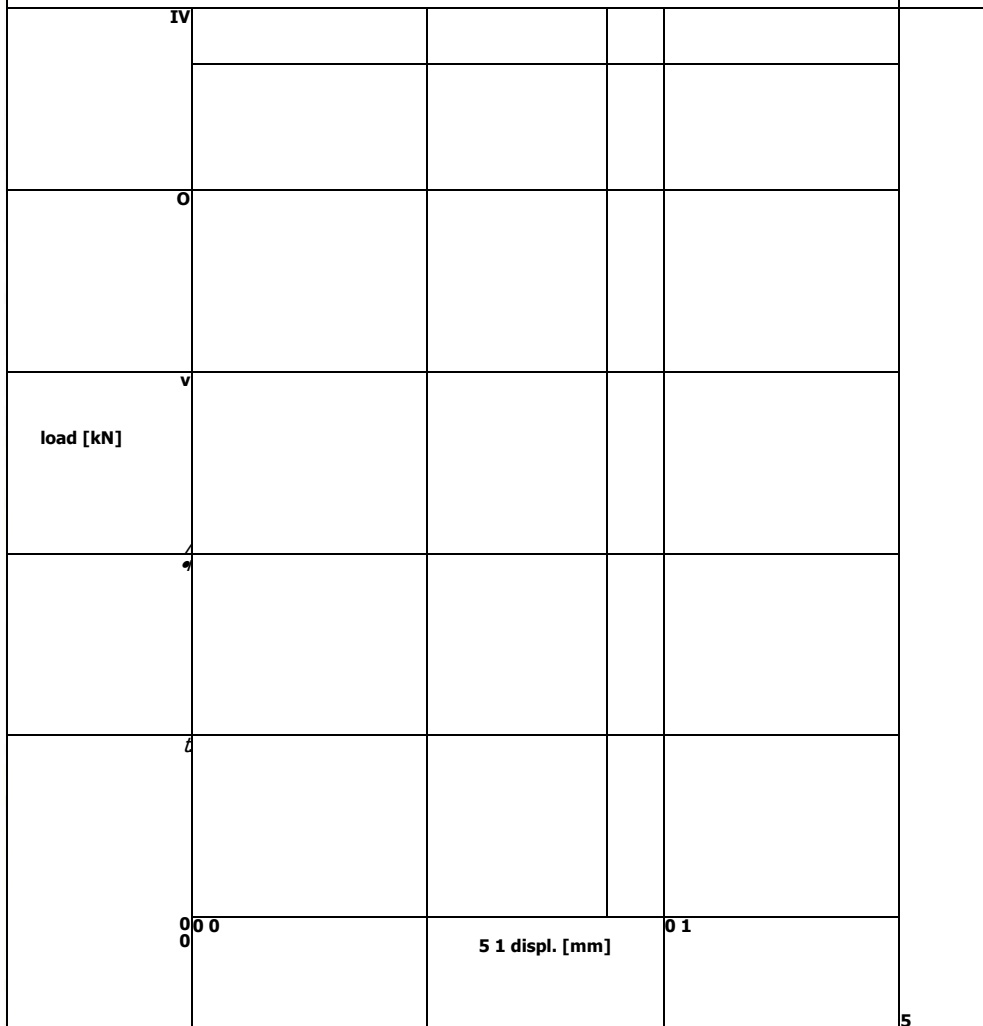
4,5%)

date: 29.04.2021 time: 16:37:13

specimen #17 предел прочности при одноосном сжатии при 50* identification:

ultimate strength: 9,398 kN -0,88 mm

load-displacement diagram



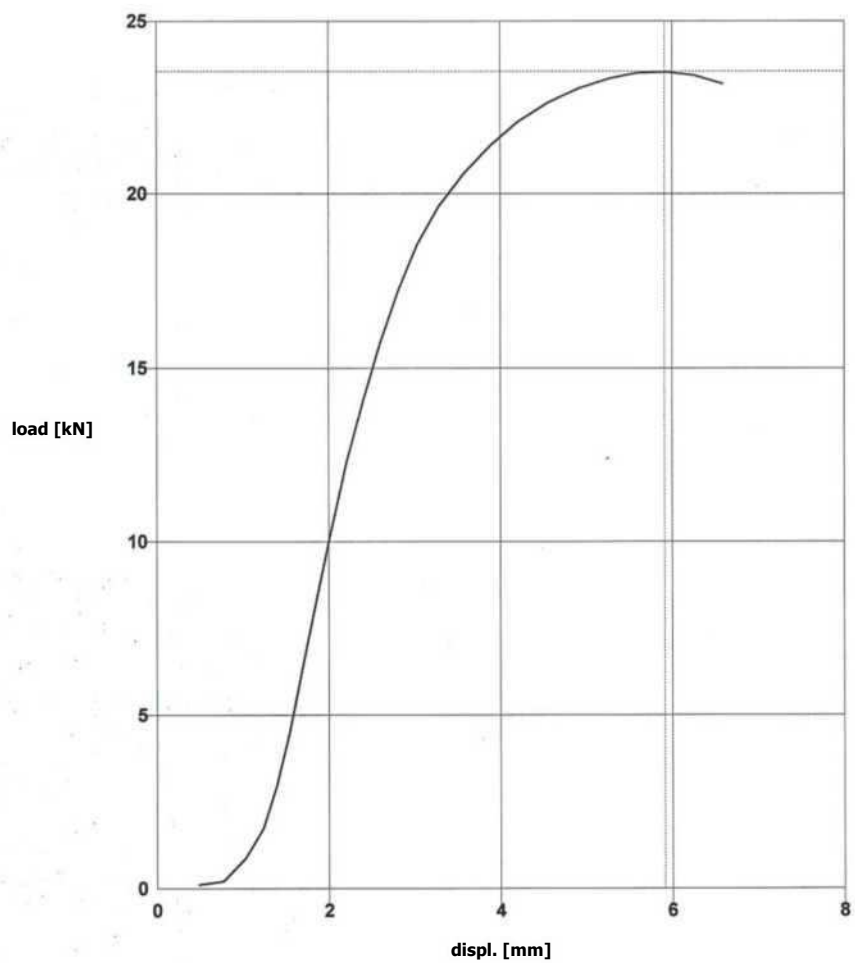
date: 30.03.2021

time: 14:19:58

specimen identification: №19 предел прочности по Маршаллу при 50

ultimate strength: 23,54 kN
-5.91 mm

load-displacement diagram

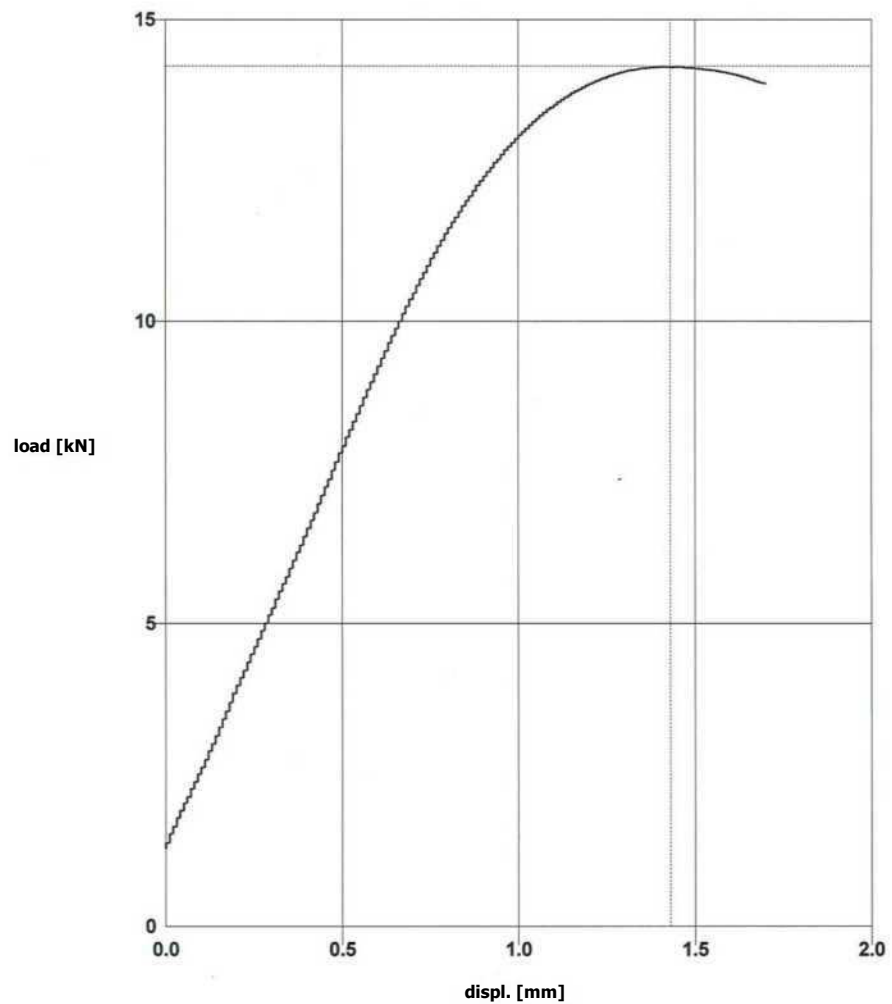


Приложение Б

date: 29.04.2021
time: 17:36:28

specimen identification: №1 предел прочности при сжатии при водонасыщении при 20 *
ultimate strength: 14,22 kN
1,43 mm

load-displacement diagram



date: 29.04.2021 time: 17:10:45

specimen №4 предел прочности при сжатии при 0* identification:

ultimate strength: 22,89 kN 49 sec

load-time diagram

	0л						
	лх						
	1Д-						
load [kN]							
	ш						
	о-						
	0 3 1	0 2	0 3 time	0 4 [sec]	0 5	0 6	
							0

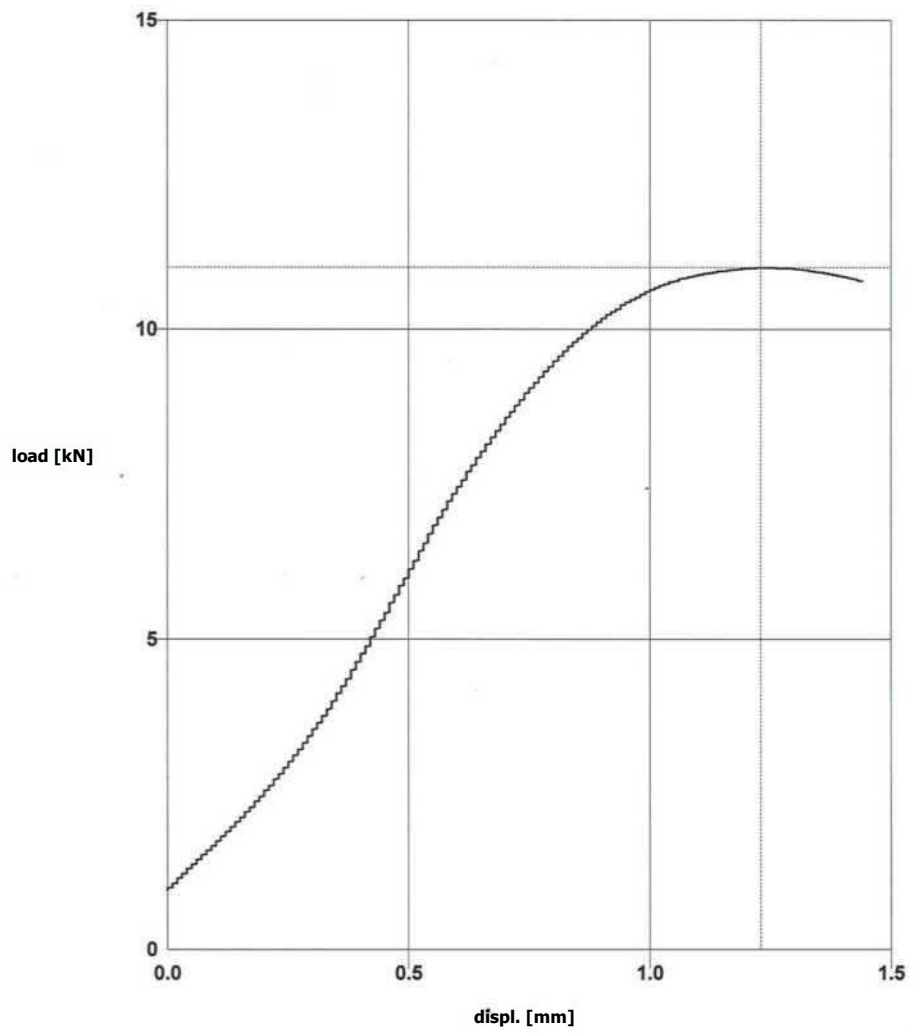
T7III

date: 29.04.2021
time: 17:16:39

specimen identification: №7 предел прочности при сжатии при 20

ultimate strength : 10.99 kN
1,23 mm

load-displacement diagram

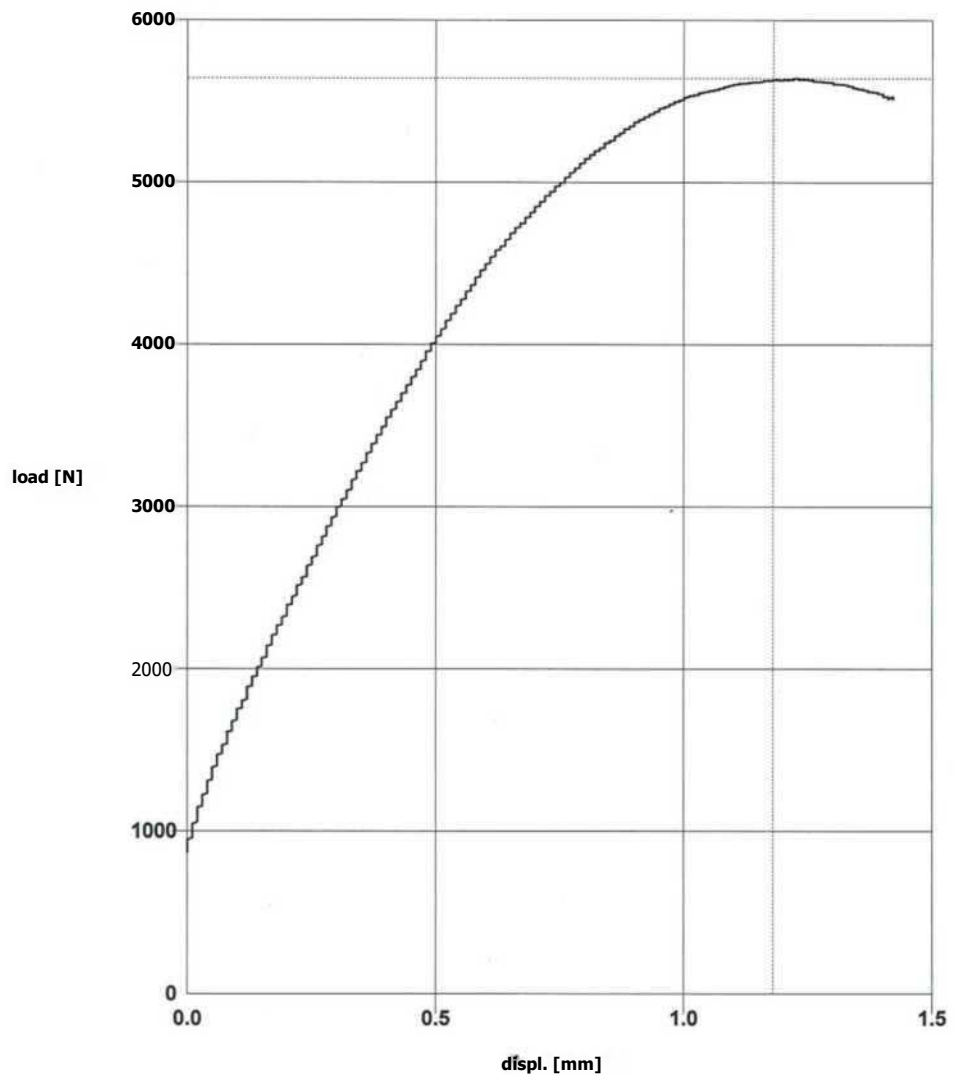


date: 29.04.2021
time: 16:25:25

specimen identification: №10 предел прочности при сжатии R50

ultimate strength : 5639 N
1,18 mm

load-displacement diagram

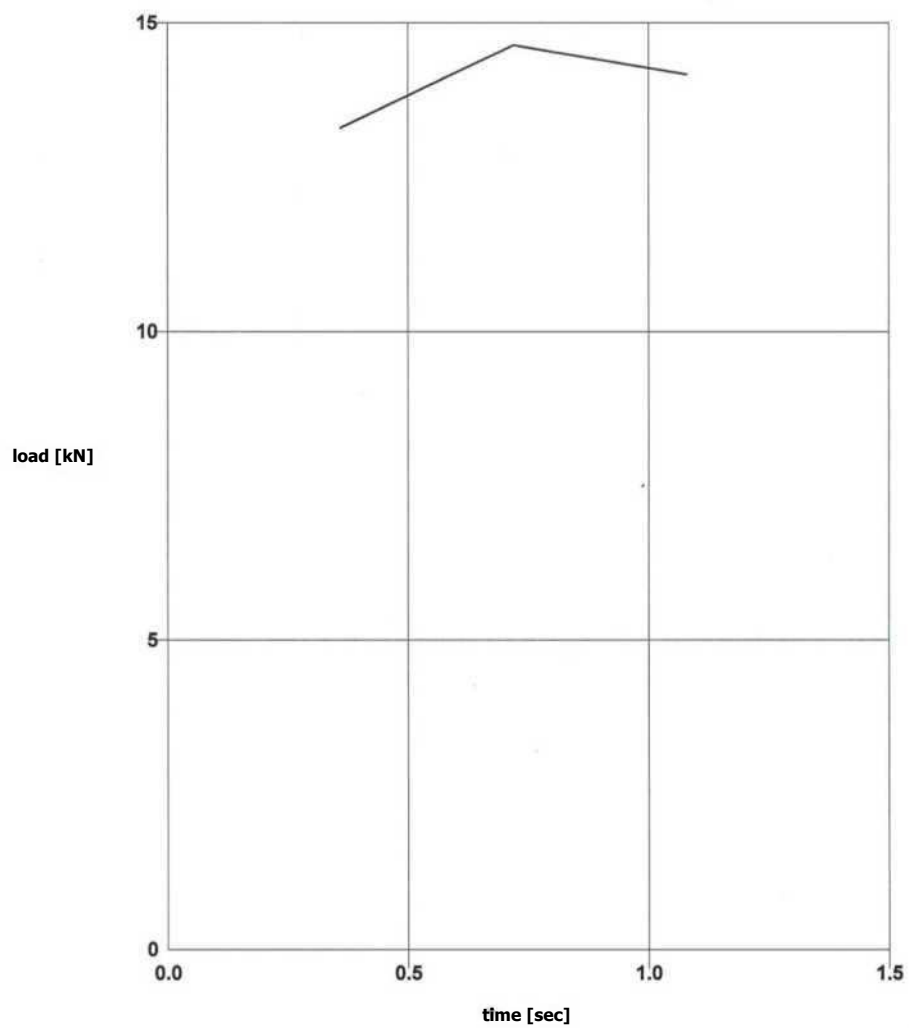


основе ПБВ)

Пбв

date: 29.04.2021
time: 17:07:43
specimen identification : №13 при расколе при 0*
ultimate strength : 14,70 kN
1 sec

load-time diagram

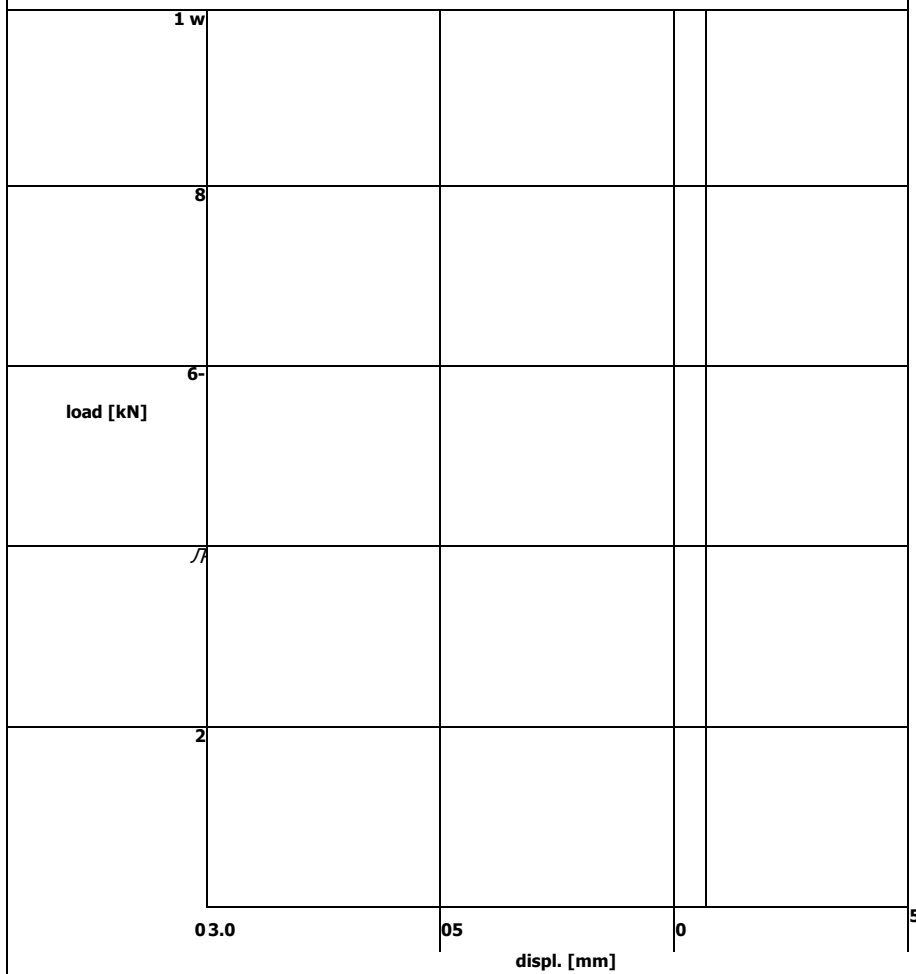


основе ПБВ)

date: 29.04.2021 time: 16:35:21

specimen #16 предел прочности при одноосном сжатии при 50* identification:
ultimate strength: 9,909 kN -1,07 mm

load-displacement diagram



ГКБ

date: 05.05.2021 time: 16:32:44

specimen №19 определение прочности по схеме Маршалла при 50* identification:
ultimate strength: 21,13 kN -7,08 mm

load-displacement diagram

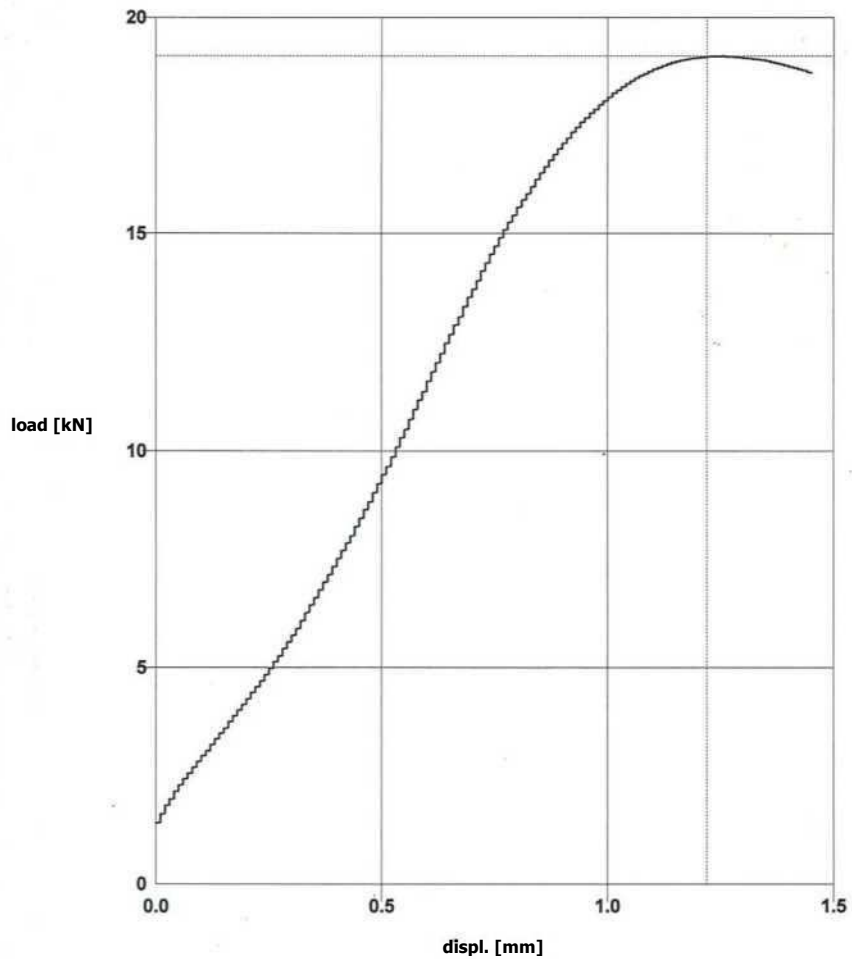
on							
$E_j \sim AC$							
ID							
load [kN]							
10							
0							
3	2	1				1	0
			displ. [mm]				

Приложение В

(p^L2-100)

date: 01.04.2021
time: 16:36:10
specimen identification: №1 предел прочности при сжатии при водонасыщении при 20*
ultimate strength: 19,1 kN
1,22 mm

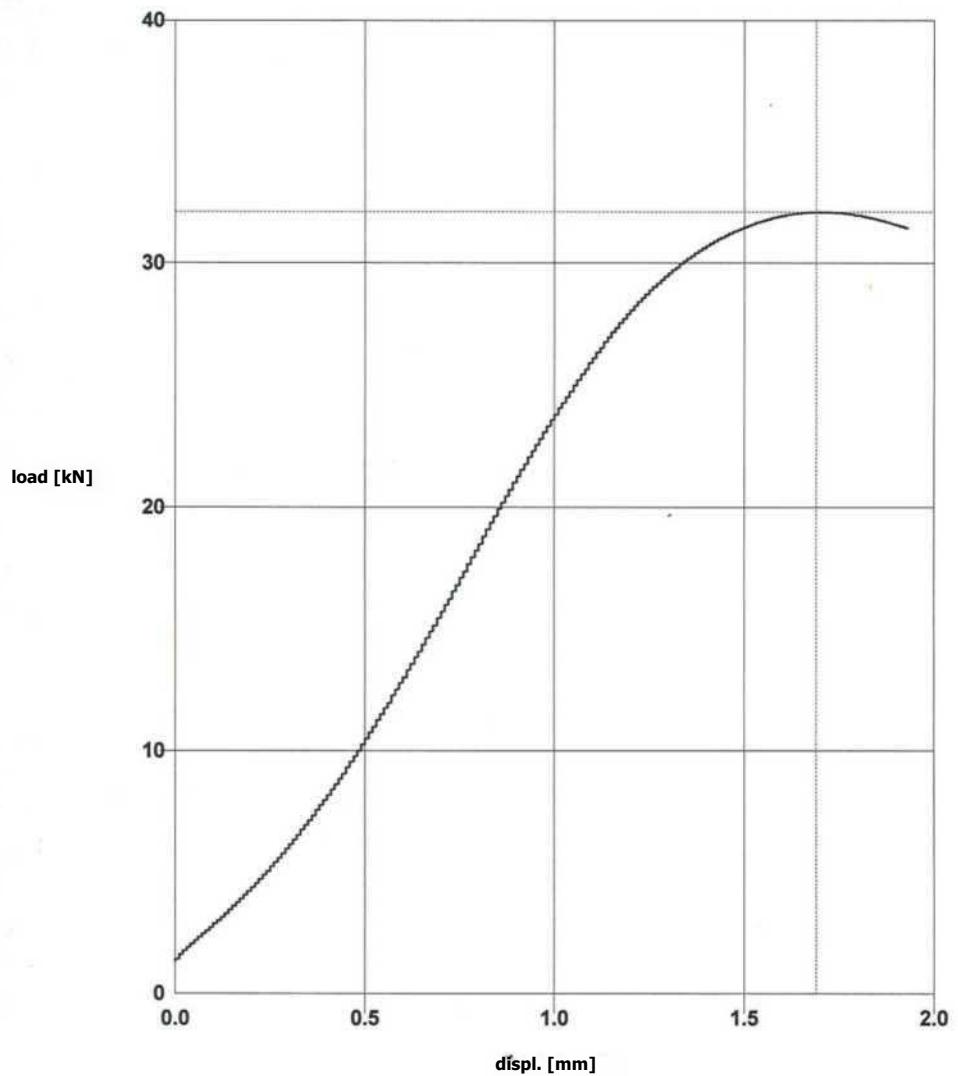
load-displacement diagram



date: 01.04.2021
time: 16:55:23

specimen identification: №4 предел прочности при сжатии при водонасыщении при 0
ultimate strength : 32,11 kN
1,69 mm

load-displacement diagram



date: 01.04.2021 /time: 18:05:37

specimen №7 предел прочности при сжатии при 20* identification:

ultimate strength: 19,12 kN 1,42 mm

load-displacement diagram

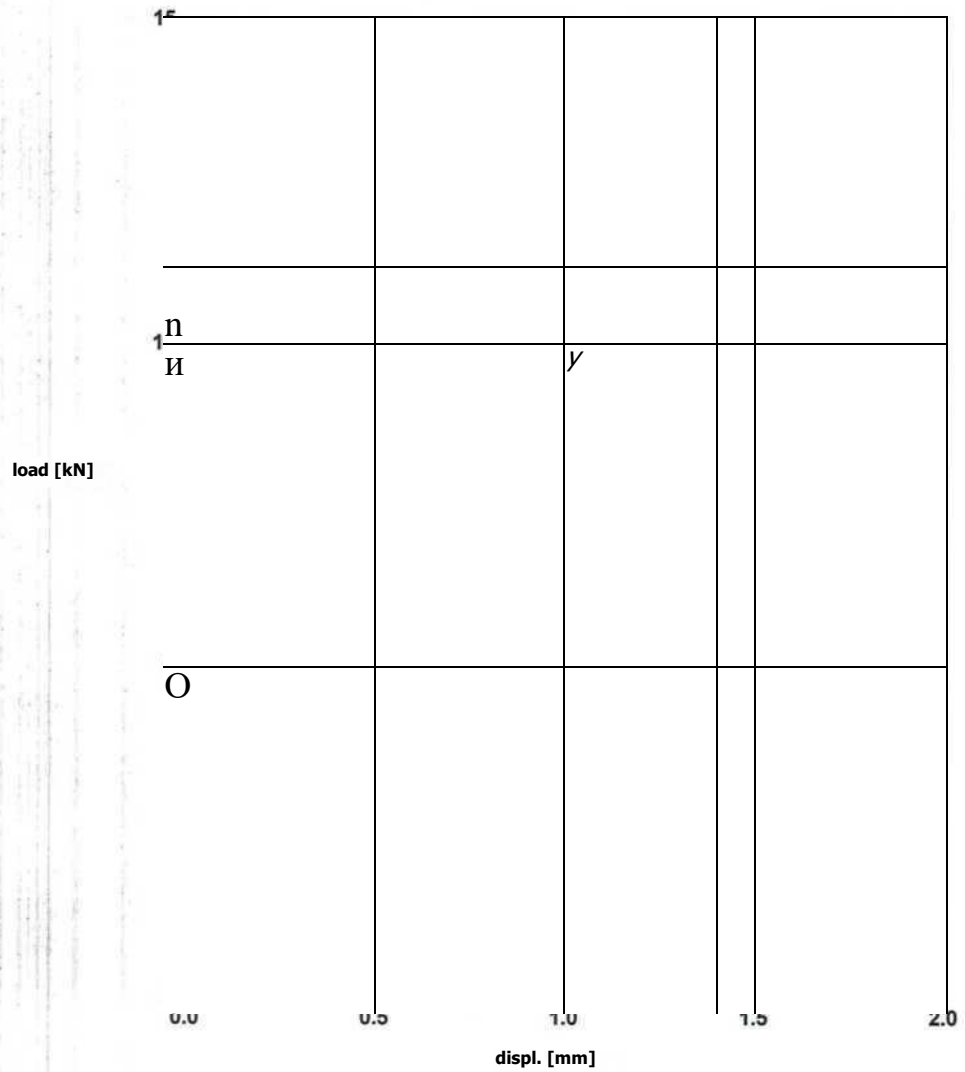
on

load [kN]					
	0.0	5	1	displ.	5
			0	1	[mm]
					0

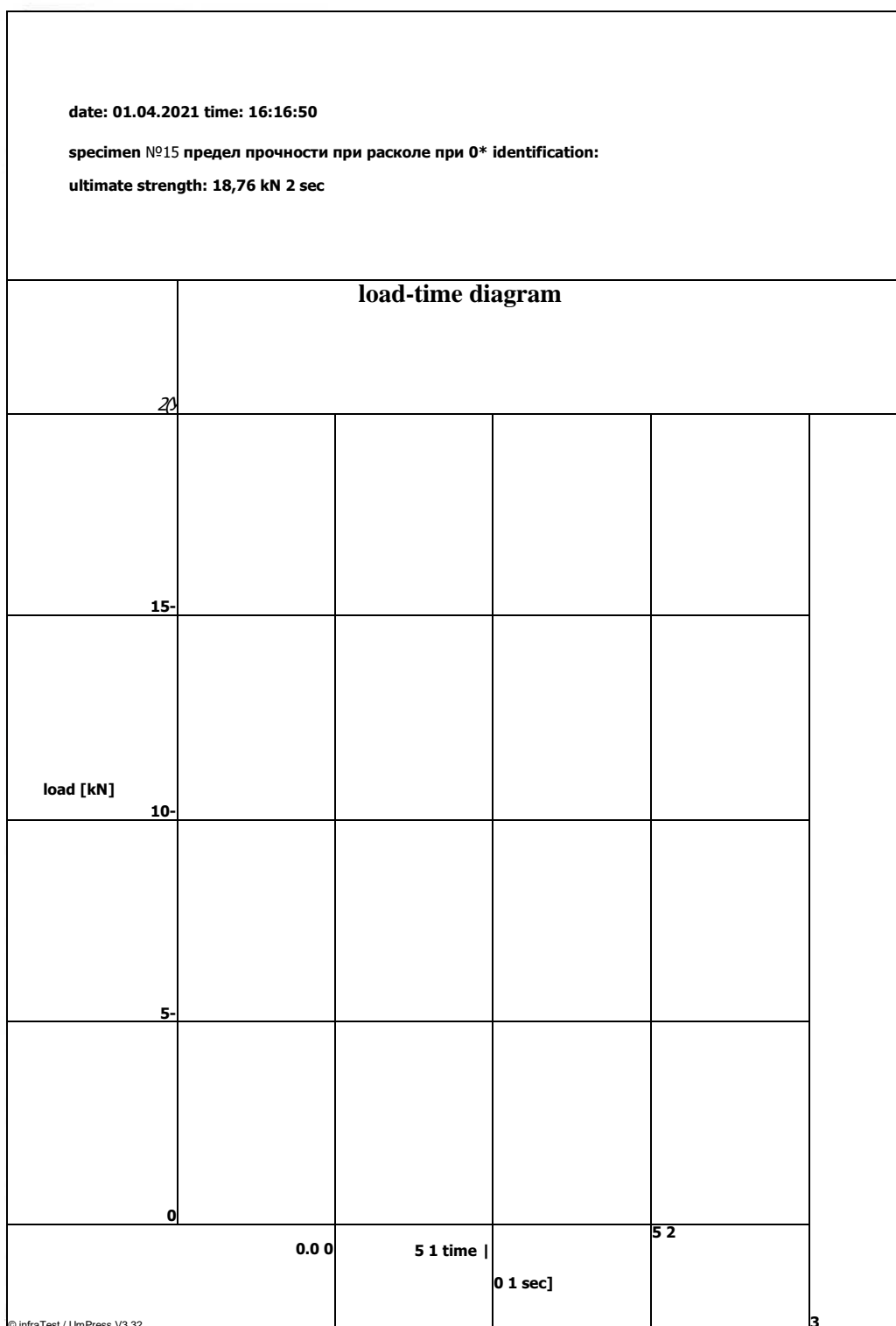
date: 01.04.2021
time: 17:29:41

specimen identification: №10 предел прочности при сжатии при 50*
ultimate strength: 11,20 kN 1,4 mm

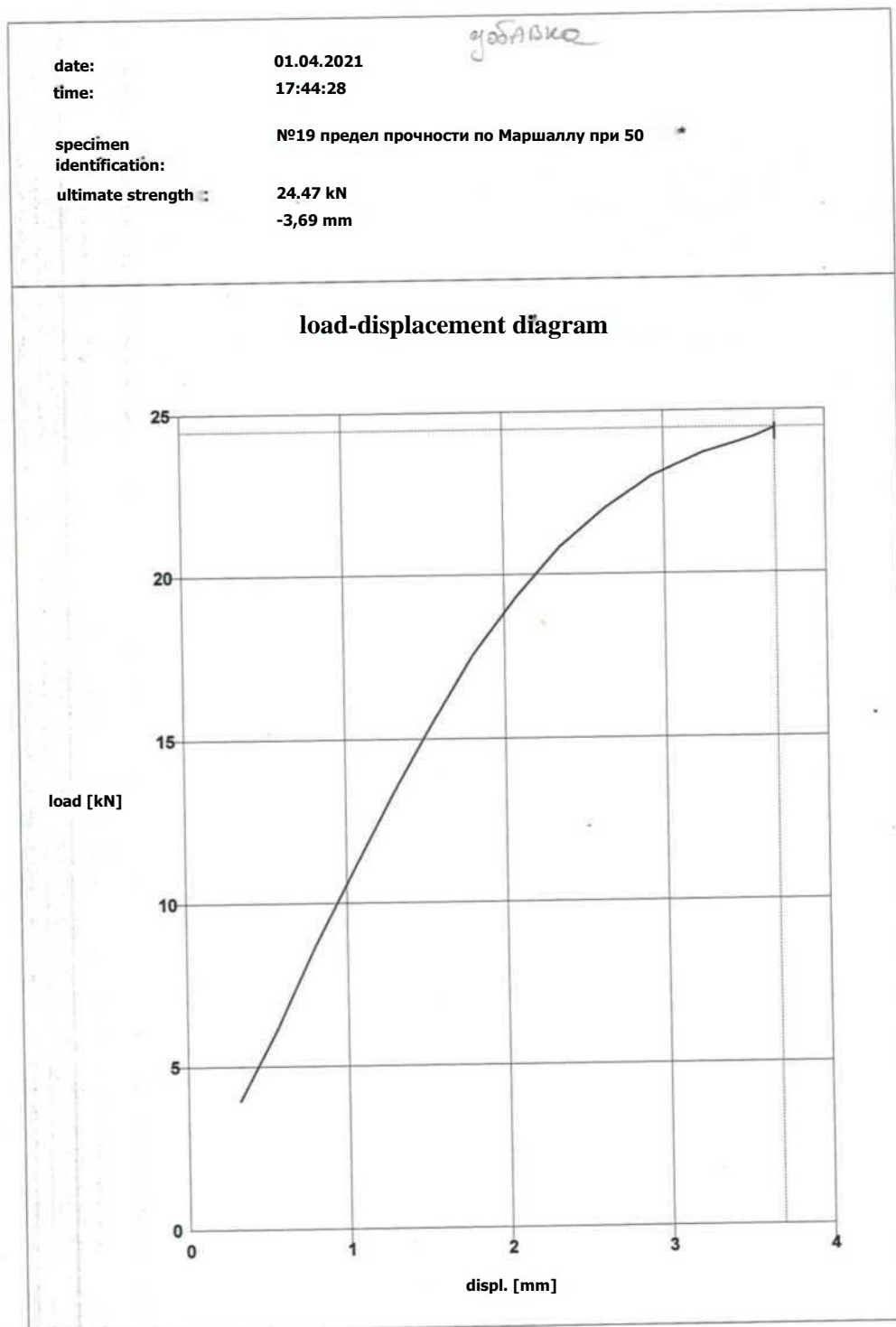
load-displacement diagram



Определение трещиностойкости по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0°. Образец №15. (асфальтобетонная смесь битум 4,5% и модификатор...%)



Определение предела прочности при сжатии по схеме Маршалла при температуре 50°. Образец №19. (асфальтобетонная смесь битум 4,5% и модификатор...%)



Результаты испытаний на физико механические свойства асфальтобетона

Физико—механические свойства асфальтобетона с модификатором

Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, Н	Площадь поперечного сечения S, см ²	Высота образца h, см	Диаметр образца d, см	Предел прочности при сжатии R, МПа	Среднее значение R, МПа
Определение предела прочности при сжатии при 0 °С						
1	24890	39,57	7Д	7,1	6,3	6
2	25990	39,57	7Д	7,1	6,6	
3	26170	39,57	7,1	7,1	6,6	
Определение предела прочности при сжатии при 20 °С						
1	16530	39,57	7,1	7,1	4,2	3
2	14580	39,57	7,1	7,1	3,7	
3	13380	39,57	7,1	7,1	3,4	
Определение предела прочности при сжатии при водонасыщении при 20 °С						
1	19100	39,57	7,1	7,1	4,8	4
2	18350	39,57	7,1	7,1	4,6	
3	16890	39,57	7,1	7,1	4,3	
Определение предела прочности при сжатии при 50 °С						
7	8485	39,57	7,1	7,1	2,1	1
8	7022	39,57	7,1	7,1	1,8	
9	6392	39,57	7,1	7,1	1,6	
Определение предела прочности на растяжение при расколе при 0 °С						
10	15540		7,1	7,1	3,1	3
11	15800		7,1	7,1	3Д	
12	16950		7,1	7,1	3,4	

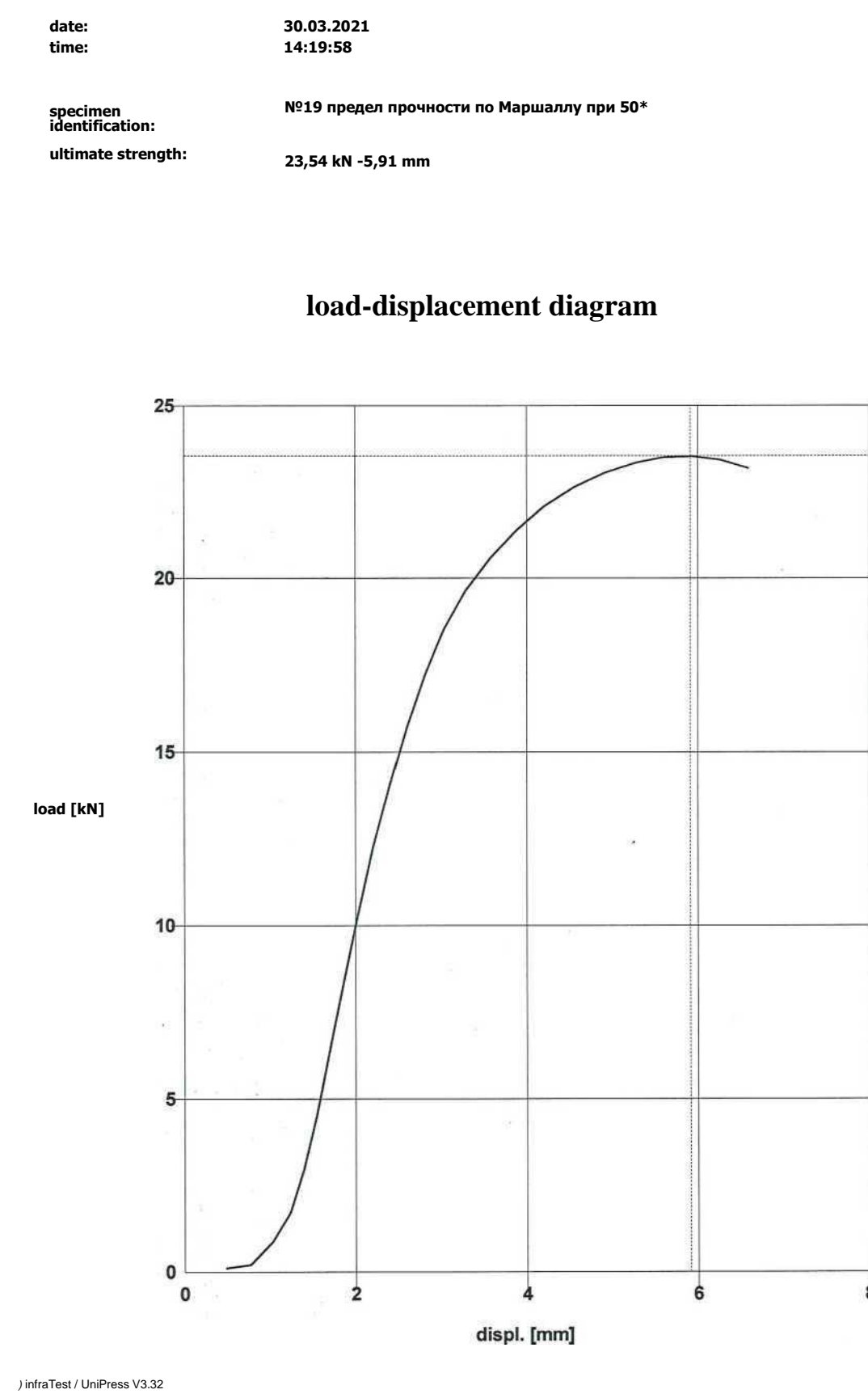
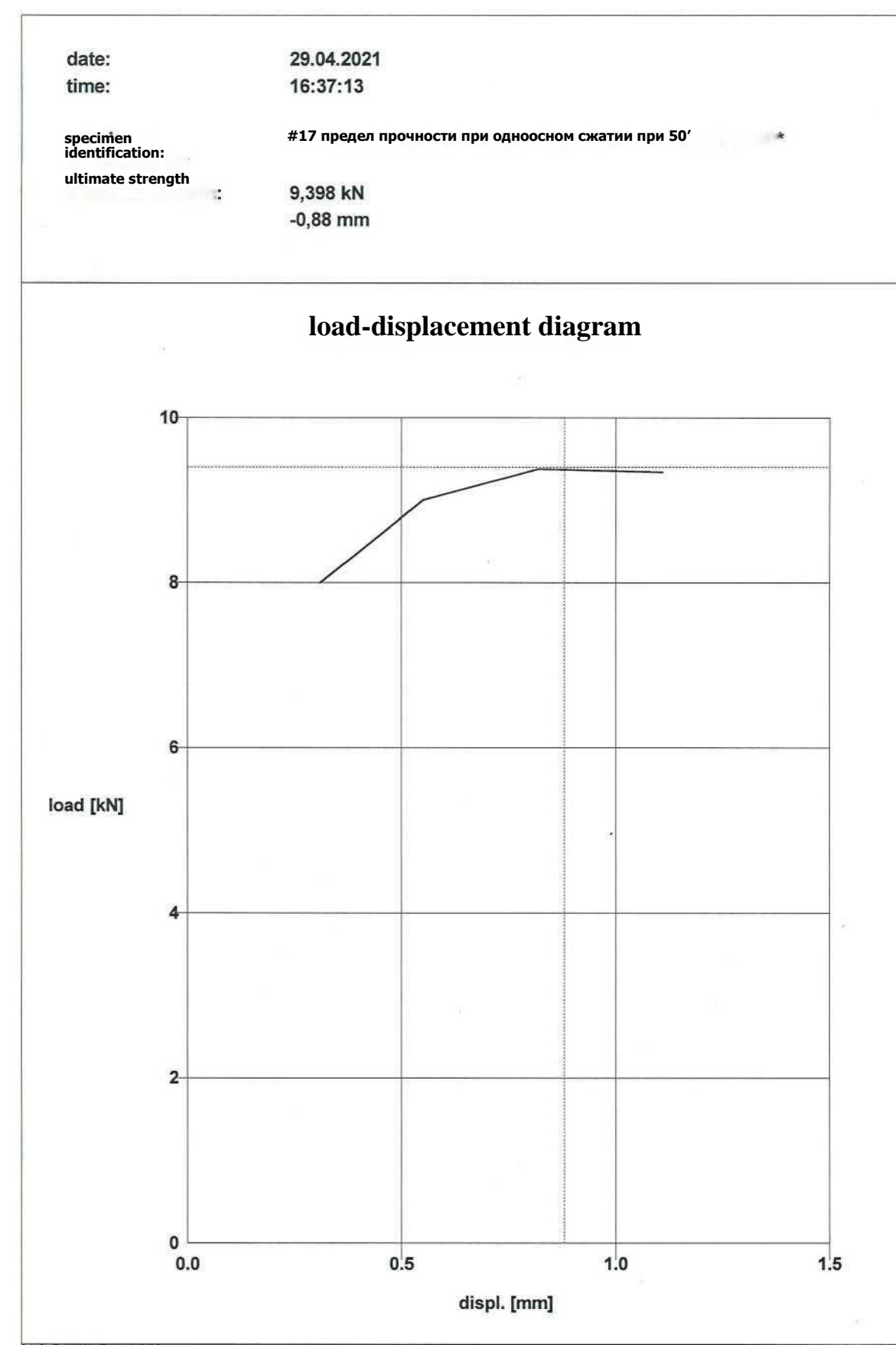
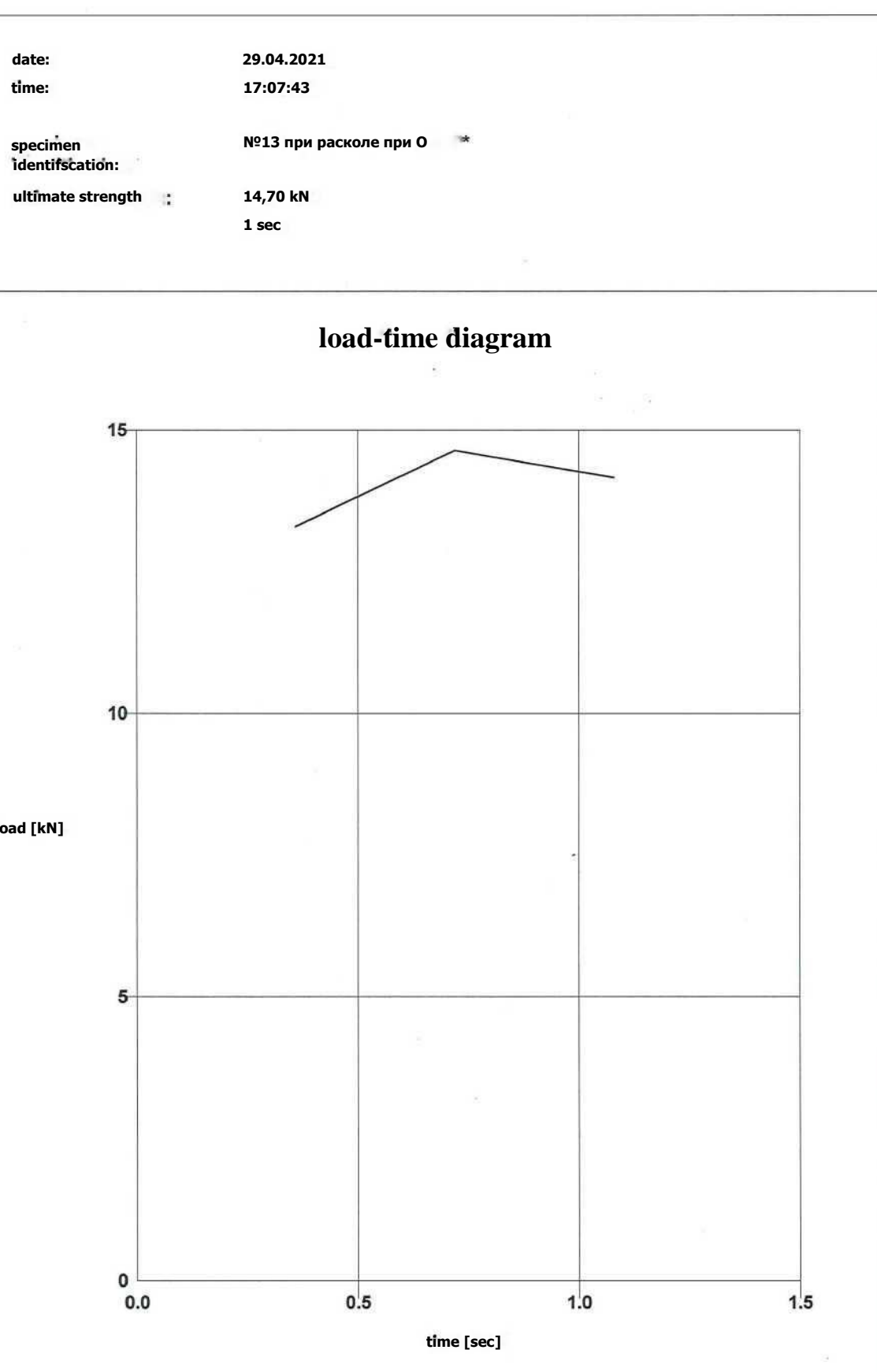
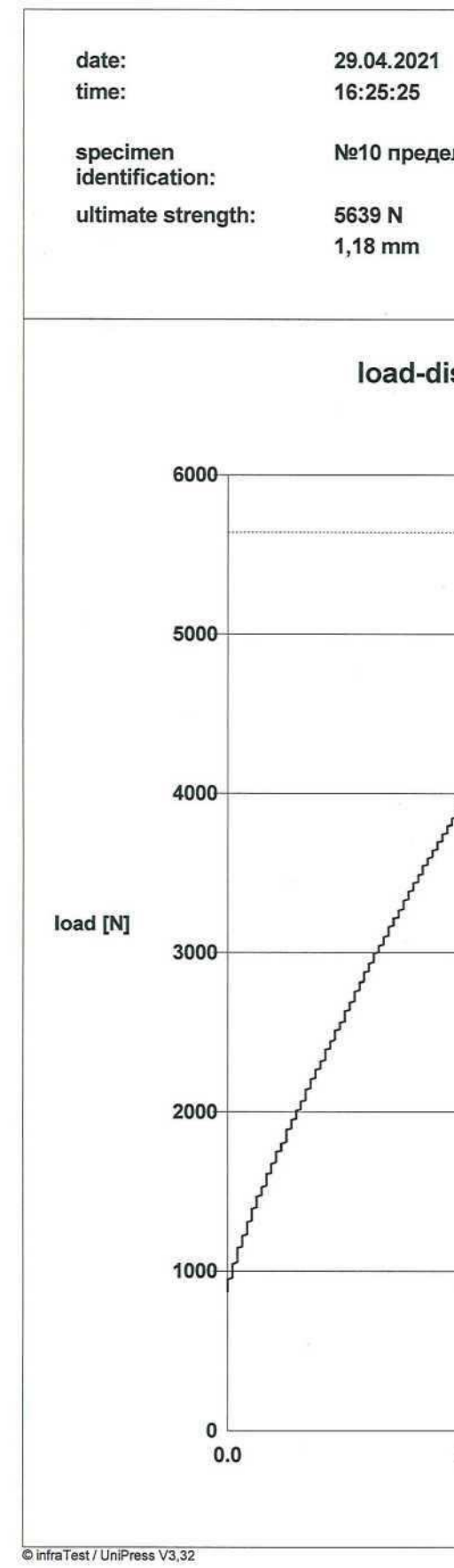
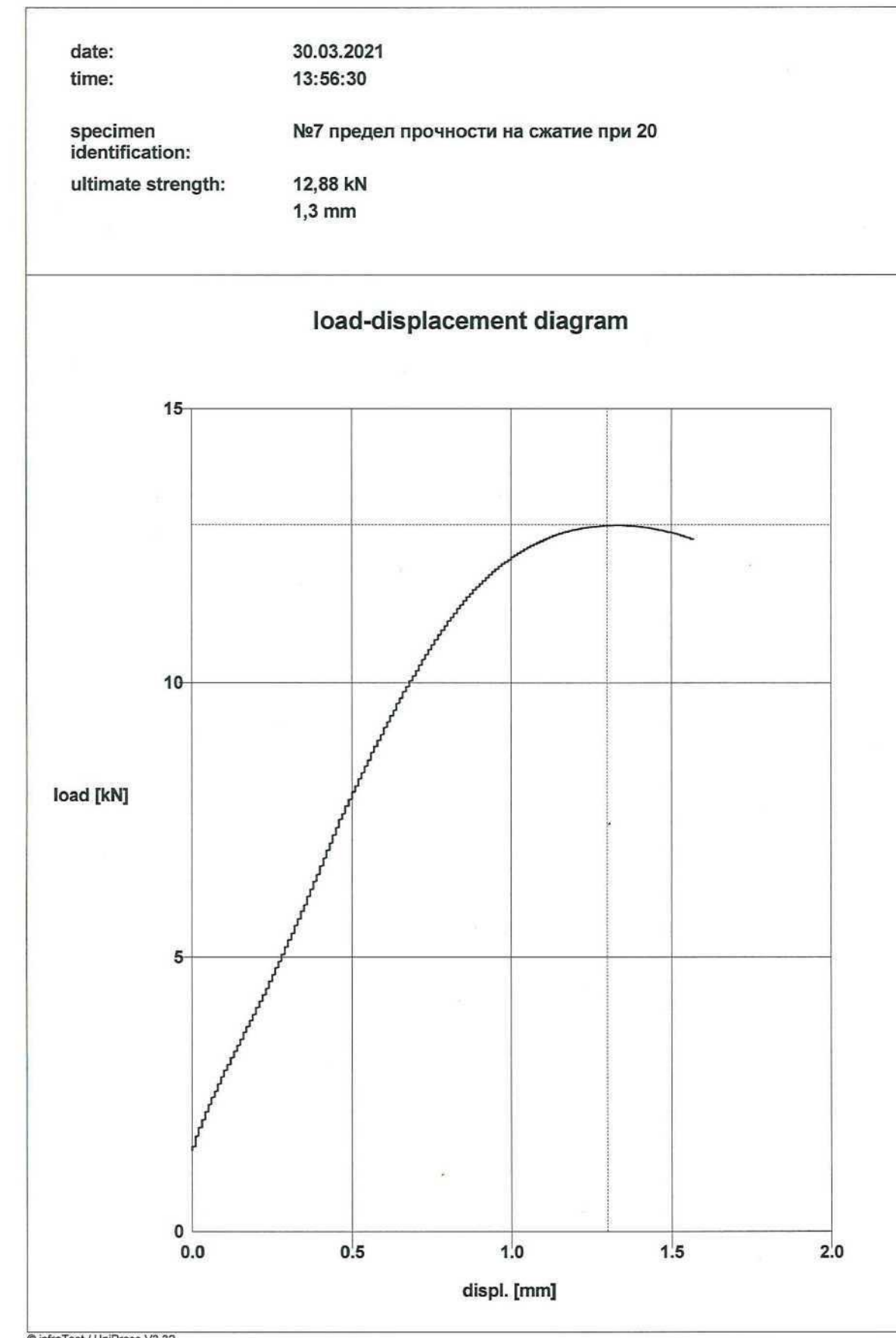
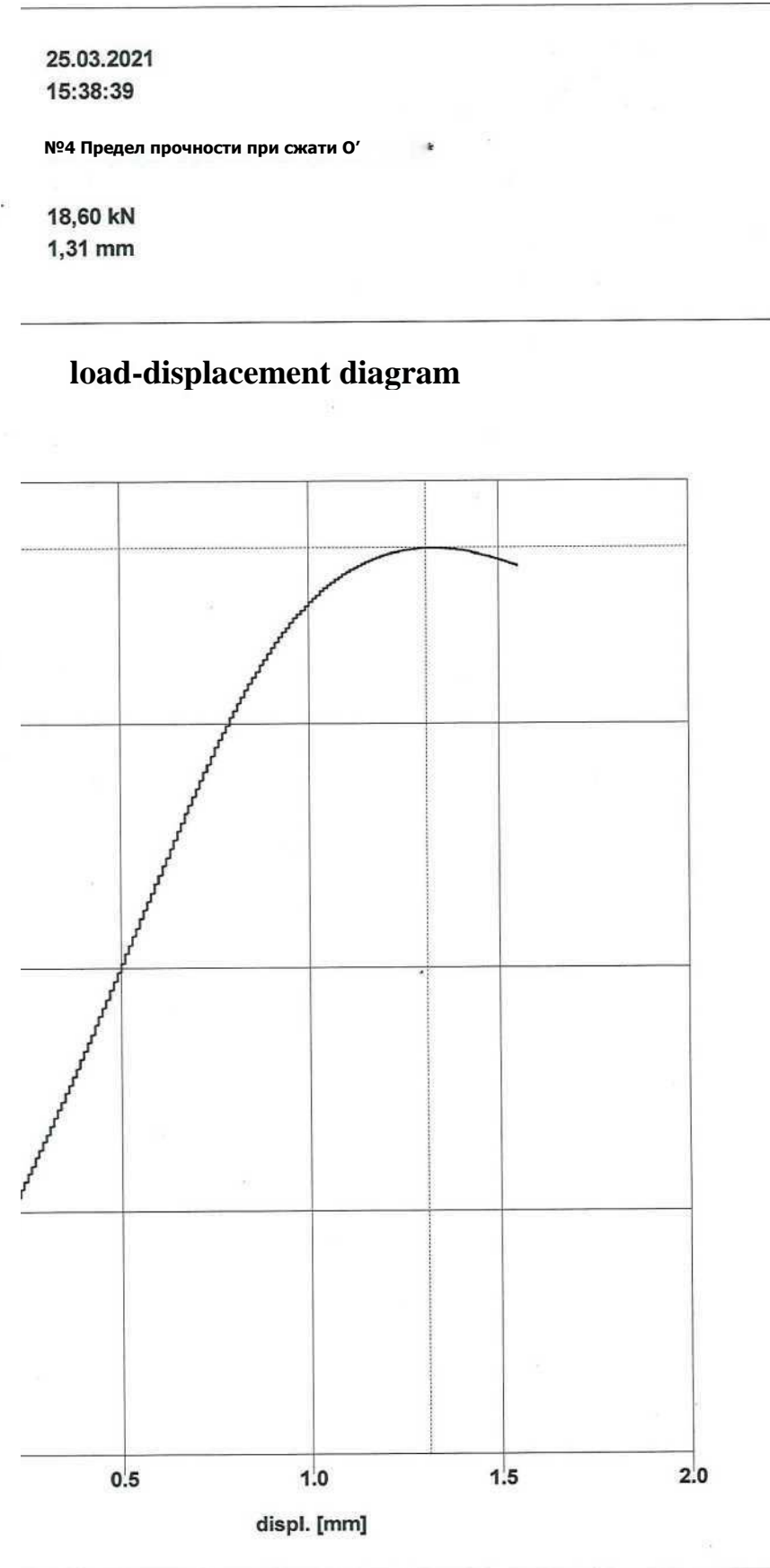
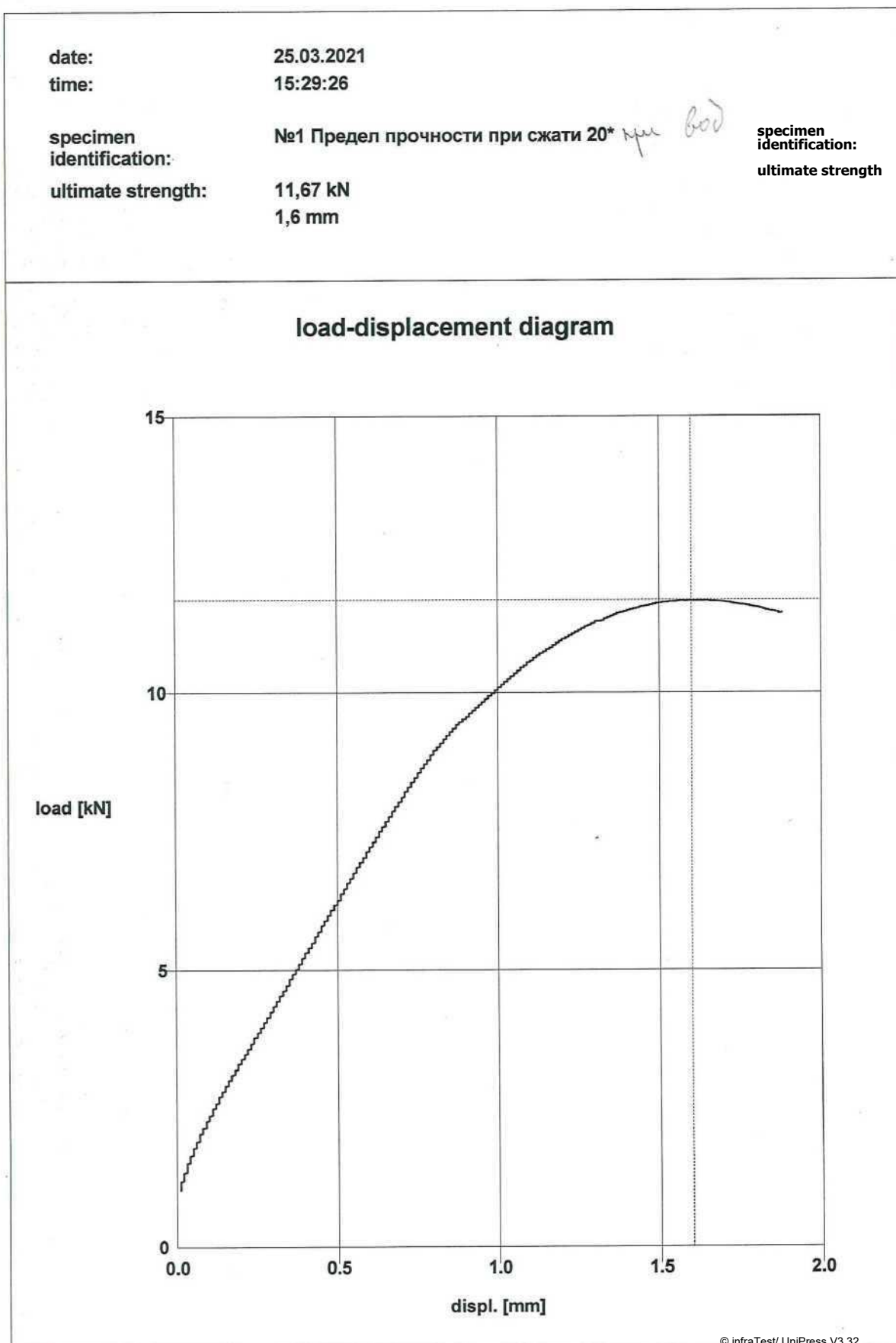
Физико—механические свойства асфальтобетона с битумом БНД 90/130

Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, Н	Площадь поперечного сечения S, см ²	Высота образца h, см	Диаметр образца d, см	Предел прочности при сжатии R, МПа	Среднее значение R, МПа
Определение предела прочности при сжатии при 0 °С						
4	18600	39,57	7,1	7,1	4,7	4,5
5	16780	39,57	7,1	7,1	4,2	
6	18450	39,57	7,1	7,1	4,7	
Определение предела прочности при сжатии при 20 °С						
1	11670	39,57	7,1	7,1	2,9	3,3
2	12630	39,57	7,1	7,1	3,2	
3	14370	39,57	7,1	7,1	3,6	
Определение предела прочности при сжатии при водонасыщении при 20 °С						
7	19100	39,57	7,1	7,1	4,8	4,6
8	18350	39,57	7,1	7,1	4,6	
9	16890	39,57	7,1	7,1	4,3	
Определение предела прочности при сжатии при 50 °С						
7	1288	39,57	7,1	7,1	0,3	0,3
8	1404	39,57	7,1	7,1	0,4	
9	1356	39,57	7,1	7,1	0,3	
Определение предела прочности на растяжение при расколе при 0 °С						
13	16210	39,57	7,1	7,1	3,2	3,3
14	15020	39,57	7,1	7,1	3,0	
15	18760	39,57	7,1	7,1	3,7	

Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, Н	Работа А, Дж	Предельная деформация l, мм	Среднее значение А, Дж	Коэффициент внутреннего трения tgφ	Сцепление при сдвиге С, МПа	Разрушающая нагрузка Р, Н	Работа А, Дж	Предельная деформация l, мм	Среднее значение А, Дж	Коэффициент внутреннего трения	Сцепление при сдвиге С, МПа
Определение предела прочности при одноосном сжатии при 50 °С												
16	1041	0,22	0,43	0,39	1,0	0,31	предела прочности при одноосном сжатии при 50 °С					
17	1221	0,38	0,62				8712	3,14	0,72	0,99	0,99	0,38
18	1129	0,57	1,01				8787	3,03	0,69			
предела прочности по схеме Маршалла при 50 °С						7655	1,91	0,5				
19	24,47	45,15	3,69	47,43	1,0	0,31	предела прочности по схеме Маршалла при 50 °С					
20	23,40	45,05	3,85				23,54	69,56	5,91	65,74	0,99	0,38
21	23,12	49,82	4,31				21,16	46,45	4,39			
				26,49	85,03	6,42						

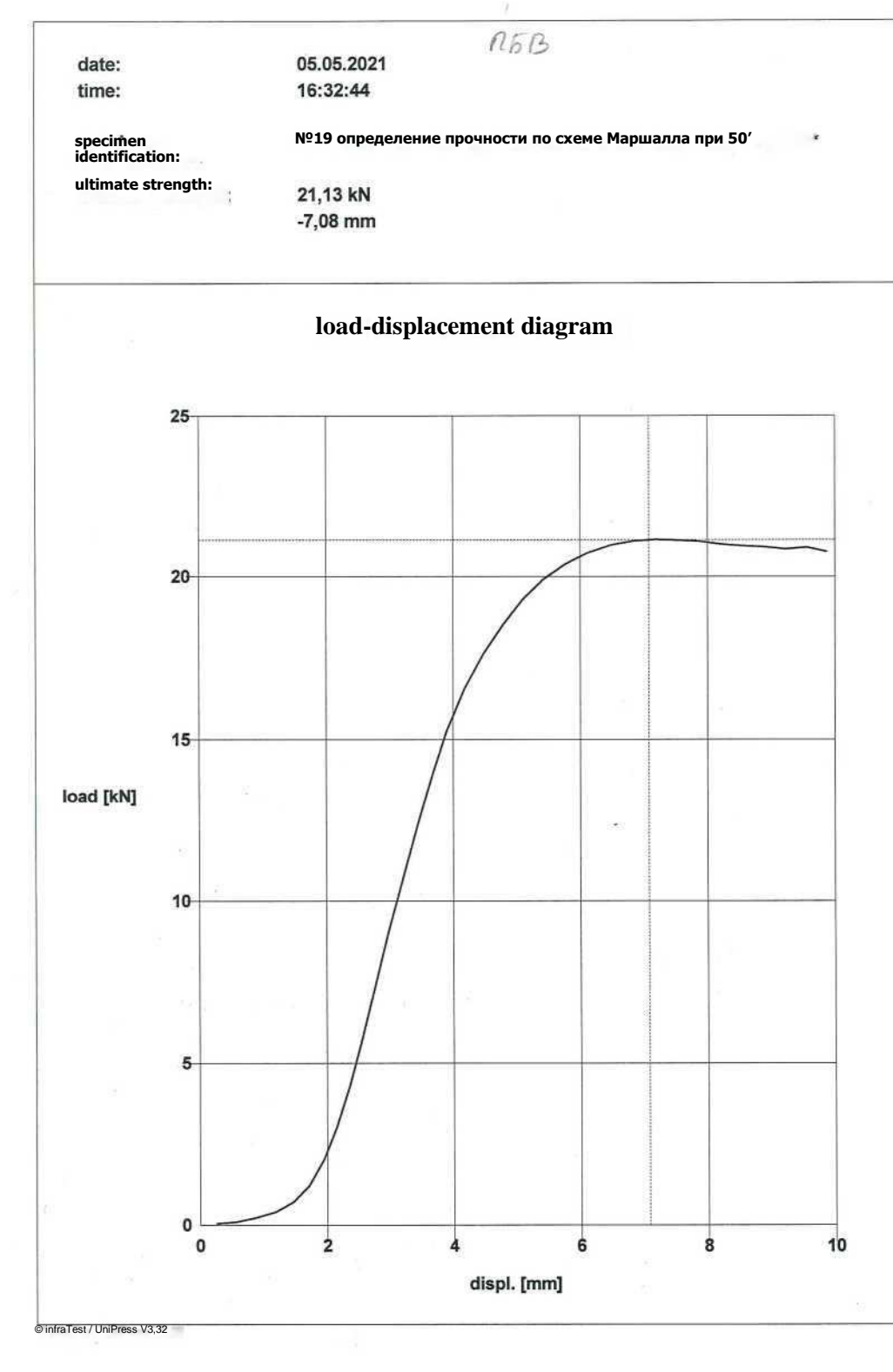
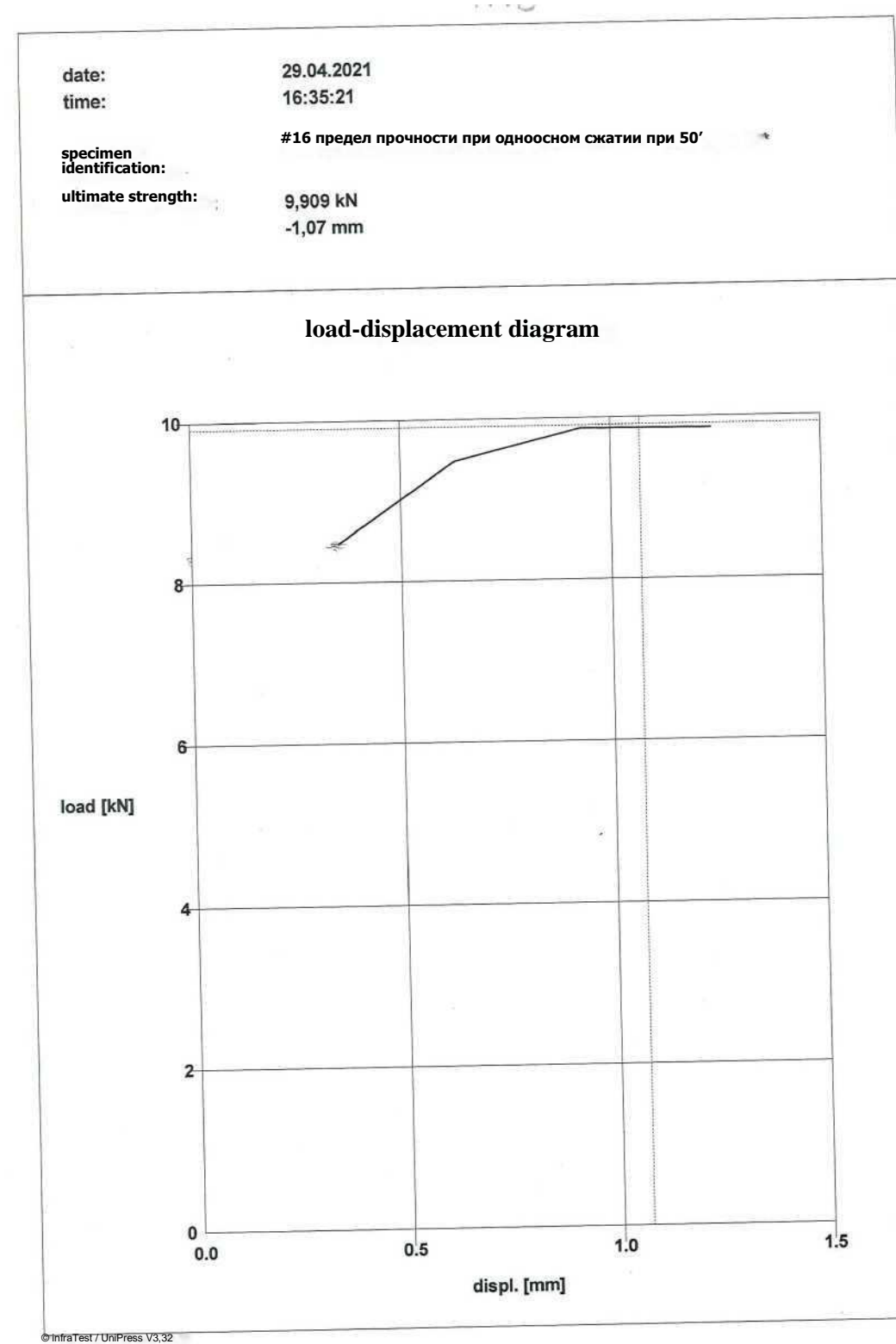
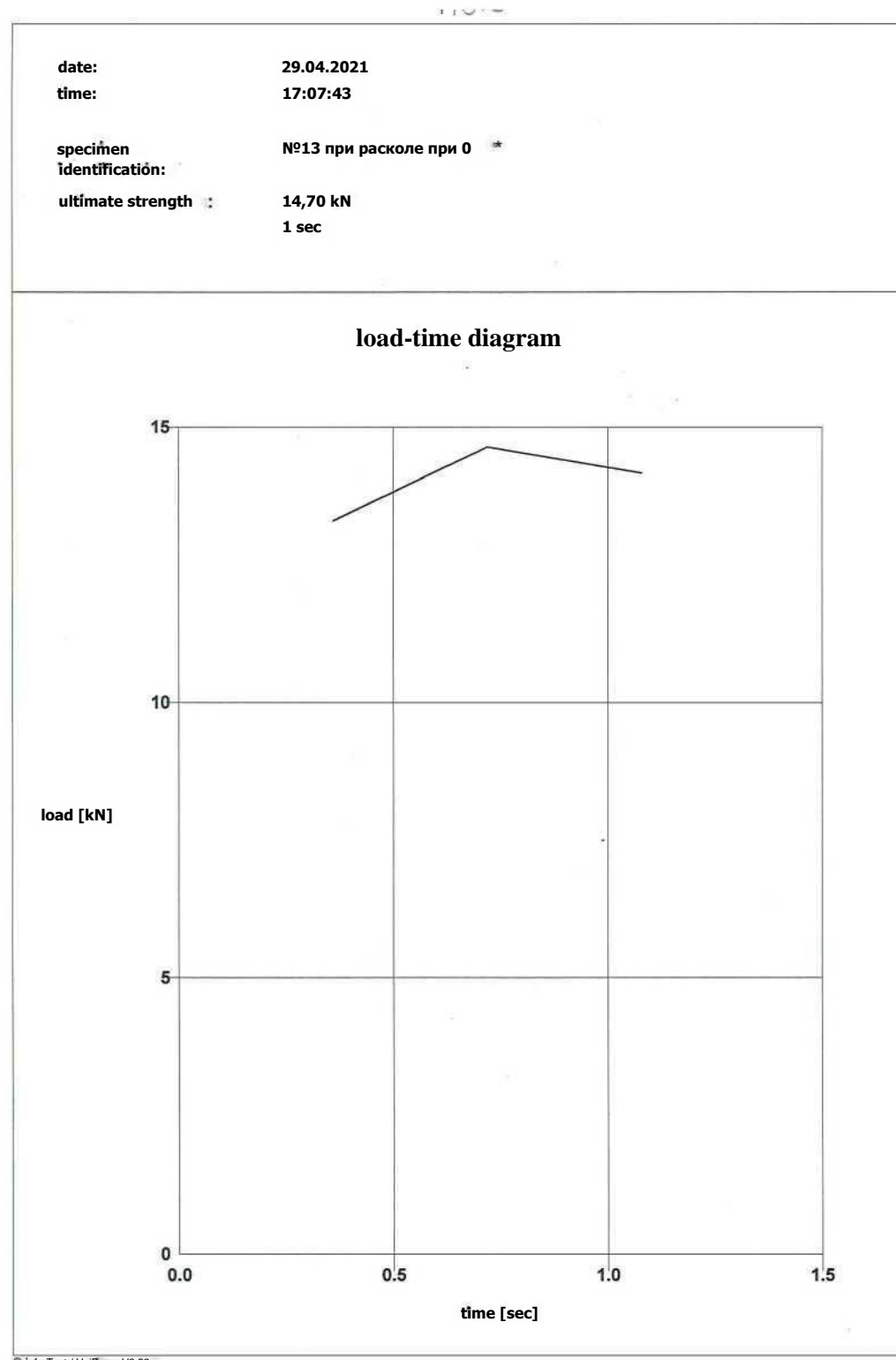
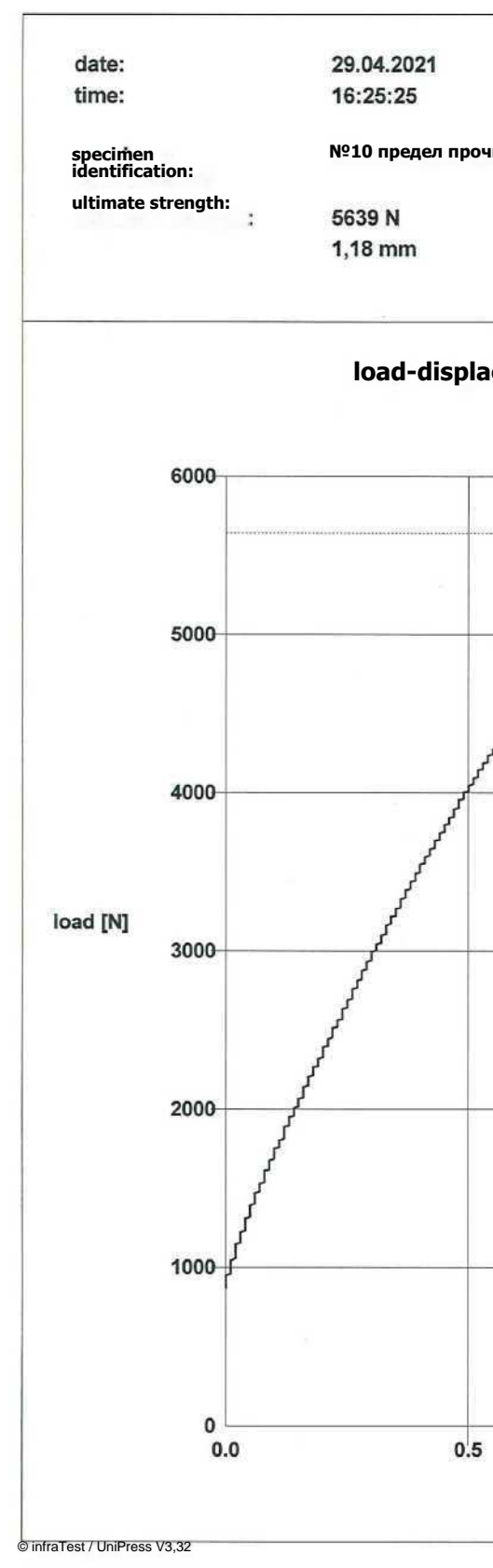
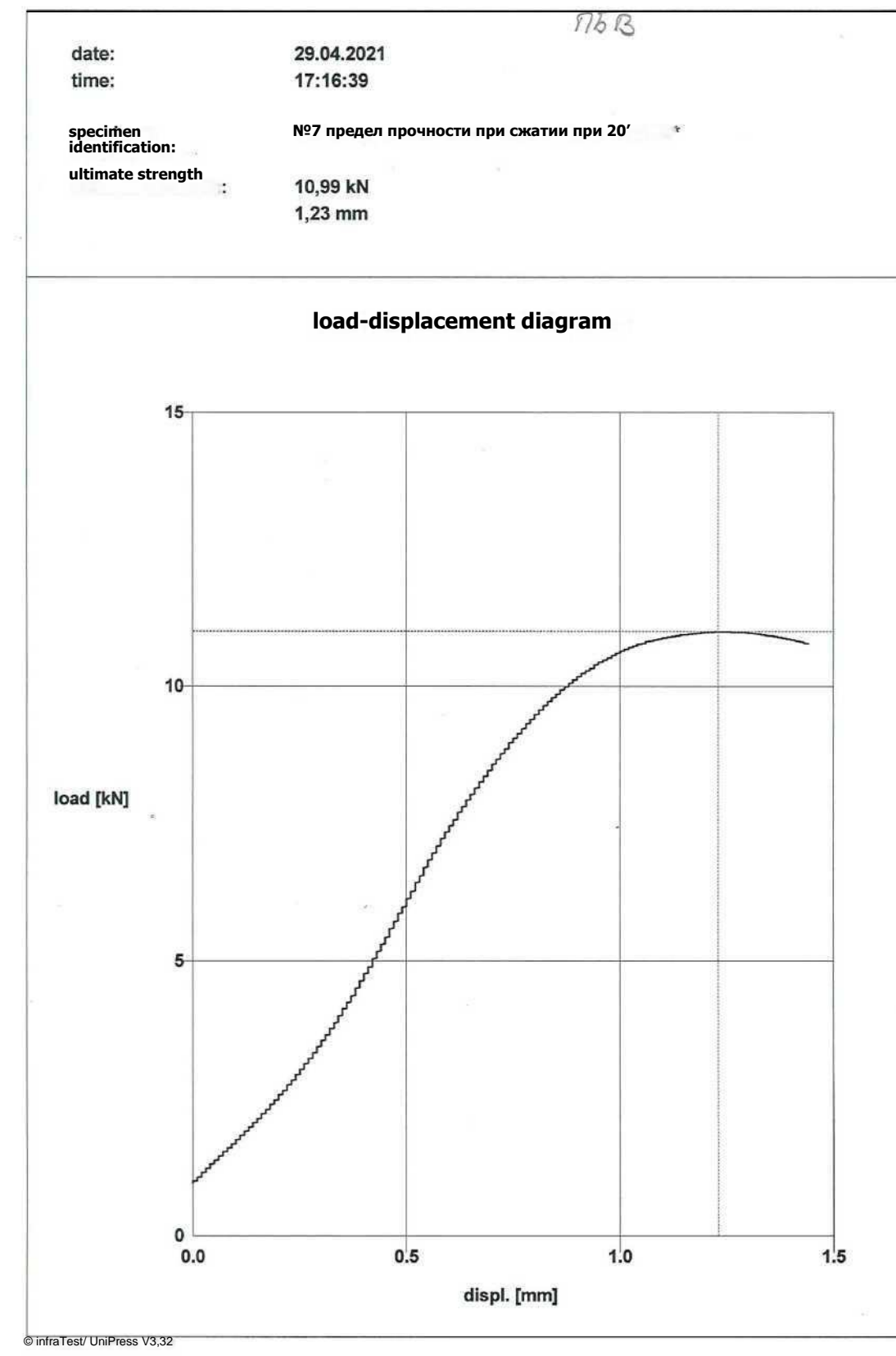
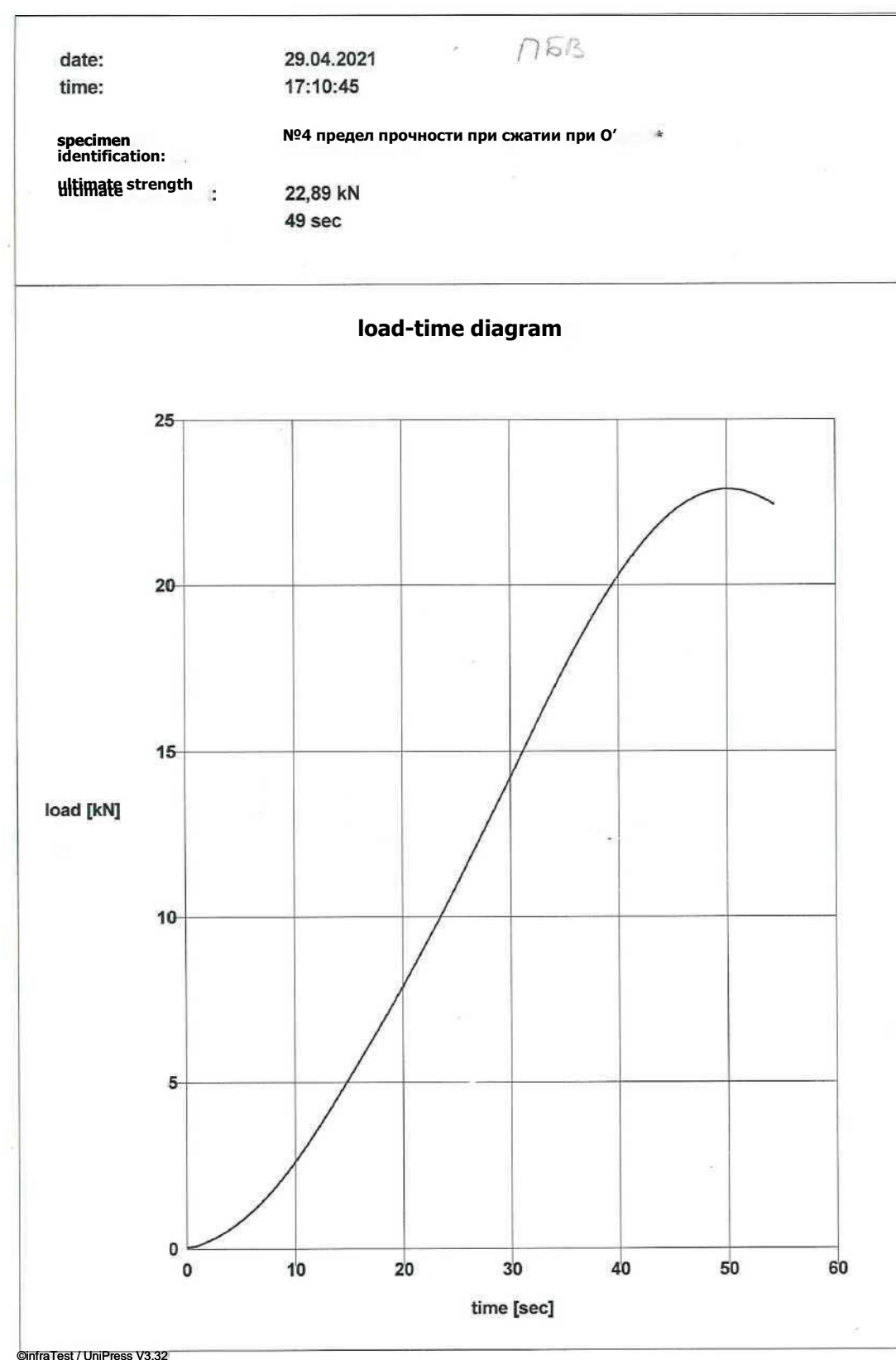
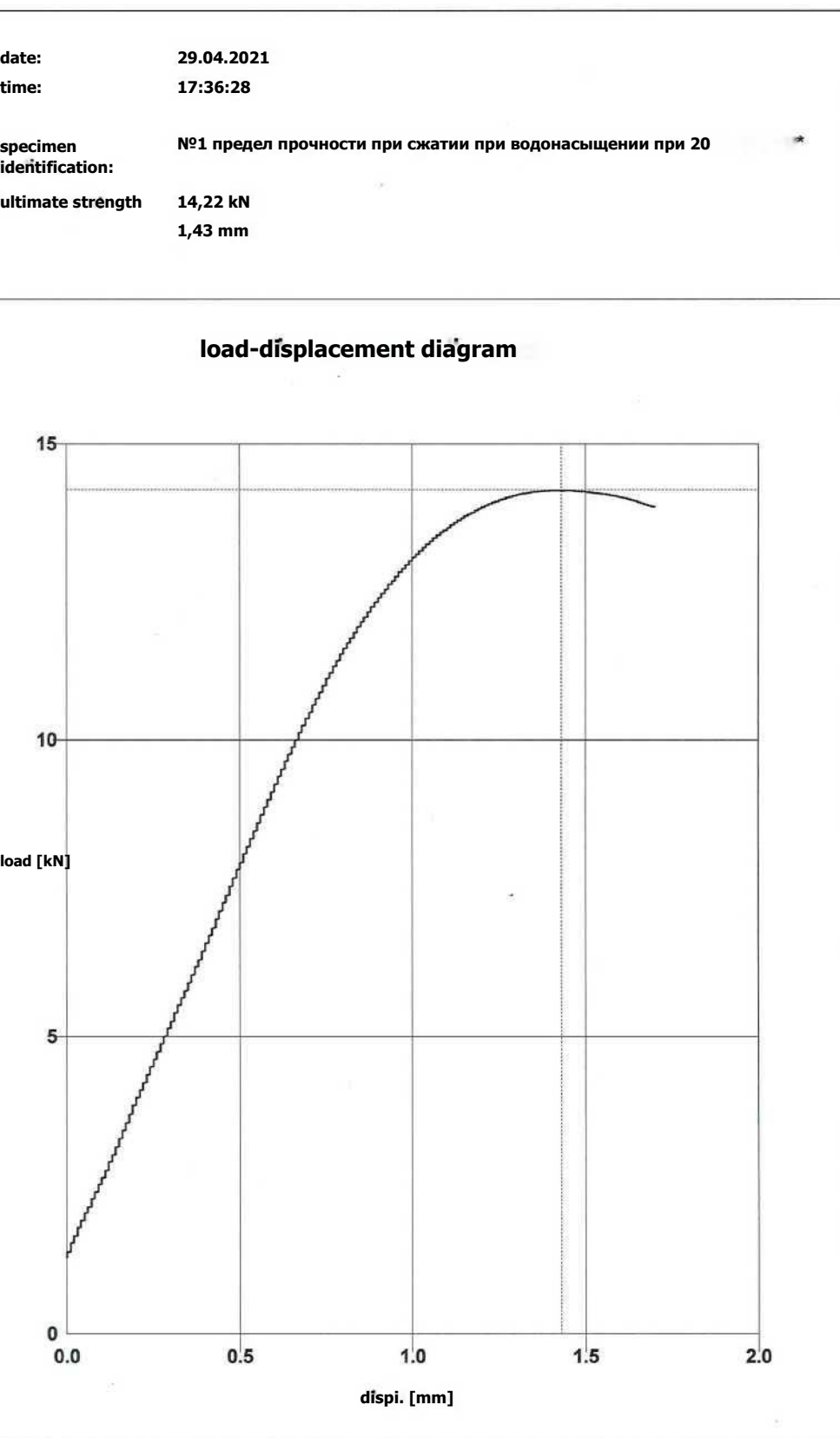
Номер образца	Разрушающая нагрузка Р, Н	Работа А, Дж	Предельная деформация l, мм
Определение предела прочности при одноосном сжатии при 50 °С			
16	990	0,53	1,07
17	939	0,41	0,88
18	954	0,87	1,82
Определение предела прочности по схеме Маршалла при 50 °С			
19	24,47	86,62	7,08
20	23,40	44,93	3,84
21	23,12	52,60	4,55

Графики по результатам испытаний на физико-механические свойства асфальтобетона (битум БНД 90/130)



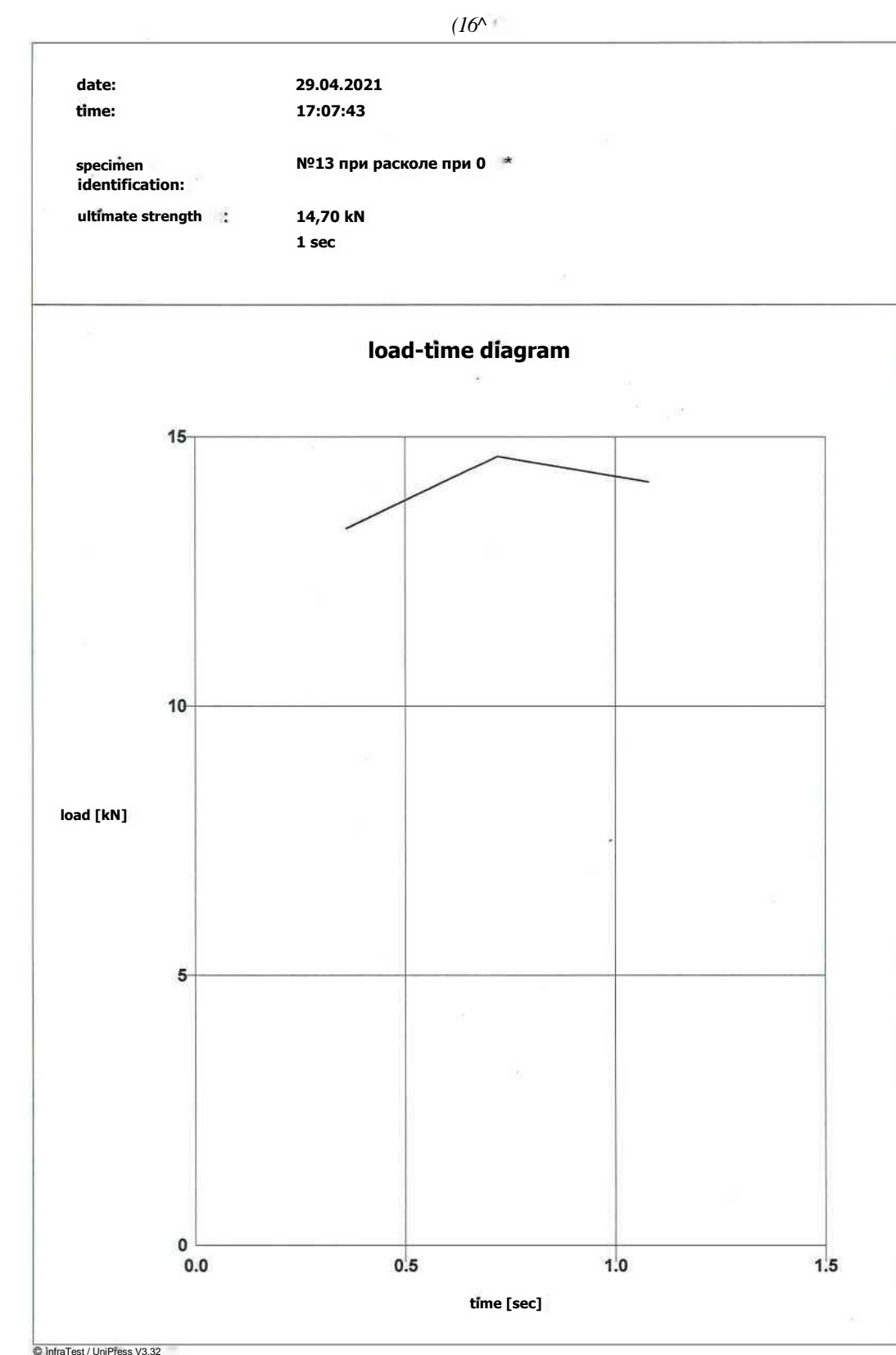
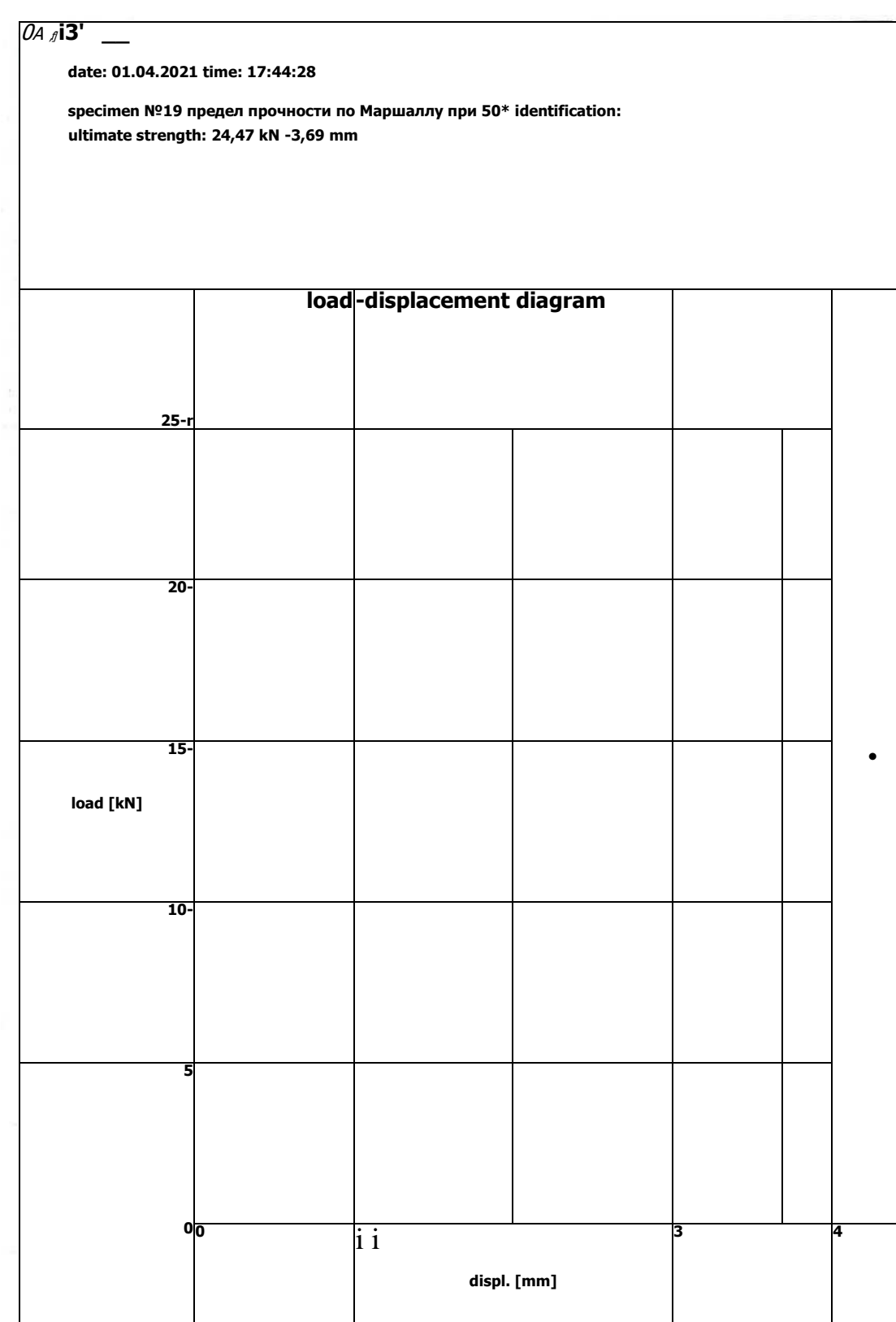
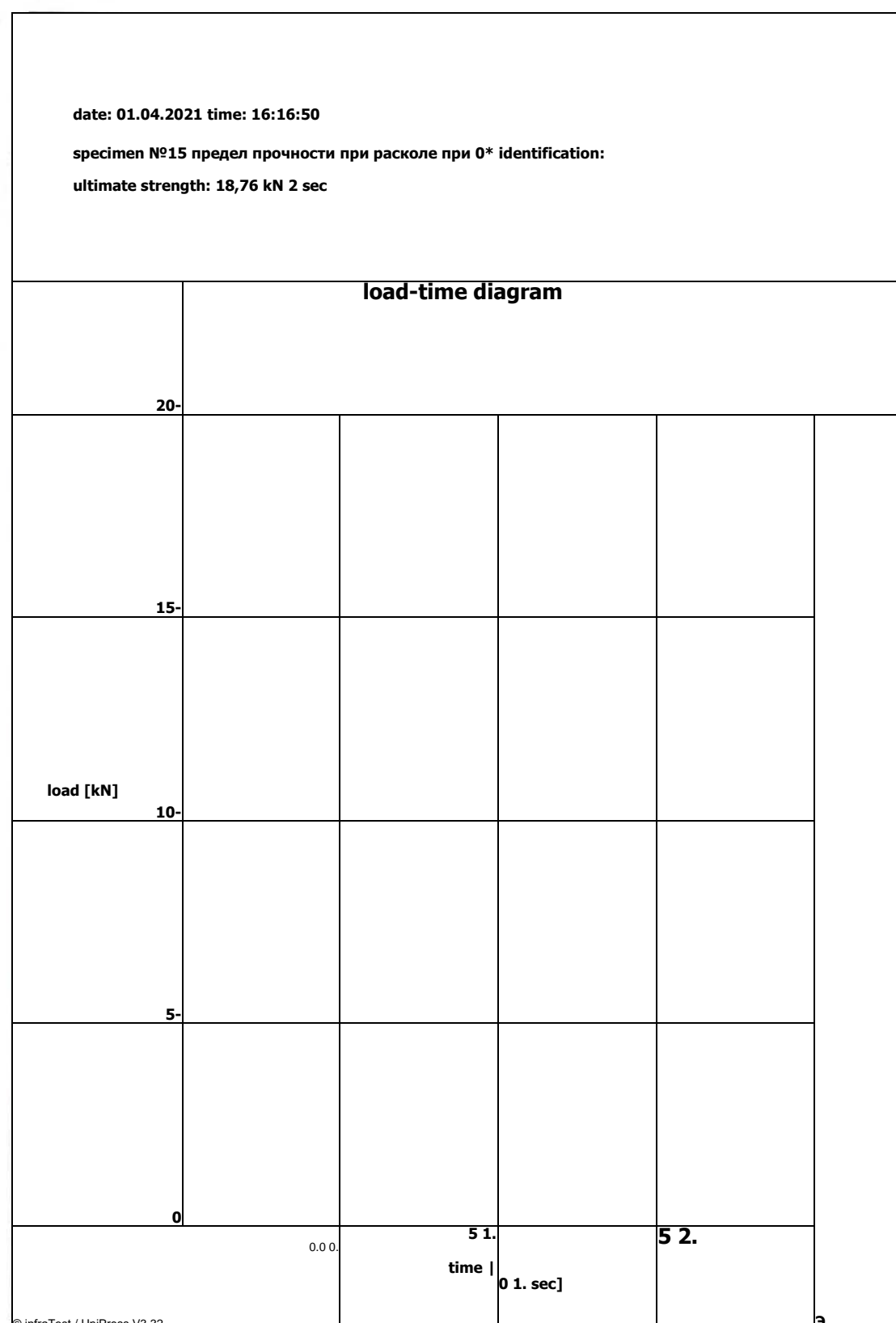
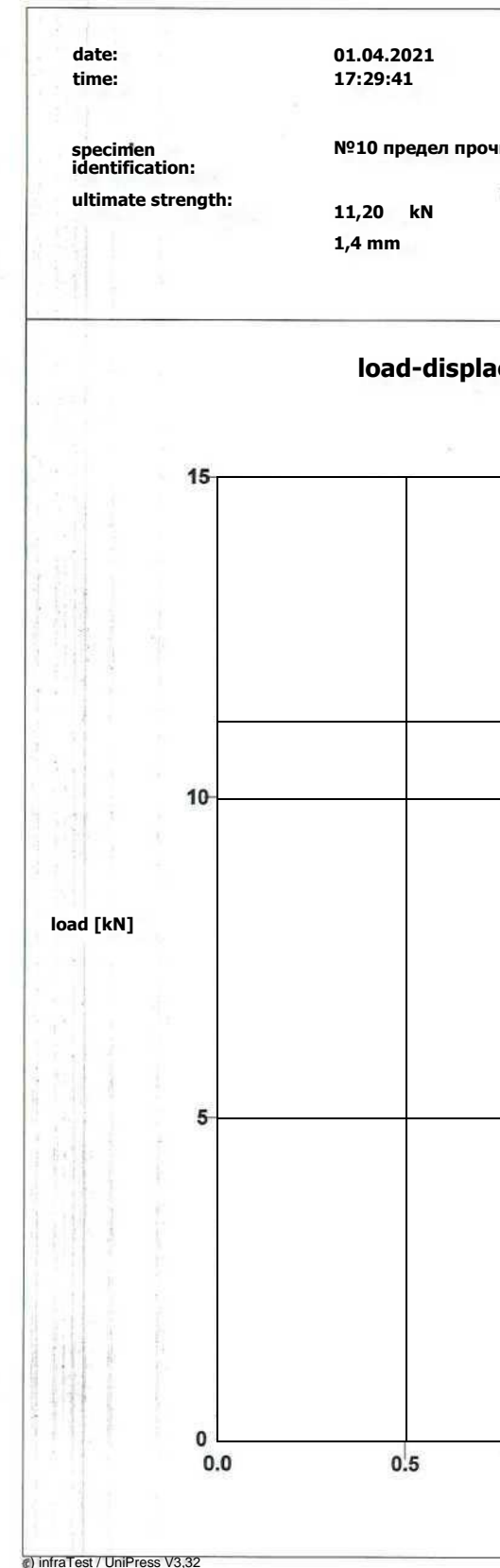
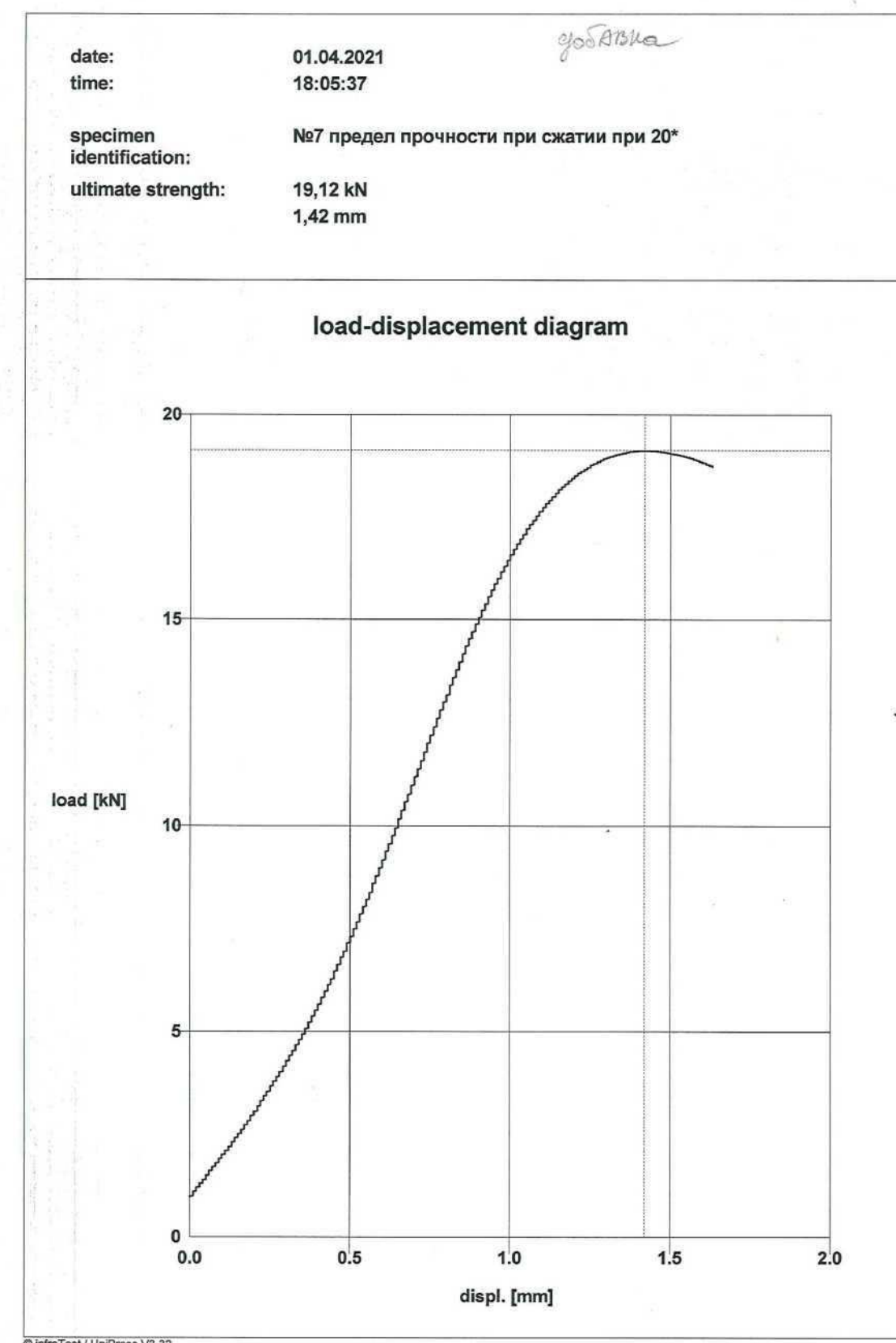
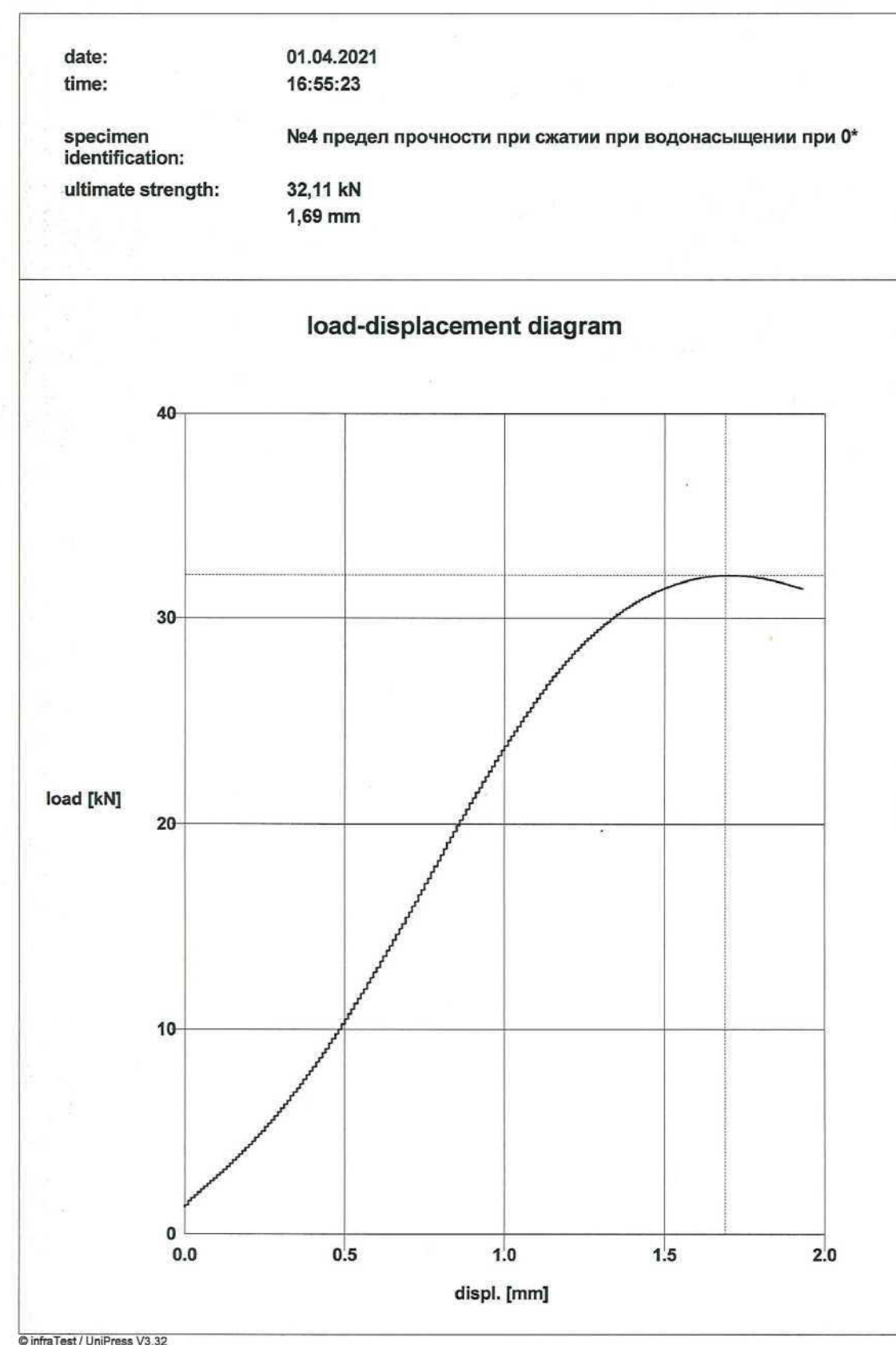
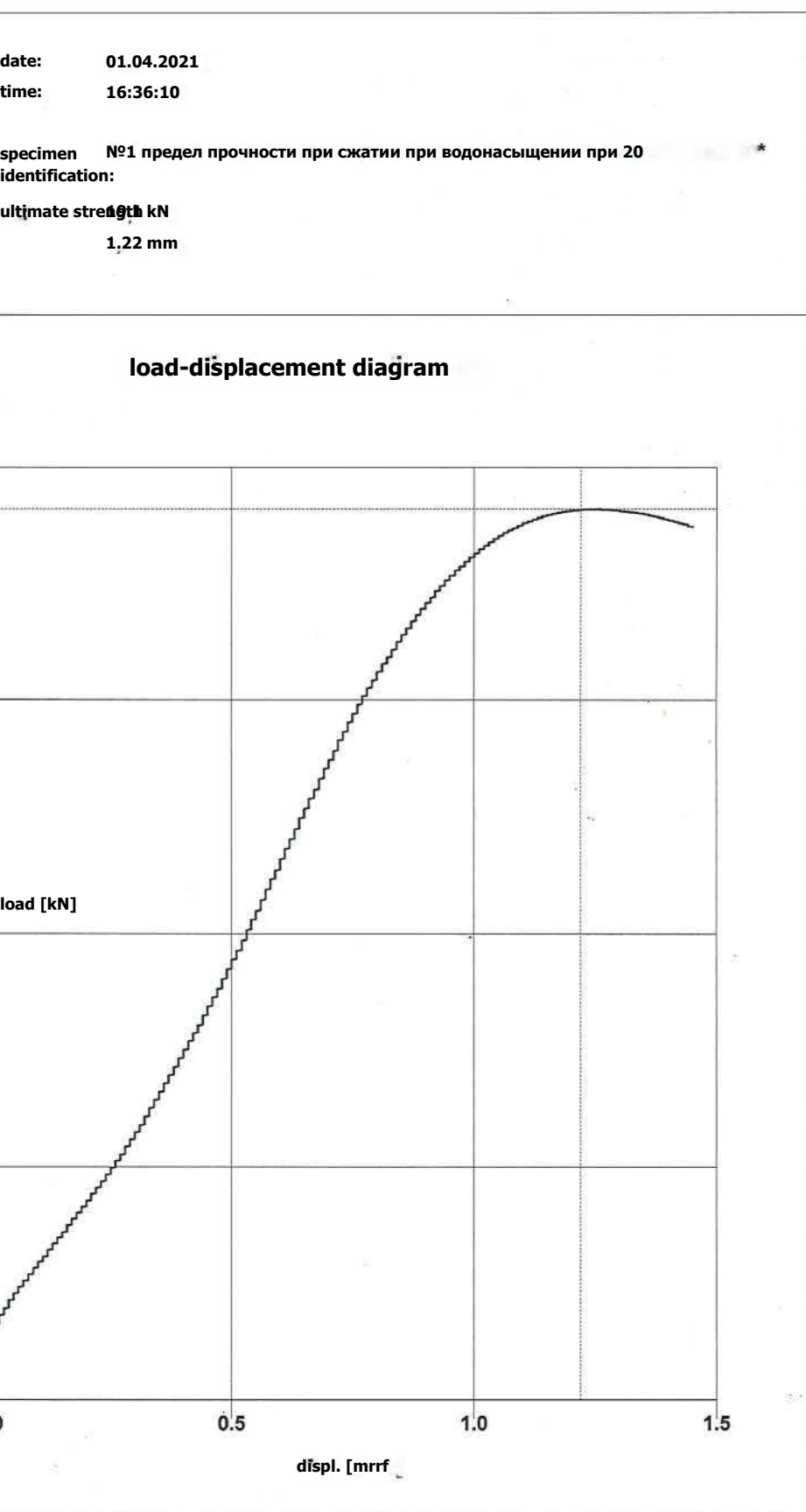
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док	Подп.
Выполнил		Корицкая		
			Бочарева	
Руководитель			Иванова	
Консультант			Просвнин	
Зав. кафедры			Серватинский	

Графики по результатам испытаний на физико-механические свойства асфальтобетона (ПБВ)



Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док	Подп.
Выполнил			Корицкая	
Руководитель			Бочкарева Иванова	
Консультант			Просвиев	
Зав. кафедрой			Серватинский	

Графики по результатам физико-механических испытаний (асфальтобетонная смесь БНД 90/130 с модификатором "ПОЛИЭПОР-Р")



Изм.	Колуч	Лист	№ вех	Позн
Выполнил	Корицкая			
Руководитель	Бочарева			
Консультант	Иванова			
Заб. кафедры	Просвири			
	Сербатинский			

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

Инженерно-строительный институт

институт

Автомобильные дороги и городские сооружения

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.В.Серватинский

подпись

инициалы, фамилия

« 18 » 06 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

08.03.01 «Строительство»

08.03.01.15 «Автомобильные дороги»

На тему: Сравнительный анализ асфальтобетонных смесей с добавками ПБВ по физико-механическим характеристикам и по показателю устойчивости к колееобразованию

Руководитель

18.06.2021
подпись, дата

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

Л.А. Иванова
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

А.С. Корицкая, А.А. Бочкарёва
инициалы, фамилия

Консультант

подпись, дата

И.Г. Просекин
инициалы, фамилия

Красноярск 2021

Продолжение титульного листа ВКР по теме «Сравнительный анализ асфальтобетонных смесей с добавками ПБВ по физико-механическим характеристикам и по показателю устойчивости к колесобразованию».

Консультанты по
разделам:

_____	_____	_____
наименование раздела	подпись, дата	инициалы, фамилия
_____	_____	_____
наименование раздела	подпись, дата	инициалы, фамилия
_____	_____	_____
наименование раздела	подпись, дата	инициалы, фамилия
_____	_____	_____
наименование раздела	подпись, дата	инициалы, фамилия
_____	_____	_____
наименование раздела	подпись, дата	инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

инициалы, фамилия

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

Инженерно-строительный институт

институт

Автомобильные дороги и городские сооружения

кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.В.Серватинский
подпись инициалы, фамилия
«24» «04» 2021 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Корицкой Анастасии Сергеевне, Бочкарёвой Арине Андреевне

Группа ДС17-11БП

Направление 08.03.01 «Строительство»

Специальность 08.03.01.15 «Автомобильные дороги»

Тема выпускной квалификационной работы «Сравнительный анализ асфальтобетонных смесей с добавками ПБВ по физико-механическим характеристикам и по показателю устойчивости к колееобразованию»

Утверждена приказом по университету №3121/с от 4 марта 2021г.

Руководитель ВКР Л.А. Иванова, кандидат технических наук, доцент кафедры АД и ГС ИСИ СФУ

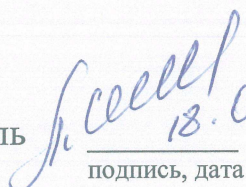
Исходные данные ВКР бакалавра: сделать сравнительный анализ асфальтобетонных смесей по физико-механическим показателям, а также по показателю устойчивости к колееобразованию.

Перечень разделов ВКР:

- введение;
- литературный обзор;
- применяемые материалы и методика исследования;
- сравнительный анализ вяжущего;
- экспериментальная часть;
- подбор состава асфальтобетонной смеси;
- испытание асфальтобетонной смеси на колееобразование;
- подведение полученных результатов испытаний.

Перечень графического материала: 2 листа сравнительных показателей представленных в таблицах, 4 листа сравнительных характеристик в форме графиков.

Руководитель


18.06.2021г.
подпись, дата

доцент, к. т. н.

должность, ученая степень

Л.А. Иванова

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, дата



А.С. Корицкая, А.А. Бочкарёва

инициалы, фамилия