

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МАГНЕТИЗМА

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

**«Свойства дорожного покрытия с ферритмагнитным
наполнителем»**

Выполнил студент

419 группы

Паньков Владимир Вячеславович

Научный руководитель:

Д. ф.-м. н., профессор

Перов Николай Сергеевич

Допущен к защите

Зав. кафедрой магнетизма

Д. ф.-м. н., профессор Перов Н.С.

Москва

2020

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Обзор литературы	4
Современные методы организации транспортного движения.....	4
Перспективы использования дорожного полотна для сохранения информации	8
Запись информации на дорожное полотно.....	10
Ферромагнитные наполнители (концентрация, состав, технология внедрения).....	12
Цель дипломной работы.....	13
Глава 2 Образцы, методика эксперимента	14
Образцы асфальтовых смесей, их различия, производство.....	14
Электромагниты, их свойства и методы использования.....	16
Считывание информации с дорожного полотна.....	19
Конструкция, Программное обеспечение	19
Глава 3 Результаты и их обсуждение	22
Примеры записи информации на образцы дорожного полотна.....	22
Размагничивание и перезапись информации.....	27
Заключение	29
Основные результаты	30
Список Литературы	31

Введение

В настоящее время стоит вопрос о создании интеллектуальной системы управления движением роботизированных транспортных средств. Среди рассматриваемых вариантов имеются различные системы на основе радиопозиционирования, интеллектуальные видеосистемы и др. Возможен также вариант, основанный на использовании магнитоактивного дорожного покрытия с системами бесконтактной записи-считывания с него цифровой информации. В данной работе представлены результаты изучения возможности использования асфальта с ферромагнитными добавками, в частности, частицами окиси железа. В таком асфальте можно добиться эффекта хранения информации, что раскрывает обширные возможности для управления дорожным движением. Подобная информация на дорожном покрытии представляет интерес для активно развивающихся в наше время областей городской инфраструктуры, таких как беспилотное движение транспортных средств, автоматизированная доставка продуктов и других заказов с помощью курьерских роботов. А также для организации трафика в городских туннелях, где теряется связь со спутниками и система GPS навигации оказывается бесполезной. Если дать технике возможность считывать информацию о своем положении непосредственно с дорожного покрытия, проблема потери связи со спутником в беспилотных автомобилях полностью уйдет.

Цель настоящей работы:

Исследование возможностей применения асфальта с ферромагнитным наполнителем, актуальности данной темы, а также способов записи и считывания информации.

Обзор литературы

Современные методы организации транспортного движения

Согласно требованиям правительства Российской Федерации к транспортным средствам с автоматизированным управлением [1] транспортные средства обязаны:

- обеспечивать в приоритетном порядке безопасность дорожного движения;
- осуществлять сетевое взаимодействие с дорожно-транспортной инфраструктурой при наличии такой технической возможности с ее стороны;
- выдавать водителю однозначное уведомление в том случае, когда транспортное средство выходит за пределы среды штатной эксплуатации...

Поскольку подключенные автомобили имеют широкий диапазон потенциальных уязвимостей, решения по обеспечению безопасности должны быть многоуровневыми, чтобы обеспечить оптимальную защиту, а вышеперечисленные требования к обеспечению безопасности должны учитываться еще на этапе разработки транспортного средства и быть неотъемлемой частью его жизненного цикла.

Это лишь краткий список требований, но это ключевые пункты, которые можно выполнить с помощью магнитной записи информации на дорожном полотне. И, как видите, вышеприведенные требования обязывают учитывать все возможные условия эксплуатации автомобилей и позволяет вносить изменения в конструкцию беспилотного транспортного средства на этапе его проектирования и производства, либо же обязывает доработать уже существующие под новые условия. В частности, возможна установка на транспортные средства считывающих устройств.

Какие есть предпосылки для внедрения еще одной системы безопасности и/или получения информации автоматизированным транспортным средством с помощью магнитной записи на асфальтовом покрытии? Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть существующие активно применяющиеся и перспективные системы позиционирования на дорогах, обратив особое внимание на их слабые места и недостатки, которые можно компенсировать записью информации на дорожном покрытии.

GPS и ГЛОНАСС навигация

Классический тип спутниковой навигации, GPS и ГЛОНАСС применяются очень широко, однако с появлением беспилотных автомобилей, которые должны получать информацию о координатах находящихся поблизости объектов с точностью до нескольких сантиметров, спутниковые измерения оказываются неприменимы, они также не позволяют получать информацию о разметке, позиционировать транспортные средства в тоннелях, многоуровневых развязках, а также не используются в автоматизированных складских и производственных комплексах.

Принцип работы спутниковой навигации:

Современная спутниковая навигация основывается на использовании принципа беззапросных дальномерных измерений между навигационными спутниками и потребителем. Это означает, что потребителю передается в составе навигационного сигнала информация о координатах спутников. Одновременно (синхронно) производятся измерения дальностей до навигационных спутников. Способ измерений дальностей основывается на вычислении временных задержек принимаемого сигнала от спутника по сравнению с сигналом, генерируемым аппаратурой потребителя.

На рисунке (рисунок 1.) приведена схема определений местоположения потребителя с координатами x, y, z на основе измерений дальности до четырех навигационных спутников. Цветными яркими линиями показаны окружности, в центре которых расположены спутники. Радиусы окружностей соответствуют истинным дальностям, т.е. истинным расстояниям между спутниками и потребителем. Цветные неяркие линии – это окружности с радиусами, соответствующими измеренным дальностям, которые отличаются от истинных и поэтому называются псевдодальностями. Истинная дальность отличается от псевдодальности на величину, равную произведению скорости света на уход часов b , т.е., величину смещения часов потребителя по отношению к системному времени. На рисунке показан случай, когда уход часов потребителя больше нуля – то есть часы потребителя опережают системное время, поэтому измеренные псевдодальности меньше истинных дальностей.

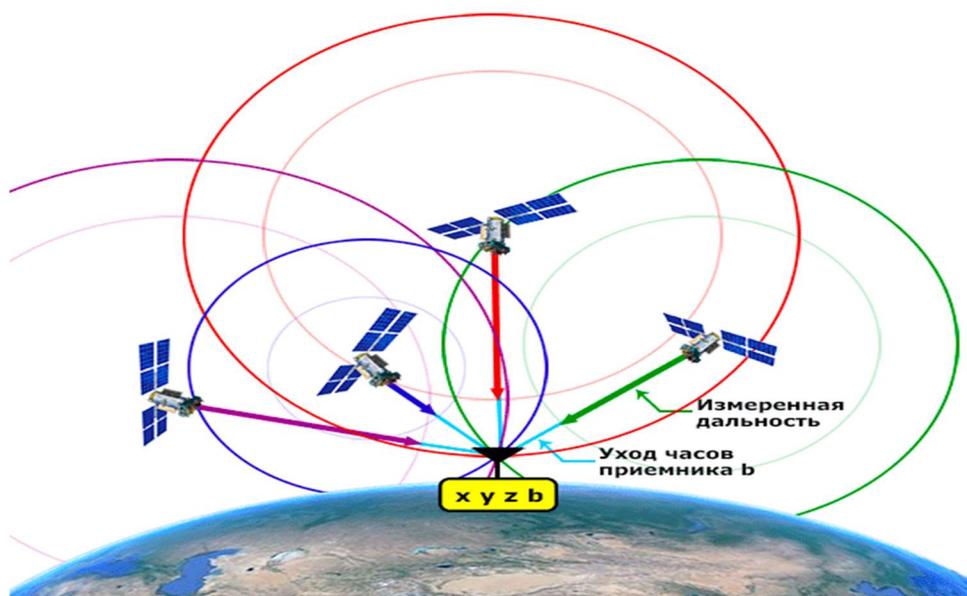


Рисунок 1. Схема определений местоположения потребителя с координатами x, y, z на основе измерений дальности до четырех навигационных спутников

Камера + процессор обработки изображений

Эта система применяется в автоматизированных транспортных средствах всех степеней автономности. Однако для бесперебойного функционирования беспилотника одной камеры недостаточно, поэтому все производители ставят электронные системы интеллектуального управления, аналоги человеческого мозга, основанные на процессорах обработки изображений. А вот с обработкой изображений в городе и возникают проблемы, причиной этому могут быть и оптические иллюзии (иначе — генеративно-состязательные атаки) и плохие погодные условия и стертая дорожная разметка. Последние два пункта особенно частая проблема для Российских городов с плотным трафиком, тяжелыми погодными условиями и недостаточным качеством дорожного покрытия.

Радар

То, что камеры не способны распознавать удаленные объекты и отображать объем объектов можно компенсировать с помощью радаров, излучающих радиосигналы с частотой 24 и 77 ГГц. Подобные радары применяются и в дорогих системах ADAS и в Tesla, однако у радаров угол действия обратно пропорционален дальности действия и высокая себестоимость, что ограничивает круг применения радаров исключительно дорогостоящими транспортными средствами.

Лидар

Лидар это активный дальномер оптического диапазона.

Они считаются самым эффективным сенсором для автономных транспортных средств. Множество лазерных лучей, отражающихся от препятствий и возвращающихся обратно к беспилотнику позволяют построить точную и детализированную картину окружающего пространства, распознавая любые препятствия. Однако, несмотря на заоблачную стоимость, они абсолютно

беспомощны в дождь и снег, так как лучи отражаются от капель и хлопьев снега. По этой причине компания Tesla отказалась от использования лидаров в своих автомобилях.

Инерциальная навигация

Принцип работы инерциальной навигации заключается в определении угловых скоростей объекта, его ускорений, курса и координат, а также пройденного пути. По совокупности этих данных строится траектория пути, который прошел объект, а также по заранее внесенным данным маршрута рассчитываются необходимые значения всех параметров для следования по маршруту. Бесспорный плюс подобного метода в высокой автономности, однако область применения ограничена малыми беспилотниками в складских, заводских или офисных помещениях.

Перспективы использования дорожного полотна для сохранения информации

Как бы хорошо ни смотрелась связка из камер, радара и ультразвуковых датчиков (рисунок 2), и у них бывают сбои. В 2018 году автомобиль Tesla Model S в режиме автопилота врезался в дорожный разделитель, что стало причиной гибели водителя. Как показало расследование со стороны владельцев электромобиля, автопилот Tesla не смог правильно считать стершуюся разметку, а камеры и радары, в свою очередь, не увидели опасности в стремительно надвигающемся стальном барьере. [5]

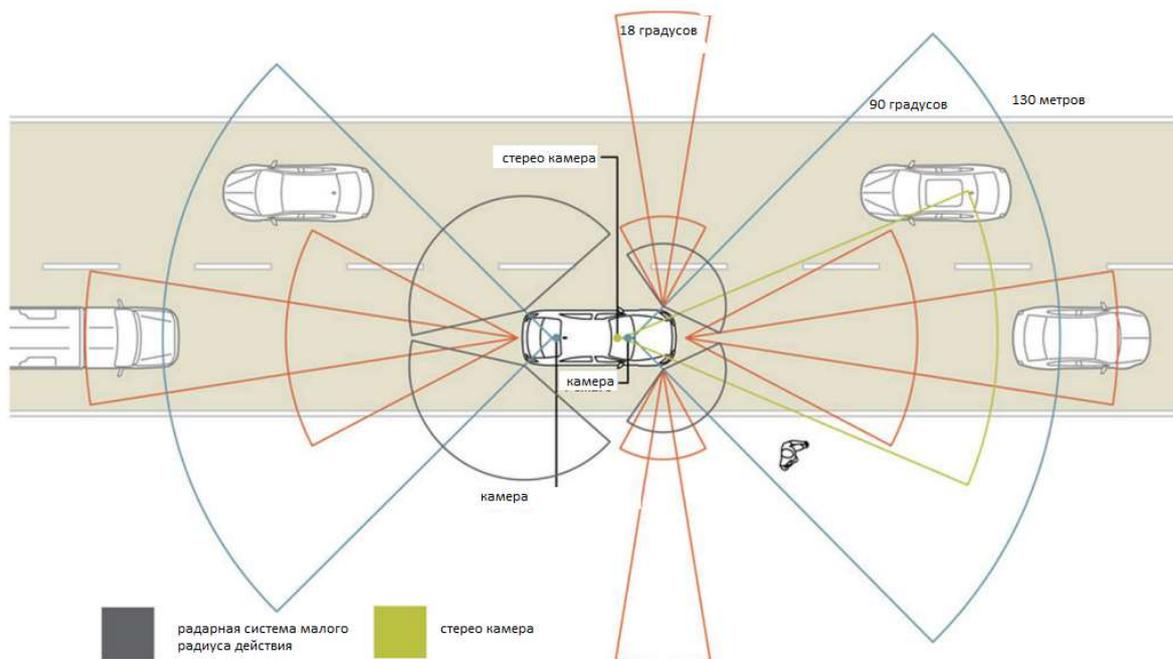


Рисунок 2. Системы позиционирования автомобиля Tesla

Магнитная запись информации на дорожном полотне точно может позволить беспилотным транспортным средствам избегать столкновения со стационарными объектами при любых погодных условиях, даже при нулевой видимости, эта информация не стирается, как дорожная разметка, и не подвержена механическому разрушению, как электромаяки. Также предполагается, что с помощью магнитной записи в двоичном формате на дорожном покрытии можно записывать целые блоки информации, такие как координаты, предупреждения об ограничениях скорости, предупреждения о смене типа дорожного покрытия и так далее.

Подобная методика может быть полезна и в случае с автоматизированными системами, работающих в закрытых помещениях: на складах, производствах, в офисах или торговых центрах. Здесь с помощью магнитной записи можно создавать линии, вдоль которых будут двигаться автоматические комплексы. Подобная технология существует и активно используется [15]. Это навигация

по магнитной ленте, наклеенной на пол, или же по проложенному проводу, однако, в первом случае наклейка может слезть, а второй метод расходует далеко не бесплатную электроэнергию и усложняет укладку пола, так как требует качественной изоляции провода. Поэтому запись непосредственно на бетонном покрытии пола может быть актуальным решением, объединяющим плюсы обоих методов.

Запись информации на дорожное полотно

Важнейшим элементом всякого устройства магнитной записи в значительной мере определяющим его основные технические показатели является носитель записи, его характеристики и свойства [6].

Можно провести прямые аналогии между записью на дорожном полотне и записью на магнитной ленте. Поэтому проблемы записи, методы решения этих проблем, а также требования к носителю информации схожи. Как пример требований к носителю информации можно привести список требований к магнитным лентам [6]:

- Высокая плотность записи на единицу длины носителя;
- Высокая отдача;
- Минимальные нелинейные искажения при заданном динамическом диапазоне;
- Длительный срок службы в различных условиях, включая резкие перепады температур;
- Низкая стоимость;
- Хорошая перезаписываемость.

Рассмотрение записи на дорожное полотно можно начать сразу с первого требования. Итак, какая плотность записи на единицу длины носителя

подходит для нашего случая и будет использоваться в эксперименте. В связи с особенностями использования намагниченного полотна плотность записи не может быть такой же высокой, как на магнитной ленте. Величину минимального пятна записи можно приблизительно рассчитать, опираясь на уже известные данные о магнитной записи на ленте. Нам нужно, чтобы информацию могло считать любое транспортное средство. Отталкиваясь от величины дорожного просвета транспортных средств в 200 мм можно предположить, что запись одного бита информации должна осуществляться на квадрате со стороной 100 мм, так как в магнитной записи на пленке именно такое соотношение (2:1) является пределом чувствительности. Получится ли считать и обработать информацию, записанную с такой плотностью? Для обработки информации, записанной на участке с размерами 10x10 сантиметров, транспортному средству, двигающемуся со скоростью 100 км/ч потребуется время $0,1\text{ м} / 27,8\text{ м/с} = 0,0036\text{ сек}$ ($100\text{ км/ч} = 100 * 1000 / 3600 = 27,8\text{ м/с}$). Частота работы процессора в современных автомобилях минимум 2 ГГц, а это значит, что время одного такта = $5 * 10^{-10}$ секунд. Делаем вывод, что времени для обработки полученных данных у автомобильного процессора будет достаточно.

Ориентация намагниченности

На основе анализа существующих методов записи информации на линейные носители было принято решение об использовании перпендикулярной записи (рисунок 3). Такая запись не только позволяет увеличить плотность считываемой информации, но и позволяет считывать информацию с большего расстояния, а также меньше подвержена размагничивающим факторам, чем продольная запись. Головки для перпендикулярной записи информации создают более сильные магнитные поля, чем те, что используются для продольной записи. Таким образом, возможно использование магнитного слоя, имеющего более высокий уровень магнитной коэрцитивности.

Также такой метод позволяет расположить на транспортном средстве лишь один считывающий датчик, что может существенно упростить конструкцию.



Рисунок 3. Принцип перпендикулярной записи информации.

Также важно учесть необходимость обеспечения устойчивости намагниченного дорожного полотна к размагничиванию. Как известно магнитное поле образуется вокруг любого ферромагнитного предмета, а автомобиль, напичканный большим количеством стальных деталей и электроникой, и движущийся с большой скоростью является довольно мощным источником магнитного поля. Стоит учесть, что сейчас все чаще применяются электромобили с очень мощными электродвигателями, принцип работы которых основан на генерации магнитного поля высокой напряженности.

С учетом вышеописанных требований для добавления в асфальт на первом этапе был использован маггемит (частицы гамма-окиси железа с размерами до сотен нанометров).

Ферримагнитные наполнители (концентрация, состав, технология внедрения...)

Ферримагнитное дорожное полотно характеризуется неподвижным закреплением магнитного порошка, поэтому эффект взаимодействия индикатора с магнитным полем заключается в локальном намагничивании

участков образца, создающих затем магнитное поле рассеяния. Такая ситуация полностью аналогично ситуации на магнитных лентах, где порошок наносится на поверхность ленты и не меняет своего положения при намагничивании. В выборе ферромагнитного наполнителя отталкивались от работ по усовершенствованию магнитной ленты.

Выбор был между порошком карбонильного железа и порошком окиси железа. Порошок оксида железа применяется в магнитных лентах с 1940х годов, он дешевый, его просто добавлять в материал.

Также в лентах большую роль играет форма порошка, игольчатые частицы оказались благоприятнее шарообразных потому, что ориентирование их параллельно продольной оси ленты позволяет улучшить свойства лент. В случае с дорожным покрытием ориентировать частицы при заливке возможности не будет, поэтому форма не важна.

Но вот записать информацию непосредственно при укладке дорожного покрытия можно, так как частицы добавляются в битум, который является связующим материалов в асфальтовой смеси и при высокой температуре во время укладки битум жидкий, поэтому записать информацию в это время проще.

Цель дипломной работы

Целью настоящей работы является изучение возможностей записи и считывания информации в различных форматах на асфальтовое дорожное покрытие с ферромагнитной добавкой, в частности, оксида железа. На основе полученных данных о возможности считывания и записи информации будут подтверждены или опровергнуты вышеуказанные предположения о сфере и актуальности использования подобного метода.

Изучаются различные методы записи. Возможности записи с помощью постоянных магнитов и электромагнитов разной формы. Проверяется удобство записи обоими методами. Исследуется время размагничивания поверхности.

Немаловажным пунктом измерений является исследование чувствительности датчиков к магнитному полю образца, в зависимости от расстояния. То есть будет определено максимальное расстояния от считывающего устройства до образца с записанной информацией, обеспечивающее надежное считывание информации.

Образцы, методика эксперимента

Образцы асфальтовых смесей, их различия, производство

Образцы изготавливались в лаборатории кафедры Дорожно строительных материалов Московского Автодорожного института (МАДИ) под руководством профессора Васильева Ю.Э..

Всего исследовалось три одинаковых по форме и размерам образца, один из которых не содержал ферромагнитного наполнителя (контрольный), а два других были изготовлены с весовым содержанием магнитных частиц в один и два процента. Каждый образец асфальта имеет размеры 7х26х40 см. (рисунок 4). Состав образцов представлен в папорте (рисунок 5), а также различный процент содержания оксида железа.

Для изготовления образца щебень, песок и минеральный порошок должны быть предварительно высушены, а битум обезвожен [12]. Минеральные материалы в количествах, заданных по составу, отвешивают в емкость (таз, противень и т. п.), нагревают при систематическом перемешивании до температуры, указанной в табл. 1, и добавляют требуемое количество битума, нагретого в отдельной емкости до температуры, указанной в табл. 1.

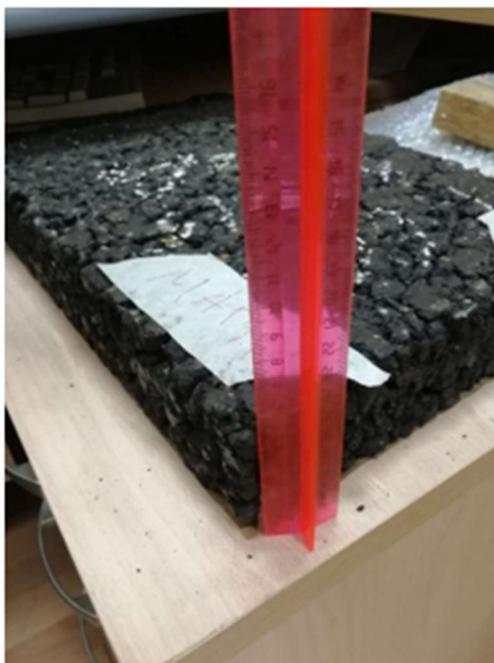


Рисунок 4. Общий вид образца асфальта с магнитными частицами

ШМА-20 МГУ с добавлением металлического порошка			
состав I			
Зерновой состав			
	Фр	%	20 кг
1	Щебень габбро-диабаз, Фр. 15-20	37	7,4
2	Щебень габбро-диабаз, Фр. 10-15	27	5,4
3	Щебень габбро-диабаз, Фр. 5-10	10	2
4	Песок из отсевов дробления	16	3,2
5	Минеральный порошок	5	1
6	Металлический порошок	5	1
7	БНД 60/90, св. 100% в м.ч.	5,25	1,05
	Всего	105,25	21,05
Плотность а/б		2,72	т/м ³
Водонасыщение а/б		4,382	%

Рисунок 5. Состав образца

Смесь минеральных материалов предварительно перемешивают с битумом затем помещают в лабораторную мешалку для полного и равномерного перемешивания всех компонентов. Время перемешивания смеси в лабораторных мешалках устанавливают опытным путем. Оно должно быть постоянным для каждого вида асфальтобетонной смеси (в среднем 3 – 6 мин). Если все зерна минерального материала равномерно покрыты битумом и в смеси нет отдельных сгустков битума, то перемешивание достаточное.

При использовании в составе асфальтобетонной смеси активированного минерального порошка его вводят в холодном виде в смесь щебня и песка,

предварительно нагретых до температуры на 20 – 40°С выше, чем указано в табл. 1.

Условия приготовления образцов	Вид асфальтобетонов и марки применяемы битумов			
	Горячие	Теплые		Холодные
	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 60/90 БН 90/130	БНД 130/200 БНД 200/300 БН 130/200 БН 200/300	СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200	СГ 70/130 МГ 70/130 МГО 70/130
Температура нагрева минерального материала, °С	150 – 170	120 – 140	100 – 120	100 – 120
Температура нагрева битума, °С	130 – 150	100 – 120	90 – 100	80 – 90
Температура смеси при приготовлении образцов, °С	140 – 160	110 – 130	80 – 110	18 – 22

Таблица 1. Технологические параметры при изготовлении асфальтобетонов различных марок.

Из приготовленной смеси не позднее чем через 30 мин после ее приготовления формуют образцы.

Электромагниты, их свойства и методы использования

Во время работы были испробованы электромагниты нескольких типов, а также постоянные магниты. Для работы электромагнитов использовался лабораторный источник тока.

Один электромагнит Ш-образной формы был изготовлен самостоятельно, сопротивление его обмотки позволяло при 50 Вольтах пропустить через электромагнит ток в 1 ампер. Этот электромагнит показал свою несостоятельность, так как Ш-образная форма неудобна для намагничивания образца, электромагнит сильно нагревался, при нагреве электромагнита быстро уменьшалась его мощность.

Также был приобретен промышленный электромагнит в два раза большей мощности (сила тока 2 ампера), меньше подверженный нагреву и дающий удобное для эксперимента круглое пятно диаметром 5 см.

Плюсы электромагнитов:

- с помощью электромагнита можно получить магнитное поле разной напряженности, имея один электромагнит и источник тока с регулируемой силой тока и напряжением;
- подключив к электромагниту трансформатор с переменным током, можно размагнитить образец;
- легко изменяется направление поля, которым намагничивается образец;
- в отличие от постоянных магнитов магнитные поля четко локализованы.

Минусы электромагнитов:

- при большом токе нагреваются, теряется мощность, длительное использование в лабораторных условиях затруднено, требуется дополнительное охлаждение;
- у имеющихся в распоряжении устройств пятно контакта чаще всего неудобной формы.

А также, в моем случае, из-за разной плотности магнитных линий около магнита, обусловленных его конструкцией (рисунок 6) намагнитить требуемую площадь с максимальной интенсивностью не представлялось возможным. Так как на границе пятна образовывалась область с большей намагниченностью и противоположная по знаку. А при намагничивании двух соседних участков образца магнитным полем одинаковой направленности на образце появлялся лишний бит информации, то есть участок с противоположным по знаку полем.

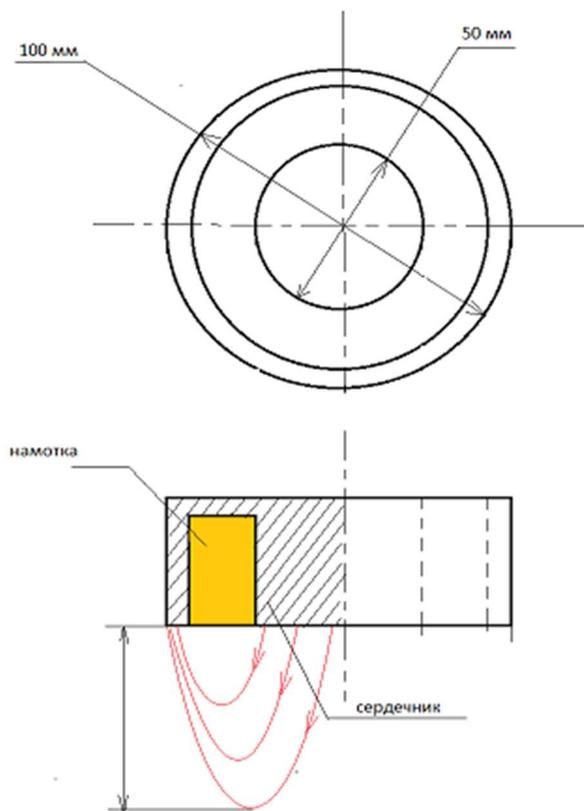


Рисунок 6. Чертеж электромагнита и схема линий магнитной индукции.

Предполагается, что использование электромагнита с формой аналогичной головкам намагничивания в магнитных пленках (рисунок 7) будет ОПТИМАЛЬНЫМ.



Рисунок 7. Пример записывающей головки для магнитной пленки или CD диска

Считывание информации с дорожного полотна

Конструкция, программное обеспечение

В ручном режиме измерение магнитного поля производилось прибором «Измеритель напряженности магнитного поля АТТ-8701» фирмы Актаком. Для этого измерительный наконечник помещался на некотором расстоянии от поверхности асфальта и записывались показания прибора. Расстояния от поверхности асфальта до наконечника были равны 5 см, 10 см и 15 см. Для позиционирования наконечника использовалась сетка с шагом 2,5 см, нанесенная на бумагу (рисунок 8). В результате получался массив 9*14 значений магнитного поля над поверхностью асфальта.



Рисунок 8.

Для проведения измерений в автоматизированном режиме была использована разработанная ранее на кафедре система позиционирования [15]. Для измерения поля использовались три датчика Холла, расположенные на передвижной штанге, под управлением блока Arduino (рисунок 9), и ориентированные в трех перпендикулярных плоскостях. Расстояния от поверхности асфальта до датчиков были 5 и 10 сантиметров, так как разрешающая способность датчиков Холла, использованных при создании установки, относительно невелика. При этом программное обеспечение

установки позволяет получить карту распределения магнитных полей сразу после проведения измерений компонент магнитной индукции по трем осям X, Y, Z.



Рисунок 9. Фото установки для измерения распределения индукции магнитного поля.

Программное обеспечение написано моими коллегами Яковом Григорьевичем Резниковым и Маратом Фаизовичем Хайруллиным для платы Ардуино, управляющей и датчиками холла и шаговыми двигателями передвижной штанги. Данные, полученные платой с помощью датчиков Холла, непосредственно в ходе процесса измерения передаются в программу, написанную на языке Питон и преобразуются в изображение, представляющее собой карту распределения магнитной индукции над образцом. Разными цветами выделяется поле разной интенсивности и имеется возможность, как рассмотреть интенсивность поля в плоскости, перпендикулярной одной из осей, так и совместить данные сразу с трех датчиков.

Количество измерений для одной карты $10*20=200$.

Общее время такого количества измерений около 20 минут

С помощью этой установки было измерено и магнитное поле Земли в месте проведения эксперимента. (рис. 9).

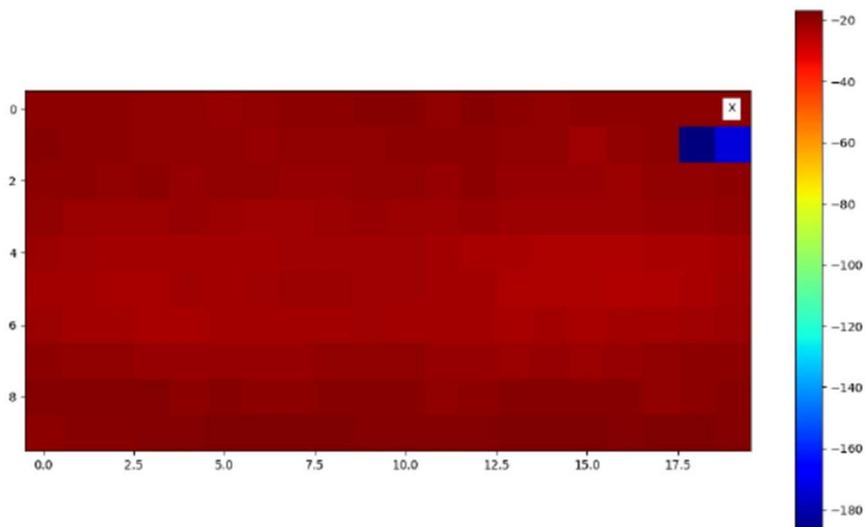


Рисунок 9. Магнитное поле Земли.

Показания фонового магнитного поля Земли -375 мГс. Это значение не компенсировалось в результатах исследования, т.к. интересовали в первую очередь относительные изменения наблюдаемых величин.

Измерения на этой установке, проводилось на большем масштабе с помощью постоянного магнита со сторонами 9×13 см и соответствующей сеткой на образце. (рисунок 10). Также, образец намагничивался полосами.

К сожалению, данная установка не предоставляет возможности измерить абсолютную величину магнитного поля, приводя его в условных единицах. Это достаточно для определения его направления и сравнения величин поля в разных точках образца, но для полноты информации порядок величины магнитного поля на образце был измерен вручную.

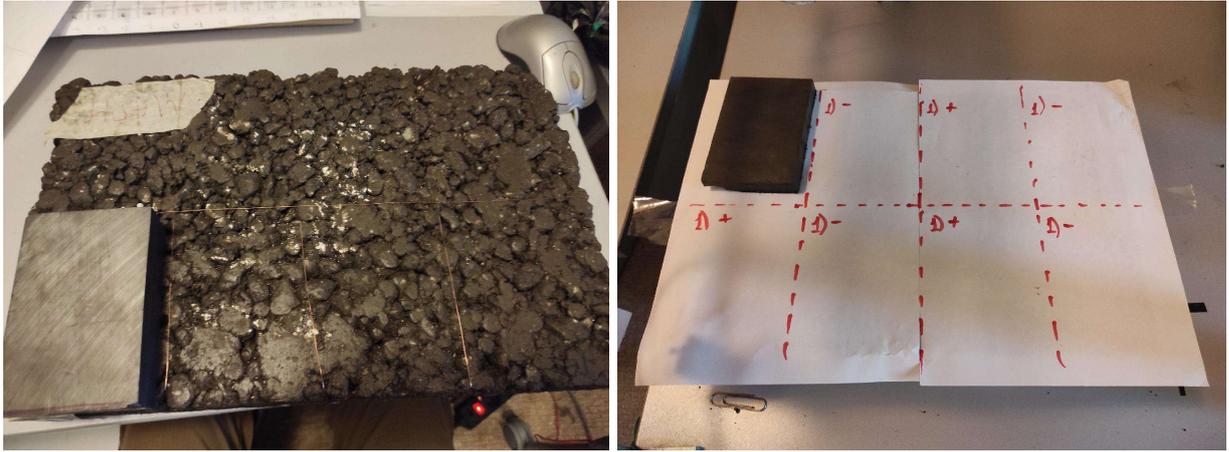


Рисунок 10. Методы разметки образцов.

Результаты и их обсуждение

Примеры записи информации на образцы дорожного полотна

Первое измерение распределения магнитного поля на образце проводилось вручную с помощью датчика Актакон на образце с одним процентом содержания оксида железа, без предварительного намагничивания образца постоянным магнитом. Измерительная головка помещалась на расстоянии 5 см от поверхности. Результаты представлены на рисунке 11. Результаты показывают распределение напряженности магнитного поля над поверхностью образца, разница максимального и минимального значения не превышает 75 мГс.

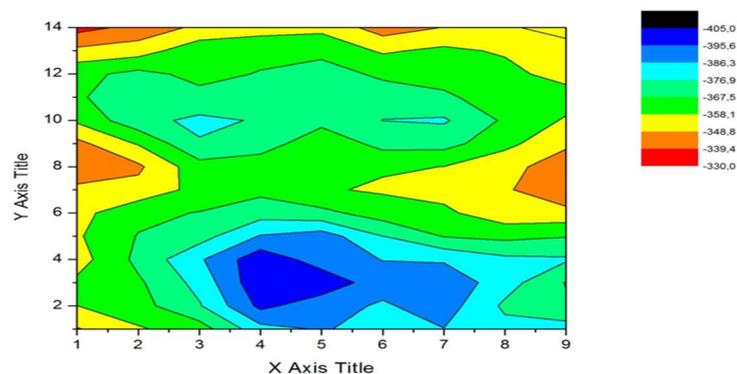


Рисунок 11. Исходная намагниченность асфальта, измеренная на расстоянии 5 см от поверхности

После этого на поверхность образца был помещен постоянный магнит размером 12x5 см в двух противоположных ориентациях на расстоянии 10 см друг от друга. Результаты измерения распределения напряженности магнитного поля образца представлены на рисунке 12, измерения проводились на расстоянии 5 см от поверхности. На графика четко выражены области с намагниченностью образца в разных направлениях, разница величин составляет 7 000 мГс.

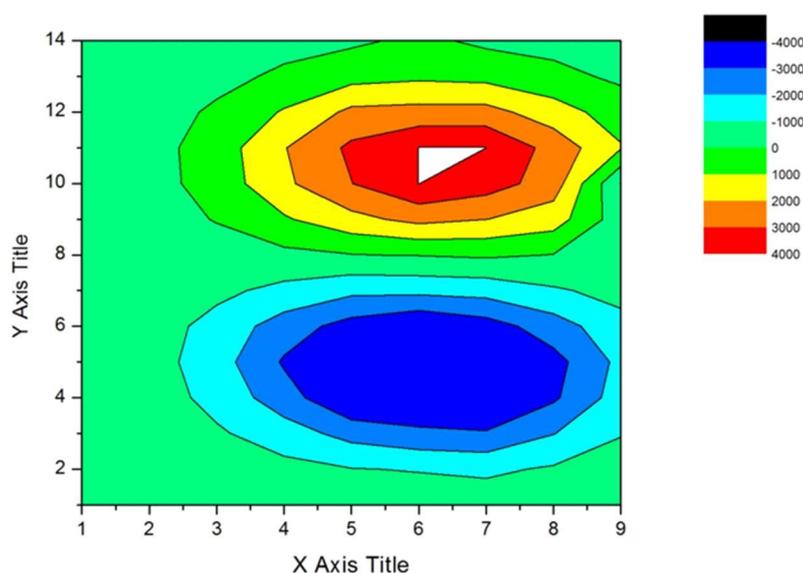


Рисунок 12. Полюса постоянного магнита, приложенные к асфальту в разных ориентациях, расстояние до поверхности 5 см.

Были проведены измерения напряженности магнитного поля для этого же варианта намагниченности асфальта на высоте 10 см, результаты представлены на рисунке 13.

Эти измерения показали, что асфальтовый образец способен намагничиваться, причем поле от образца возможно считать с разного расстояния, а также определить направление магнитного поля на образце. Границы при

намагничивании постоянным магнитом четко различимы, порядок величины магнитного поля в Гауссах также определен.

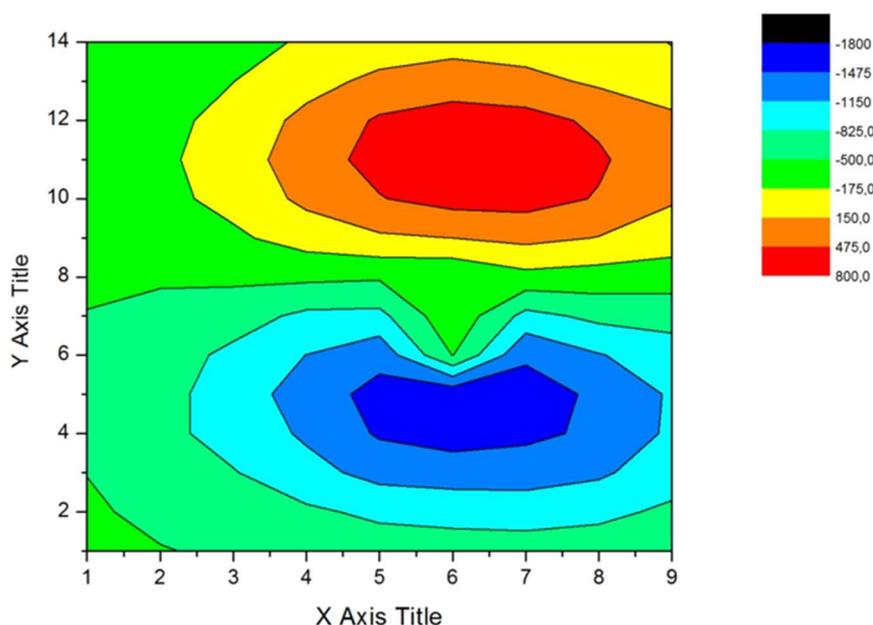


Рисунок 13. Полюса постоянного магнита, приложенные к асфальту в разных ориентациях, расстояние до поверхности 10 см.

Запись информации на образец с помощью электромагнита в порядке, указанном в таблице 2.

+	-	-	+
-	+	+	-

Таблица 2.

Считывание информации в данном случае проводилось с помощью автоматизированной установки. Наиболее наглядный и похожий на ожидаемый результат виден на рисунке 14, где просуммированы данные, полученные по трем осям. При этом считыванию правильной информации мешает неравномерное намагничивание электромагнитом, а также его краевой эффект.

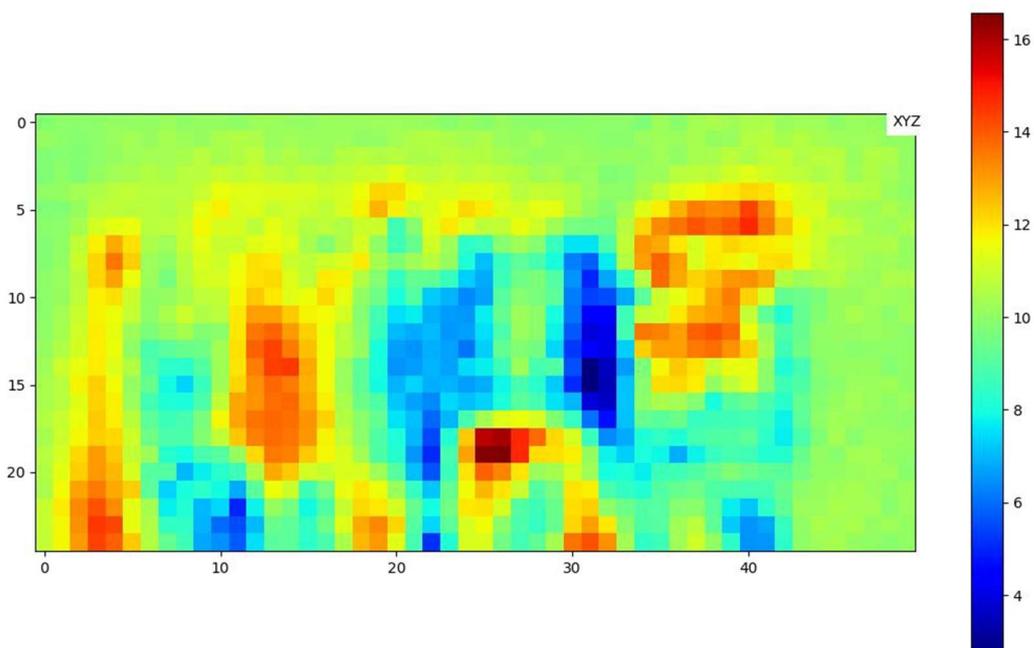


Рисунок 14. Образец, намагниченный θ -образным электромагнитом

По отдельным осям картина очень отличается от ожидаемой (рисунок 15)

Из этого можно сделать вывод об отсутствии смысла применять электромагнит такой формы в дальнейших измерениях.

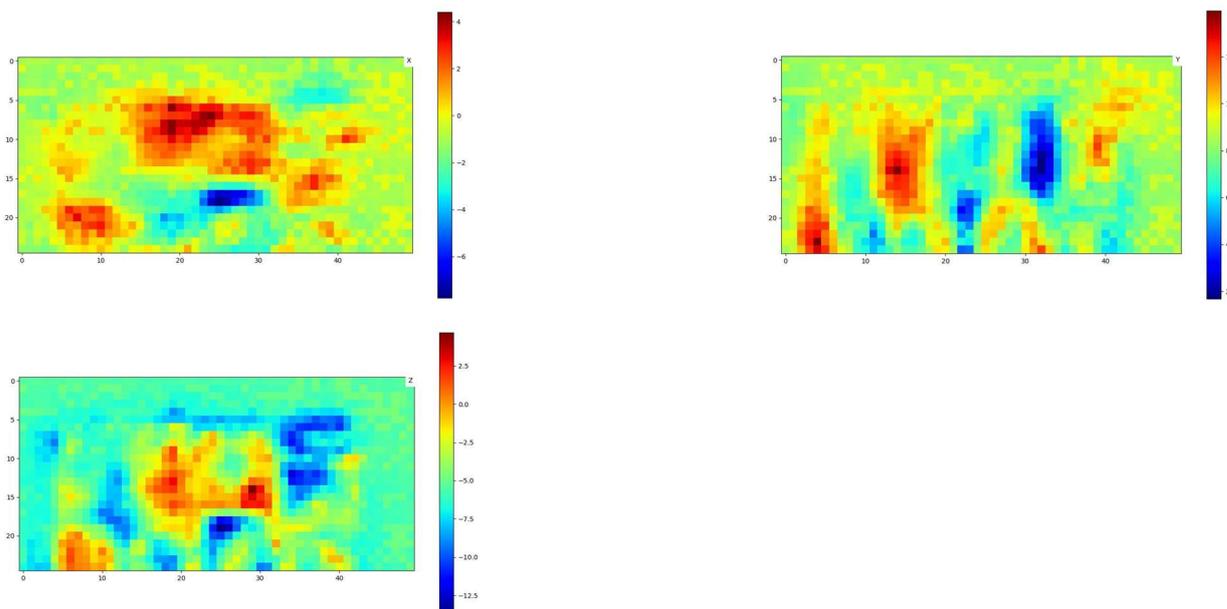


Рисунок 15. Иллюстрация намагниченности образца по трем разным осям

Далее образец намагничивался с помощью постоянного магнита четырьмя чередующимися полосами, в плоскости, которая параллельна поверхности образца и перпендикулярна оси Z , было получено самое четкое изображение, что соответствует теоретическим предположениям. (рисунок 16.)

Также этот эксперимент показал, что намагничивание полосами является наиболее удобным и подходящим для использования при организации дорожно-транспортного движения.

Появление точек другого цвета на графике обусловлено несрабатыванием датчика Холла во время измерения и/или плохим контактом на плате. Эти точки появились после активного использования установки и именно из-за них не наблюдается сильный контраст в цветах, однако это не мешает видеть, что полосы разной направленности магнитного поля имеют четко обозначенные границы.

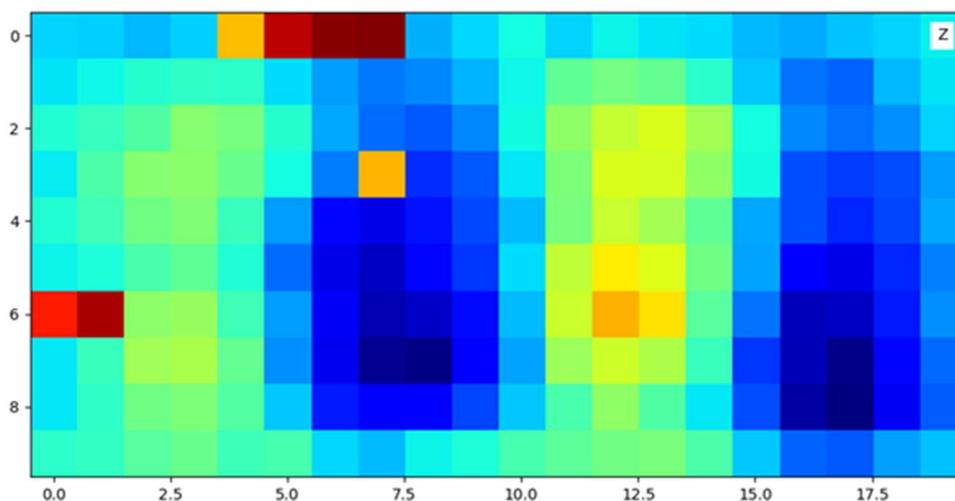


Рисунок 16. Образец, намагниченный полосами.

На осях X и Y видна немного другая картина, которая также соответствует теоретическим предположениям (рисунок 17). То есть по оси X картина полос немного смещена, а по оси Y неразличима (рисунок 18). Из этого

можно сделать вывод, что расположение датчика параллельно плоскости образца является оптимальным и достаточным для считывания информации.

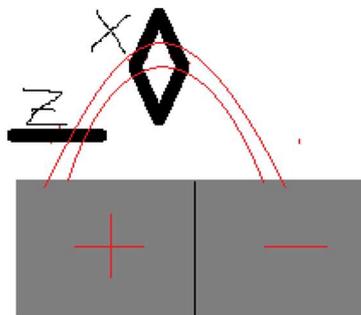


Рисунок 17. Схема расположения плоскостей перпендикулярных осям.

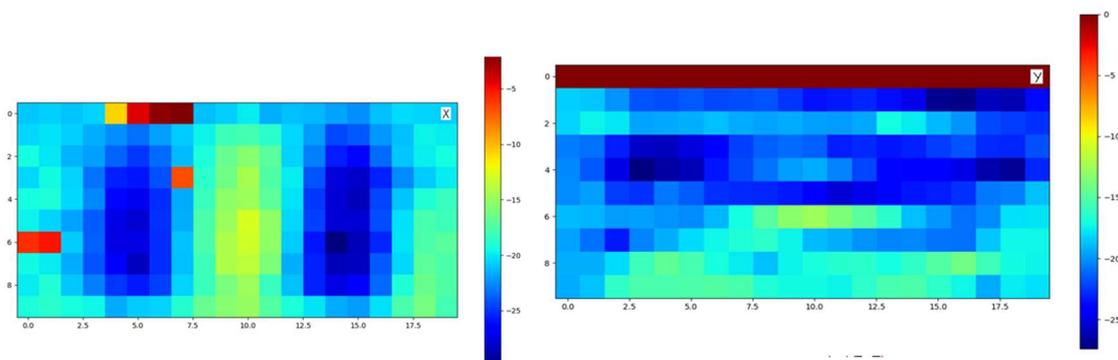


Рисунок 18. Оси X и Y

Размагничивание и перезапись информации

Экспериментально было выяснено, что в течение месяца магнитное поле образца, хранящегося в магнитном поле земли при комнатной температуре, не пропадает, и с учетом погрешности измерений можно сказать, что не изменяет свою величину. Подробные измерения зависимости намагниченности от времени, достаточные для построения графика не проводились.

После эксперимента с намагничиванием образца электромагнитом и перед намагничиванием с помощью постоянного магнита образец требовалось размагнитить. размагничивание проводилось двумя методами.

Первый метод заключался в подключении электромагнита к трансформатору тока, то-есть, по электромагниту шел переменный ток, электромагнит прикладывался к участку и сила тока постепенно уменьшалась (рисунок 19).

Во втором методе постоянным магнитом совершались равномерные движения, схожие со стиранием ластиком. (рисунок 20)

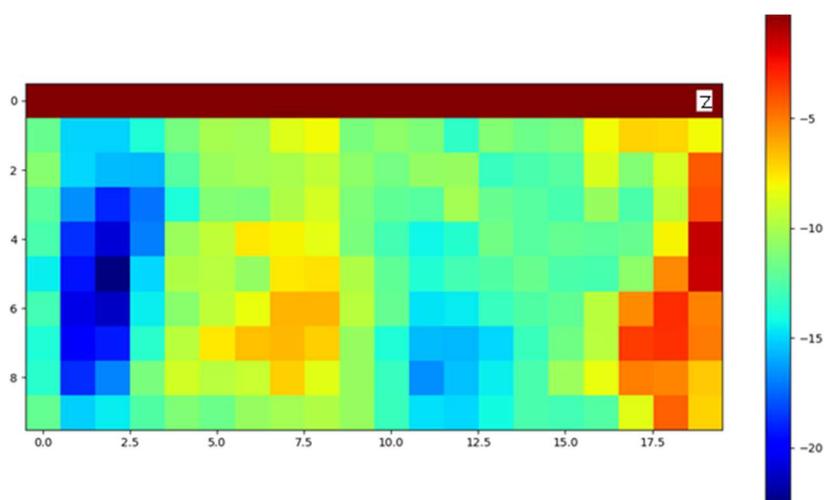


Рисунок 19. Размагниченный с помощью электромагнита образец.

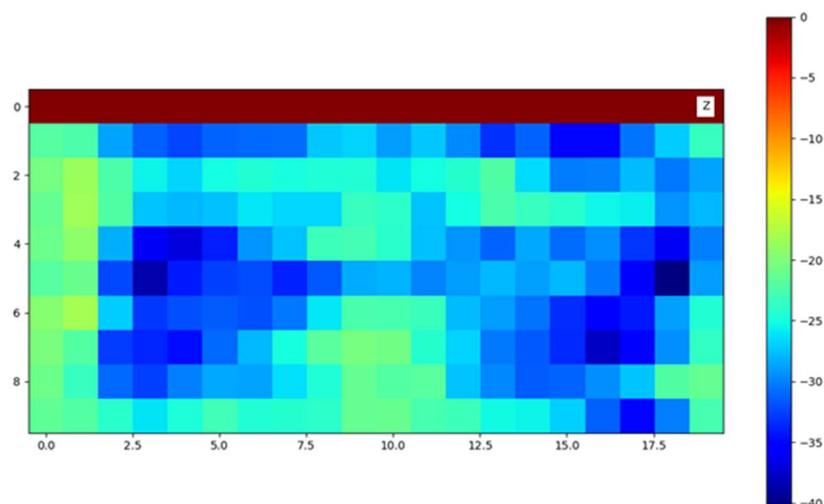


Рисунок 20. Размагниченный постоянным магнитом образец.

Заключение

В последние годы в области транспортного машиностроения ведется работа по разработке новых методов, которые могли бы помочь в реализации автономных транспортных средств. В настоящем документе представлены результаты работы, проведенной в рамках исследовательского проекта, направленного на разработку нового поколения асфальтовых материалов, которые могут быть использованы для оказания помощи в управлении этими транспортными средствами. В частности, представленные результаты анализируют целесообразность использования этого типа записи данных на дорожное покрытие для предоставления информации о характеристиках дорожного покрытия, стоп линиях, скоростном режиме, сплошных и двойных сплошных линиях. С этой целью читаемость кода, введенного в материалы, оценивалась с помощью комплекса лабораторных экспериментов. Основные выводы, сделанные из полученных результатов, заключаются в том, что можно кодировать асфальтовые материалы с использованием сильномагнитных частиц (предпочтительно с высокой коэрцитивной силой) и что код, записанный таким образом, достаточно надежно считывается с помощью обычных датчиков магнитной индукции. Запись данных полосами позволит транспортному средству вовремя получить информацию, не сотрется и не размагнитится. Простота методов намагничивания очевидна, ведь достаточно обычного постоянного магнита, и, хотя в моем эксперименте электромагнит оказался бесполезен, я думаю, что при создании электромагнита необходимой формы запись можно будет делать с помощью него. О концентрации ферромагнитных частиц в образце можно сказать, что она прямо пропорционально влияет на величину магнитного поля, однако она также влияет на простоту размагничивания.

Основные результаты

1. В Лабораторных условиях постоянный магнит лучше подходит для намагничивания, однако в дальнейшем следует разработать универсальный электромагнит.
2. Образец не размагничивается со временем.
3. Концентрация оксида железа в 2% является оптимальной.
4. Запись информации в шахматном порядке на областях менее квадратного дециметра трудночитаема. Гораздо лучше читается информация, записанная полосами.
5. Максимальная высота считывания информации на имеющейся установке 10 см.
6. Представленные результаты подтверждают целесообразность использования этого типа записи данных на дорожное покрытие.

Список Литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 25 марта 2020 г. № 724-р О Концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования
2. Götting, AGV guidance technologies, Available from <http://www.goetting.de>, (2012) , Accessed date: 10 January 2018.
3. RAND, Autonomous vehicle technology: how to best realize its social benefits, Available from http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_briefs/RB9700/RB9755/RAND_RB9755.pdf, (2014) , Accessed date: 10 January 2018
4. G. Silberg, J. Plessers, R. Wallace, C. Brower, G. Matuszak, D. Subramanian, Selfdriving cars: The next revolution, Available from KPMG and CAR (Center For Automotive Research), https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2015/10/self-driving-cars-next-revolution_new.pdf, (2012) , Accessed date: 10 January 2018.
5. Блог компании Toshiba, публикация от 29 ноября 2018 года, “ Мир глазами автомобиля. Каким его видят беспилотники?”
6. “Магнитная лента, свойства и применение носителей информации” Э. Альтрихтер.
7. Перпендикулярная запись 19.09.2006 Джен Матлис
8. Перпендикулярная магнитная запись Wasp 07.08.2009
9. “Электромобили и беспилотный транспорт” Агенство промышленного развития Москвы
10. “Сканирующие лазерные дальномеры” Кондратюк Н.В СОЛАР ЛС
11. “Порошки магнитные” Энциклопедия по машиностроению XXL
12. Приготовление образцов из асфальтобетонной смеси по ГОСТ 12801-84
13. ”ПРИНЦИПЫ НАВИГАЦИИ” Информационно-аналитический центр КВНО АО "ЦНИИмаш"
14. <http://agvrobot.ru/chtotakoeagv.html>
15. Вакуленко А.Ю. «Локальная магнитная проницаемость метаповерхностей» Магистерская диссертация. М. 2018. 88с.
http://magn.ru/diploma/2018/2018_vakulenko_mdiss.pdf