

VR-тренажер для обучения водителей в городской среде со сложным рельефом и метеоусловиями

А.Д. Ермолаева¹, М.Е. Елисеев¹, Т.Н. Томчинская¹

¹ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева, ул. Минина, 24, Нижний Новгород, 603950, Россия

Аннотация

Исследована разработка аппаратно-программно-информационного комплекса VR-тренажера для подготовки водителей в среде крупного города со сложным рельефом и погодными условиями на примере Нижнего Новгорода. Построена трёхмерная модель Окского съезда к одному из мостов города. На основе геометрии модели и статистики ДТП выявлены наиболее опасные участки дороги с малыми радиусами поворота и большим перепадом высот. Для выработки автоматизма реакции в сложных условиях в тренажере использованы следующие компоненты: проезд по сложным участкам города, проверка знаний правил дорожного движения, демонстрация дорожно транспортных происшествий в случае нарушения правил и демонстрация, как правильно надо было действовать. Тренажер планируется использовать как для тренировки начинающих и опытных водителей в «живой» среде реального города, так и для исследования дорожных условий и оповещения водителей в динамическом режиме о дорожной ситуации, рекомендуемой скорости безопасного движения в условиях плохой видимости (туман, ночь) и при переменных погодных условиях (дождь, снег, гололёд). то есть в качестве рекомендательной системы.

Ключевые слова

Виртуальная реальность, симулятор вождения, информационная модель, 3D моделирование, городская среда, сложный рельеф, метеоусловия, тренажер водителей автотранспорта.

VR-simulator for Driver Training in an Urban Environment with Difficult Terrain and Meteorological Conditions

A.D. Ermolaeva¹, M.E. Eliseev¹, T.N. Tomchinskaya¹

¹ Nizhny Novgorod State Technical University, n.a. R.E. Alekseev, Minin Street, 24, Nizhny Novgorod, 603950, Russia

Abstract

The development of a hardware-software-information complex of a VR simulator for training drivers in the environment of a large city with difficult terrain and weather conditions has been studied using the example of Nizhny Novgorod. A three-dimensional model of the Oka exit to one of the city's bridges has been built. Based on the geometry of the model and accident statistics, the most dangerous sections of the road with small turning radii and a large elevation difference were identified. Based on the geometry of the model and accident statistics, the most dangerous sections of the road with small turning radii and a large elevation difference were identified. To develop automatic reaction in difficult conditions, the simulator used the following components: driving through difficult sections of the city, testing knowledge of traffic rules, demonstrating traffic accidents in case of violation of the rules and demonstrating how to act correctly. The simulator is planned to be used both for training novice and experienced drivers in a "live" environment of a real city, and for studying road conditions and alerting drivers in a dynamic mode about the traffic

ГрафиКон 2023: 33-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-21 сентября 2023 г., Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

EMAIL: ermolaeva-ann@mail.ru (А.Д. Ермолаева); eliseevmic@mail.ru (М.Е.Елисеев); tomchinskaya@mail.ru (Т.Н. Томчинская)
ORCID: 0009-0004-5749-9380 (А.Д. Ермолаева); 0000-0002-8522-899X (М.Е.Елисеев); 0000-0002-4693-7478 (Т.Н. Томчинская)



© 2023 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

situation, the recommended safe speed in poor visibility conditions (fog, night) and under variable weather conditions (rain, snow, ice). that is, as a recommender system.

Keywords

Virtual reality, driving simulator, information model, 3D modeling, urban environment, difficult terrain, weather conditions, vehicle driver simulator.

1. Введение

Тема безопасности дорожного движения является одной из актуальных в современном мире, поскольку ежегодно на дорогах происходит большое количество аварий. Увеличение числа автомобилей на дорогах увеличивают риски возникновения аварий.

В процессе обучения водитель должен усвоить систему знаний, умений и навыков, которые позволят ему управлять автомобилем при любых дорожных условиях, в любое время суток.

Для теоретической подготовки в автошколах применяют традиционные методы обучения, такие как статичные рисунки, плакаты, стенды. Для формирования умений и практических навыков используются тренажёры и занятия на автомобиле с инструктором на автодроме и в городе. Тренажеры как правило отрабатывают конкретные навыки: умение трогаться с места, делать развороты, перестраиваться, правильно проезжать перекрёстки и другие.

Реальное вождение - очень сложная задача, требующая координации многих психологических функций для одновременной обработки большого количества информации (наблюдение за дорожным движением, контроль скорости, сканирование на предмет опасностей, правила дорожного движения, управление автомобилем). Если требования возрастают, возрастает и вероятность ошибок при вождении [1-4]. В последнее время появилось большое количество VR-симуляторов вождения, которые могут оказать большую помощь в подготовке водителей.

Так в исследованиях университета Карнеги Меллона [5] показано, что тренировка на виртуальном симуляторе привела к улучшению навыков управления автомобилем. Также, в работе [6] отмечено, что применение симуляторов вождения позволяет сформировать основные навыки управления автомобилем, которые закрепляются на уровне подсознания, приблизить условия обучения к реальным, не создавая при этом сопутствующую реальным условиям опасность [7]. При частом повторении ситуаций, возникающих на дороге, необходимые действия могут быть отработаны до автоматизма.

Также в работах [7-9] замечено, что обучение восприятию опасностей на симуляторе вождения привело к своевременному прогнозированию опасных дорожных ситуаций. Для пожилых людей активные тренировки на автосимуляторе значительно повышают эффективность вождения.

В работах [10-11] показано, что применение симуляторов вождения для обучения водителей эффективно для обучения и реабилитации водителей после травм или с ограниченными навыками вождения. Исследования университета Ливерпуля [12] привели к выводу, что симуляторы вождения могут помочь людям с фобиями улучшить свои навыки вождения и снизить уровень тревожности и улучшить свои навыки вождения.

В работе [13] проводилось исследование симулятора вождения для изучения влияния различных дорожных сценариев и отвлекающих факторов при вождении. Рассматривались такие факторы, как ширина полосы движения, геометрия дороги, наличие пешеходов и встречного движения. В результате работы автор приходит к выводу о том, что геометрия дороги оказывает наибольшее влияние на поведение водителя в сравнении с использованием мобильных устройств или с встречным движением.

Как правило, в автосимуляторах реализованы воображаемые города или отдельные улицы реальных городов. Есть симуляторы вождения по Москве (<https://byrut.org/23668-3d-instruktor-vozhdenie-po-moskve.html>), по Санкт Петербургу, Рио де Жанейро, Мюнхену. Но в этих реализациях виртуальные автомобили, как правило передвигаются по плоским участкам.

В то же время существует большое количество городов, располагающихся на берегах реки или слиянии рек, как например, Нижний Новгород, Многие крупные города относятся к этому типу, некоторые из них: Белград, Казань, Красноярск, Канзас-Сити, Варшава, Ростов-на-Дону,

Миннеаполис, Гамбург, Нью-Йорк и многие другие. В таких населенных пунктах важное транспортное значение имеют мосты и съезды к ним. Как правило, один из берегов реки значительно выше другого, чем обусловлен большой перепад высот на съездах. Нередко также участки вблизи мостов (съезды) имеют сложную конфигурацию. Погодные условия на мостах и съездах также могут значительно отличаться от других участков городской сети. Эти факторы обуславливают потенциально большую аварийную опасность мостов и съездов.

В исследованиях [14-19] рассматривается влияние геометрии дороги на аварийность. В статье [14] устанавливаются критические факторы, наличие которых обязательно приводит к повышенной аварийности, отмечается, что малый радиус поворота и большая глубина колеи приводят к повышенной аварийности. В работах [15-17] рассматриваются модели прогнозирования количества аварий в зависимости от геометрии дороги.

Как решение этой проблемы в работе [20] рассматривается вопрос влияния дорожных таблопеременной информации (ДТПИ) на поведение водителей, в частности о том, как влияет информирование о необходимости снижения скорости. Отмечается, что даже с учетом того, что часть водителей игнорируют информацию ДТПИ, в целом фиксируется снижение скорости транспортного потока при соответствующей информации на табло, что доказывает эффективность их применения

2. Разработка VR-тренажера

Разрабатываемое в ходе исследования приложение предназначено для обучения водителей в Нижнем Новгороде. Характерной особенностью местности, на которой расположен Нижний Новгород, является уникальный рельеф и разнообразие ландшафтов. Нижний Новгород расположен на слиянии двух крупных рек – Волги и ее притока Оки. Необычность рельефа заключается в асимметрии правых и левых берегов Оки и Волги. Левые берега рек – низменная равнина, а правые берега представляют собой высокие крутые склоны Дятловых гор, перепад высот составляет около 140 м. Поэтому при моделировании городской среды Нижнего Новгорода необходимо учитывать сложный рельеф местности.

Задача построения трехмерной модели города сводится к последовательному решению таких подзадач, как 1) построение цифровой модели рельефа; 2) моделирование дорожной инфраструктуры - дорог, перекрестков, мостов, дорожной разметки; 3) построение трехмерных моделей зданий, сооружений и других объектов малой архитектуры городской среды.

Модель рельефа и 3D городские сцены построены для десяти участков города. В данной работе мы рассматриваем один из наиболее аварийных участков – Окский съезд. Трёхмерная модель рельефа строилась в несколько этапов. На первом этапе использовалась программа InfraWorks (рисунок 1).



Рисунок 1 – 3D модель Окского съезда Нижнего Новгорода и мост через Оку, построенная в программе InfraWorks

Полученные данные были экспортированы в Civil 3D, где сначала на основе карты двухтысячного масштаба по точкам построен приблизительный рельеф, а с помощью линий уровня он был уточнен. После чего прокладывался коридор на месте будущей дороги.

Рельеф, построенный в Civil 3D отличается большой точностью и удобством работы. При любом изменении какой-либо части трехмерной модели все другие связанные с ней части автоматически обновляются. Например, изменение трехмерной траектории трассы приводит к автоматическому обновлению двумерных профилей, модели дороги, пересчету объемов, проектных горизонталей (рисунок 2,а).

Подстилающая поверхность, здания, объекты малой архитектуры моделировались в программах Autodesk Maya и 3ds Max. В программе Agisoft получено облако точек и сгенерирована модель областного Дворца правосудия. Далее модель переносилась в программу Blender, где с помощью плагина blender-osm было достроено окружение сцены. Затем сцена загружалась в игровой движок Unity (рисунок 2,б).

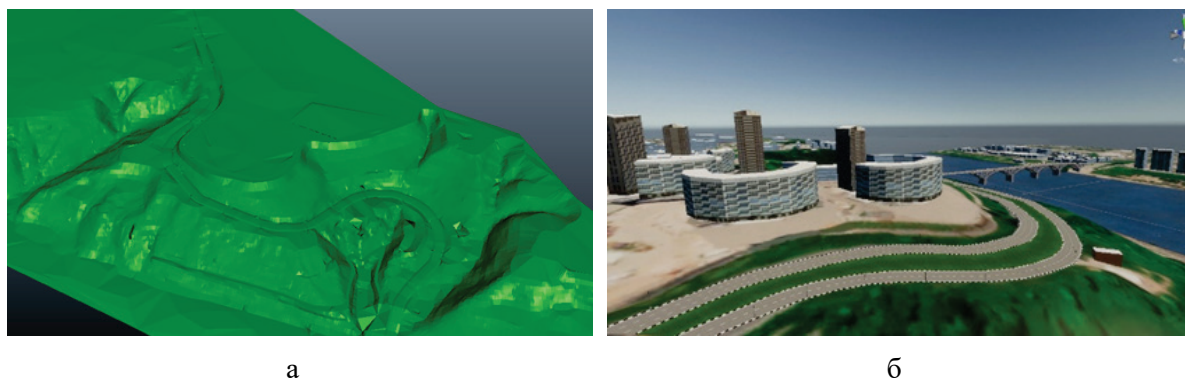


Рисунок 2 – 3Dмодель Окского съезда: а– уточнённая в программе Civil 3D; б–эта же модель, достроенная в программе Blender

Для реализации управления в данном тренажере выбраны руль и педали Logitech G29, которые представляют собой периферийные устройства, разработанные специально для игровых симуляторов автомобилей.

Руль Logitech G29 предлагает высокую степень реалистичности благодаря точной передаче движения. Он обладает поворотом на 900 градусов, что позволяет игрокам получить полный контроль над автомобилем. Руль имеет такие функции, как обратная связь силы, которая передает ощущение сопротивления при повороте, и программируемые кнопки, которые могут быть настроены для различных команд в тренажере.

Педали Logitech G29 включают газ, тормоз и сцепление, что позволяет обучаемым реалистично симулировать работу педалей автомобиля. Педальная платформа имеет прочную конструкцию и обеспечивает удобство и надежность при использовании. Программное обеспечение Logitech Gaming Software даёт возможность настроить различные параметры работы руля и педалей для адаптации их под индивидуальные предпочтения пользователя.

Для погружения в виртуальную реальность в данном проекте использован шлем Vive 2.0, который является устройством виртуальной реальности, разработан HTC Corporation. Шлем предоставляет пользователям возможность полностью погрузиться в виртуальный мир и взаимодействовать с ним через визуальные и звуковые эффекты.

Шлем Vive 2.0 оснащен встроенными датчиками, которые позволяют отслеживать движения головы и рук пользователя. Это обеспечивает реалистичное взаимодействие с виртуальным окружением. В комплекте с шлемом Vive 2.0 идут специальные контроллеры, которые позволяют пользователю взаимодействовать с виртуальными объектами и выполнять действия в виртуальной среде.

Таким образом, погружение в реалистичную обстановку взаимодействие с оборудованием позволит пользователям получить представление о сложностях реальной трассы и поможет ориентироваться во время её прохождения. Испытуемые, практикующиеся на симуляторе вождения, тренируют то, что они непосредственно могут использовать в реальных ситуациях.

Например, в тех случаях, когда бывший курсант оказывается один за рулём в конкретном городе он, как правило, испытывает огромный стресс. Страх вождения у новичка проявляется не во время уроков, а уже после получения прав. Наиболее острой проблемой для него является проблема корректного распознавания дорожной ситуации на дороге, в которой времени для принятия решения может почти и не быть. Действовать необходимо максимально быстро, при этом принять во внимание все аспекты текущего положения, такие как сигнал светофора, разметку, знаки, положение автомобилей и их скорости. К тому же, при попадании в экстремальную ситуацию, бывший ученик может растеряться, что приводит к еще более плачевным результатам. В таких случаях исследования психологов [9-11] подтверждают, что преодолеть страх помогает предварительная тренировка на автосимуляторе. В разработанном VR-тренажере пользователь находится в виртуальной среде «живой обстановки».

В рамках приложения пользователь может заранее изучить дорожные знаки, разметку, расположение светофоров, научиться проезжать опасные участки, не рискуя своей жизнью и жизнями других участников дорожного движения.

Многочисленные тренировки на автосимуляторах позволяют выработать навыки, закрепить их до автоматизма и перевести на подсознательный уровень. Это позволяет водителям безопасно улучшать свои навыки вождения, пока они не достигнут достаточного уровня уверенности на дороге.

В функции автосимулятора включён режим проверки знаний правил дорожного движения (ПДД). После загрузки сцены тестирования пользователь находится в салоне автомобиля. Он может осмотреться вокруг, а также переключиться на другую камеру, установленную позади машины. На экран выводятся указания инструктора: ехать прямо, повернуть направо и другие.

Пользователь управляет движением автомобиля, ему предоставляется сцена, в которой предлагается проехать по участку дороги, соблюдая правила дорожного движения. В случае нарушения ПДД система отображает количество штрафных баллов.

Реализовано два способа управления автомобилем: с помощью руля и педалей, а также, если у пользователя нет этого оборудования, управлять движением можно с помощью трекпада (рисунок 3).

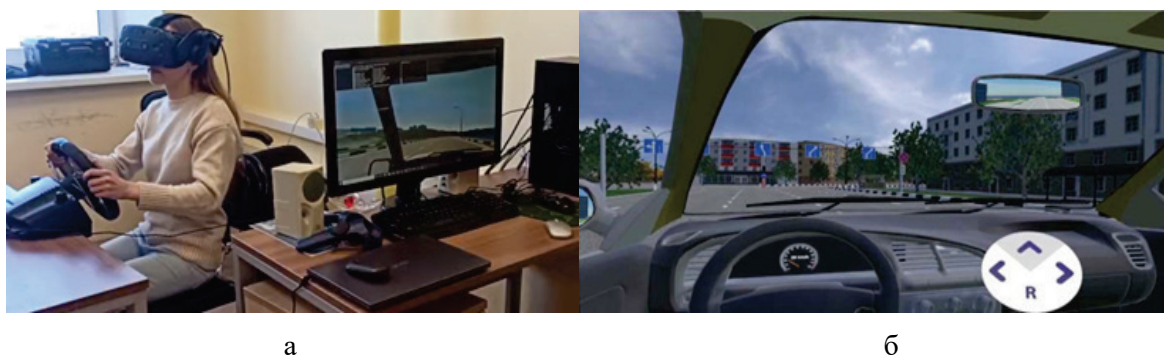


Рисунок 3 - Разработанное приложение: а – рулевое управление, б – управление с помощью контроллеров

На текущий момент предусмотрен контроль следующих ПДД: движение по полосам; проезд на запрещающий сигнал светофора; пропуск пешеходов, переходящих дорогу или вступивших на проезжую часть для осуществления перехода; движение транспортных средств в населенных пунктах со скоростью не более 60 км/ч; пересечение стоп-линии при остановке.

Выявлены наиболее опасные участки города, и на основе статистических данных и ситуационных описаний случаев на этих участках смоделированы опасные дорожные ситуации. Записаны видео, показывающие: 1) ошибочное поведение водителя и 2) как правильно надо действовать в подобной ситуации. Подготовлен банк видео, в котором хранятся ролики, демонстрирующие правила дорожного движения.

При нарушении правил дорожного движения пользователю начисляются штрафные баллы, и, если набрано максимальное количество баллов, тестирование завершается. При нарушении пользователями ПДД в меню предусмотрена возможность просмотра либо видео, либо сцены с

дорожно-транспортными происшествиями, произошедшими при нарушении конкретного правила, т.е. тестирование прерывается и на экран выводится видео с ДТП, произошедшим на этом участке при нарушении данного правила дорожного движения, затем приводится правило дорожного движения для данной ситуации и демонстрация, как правильно надо было действовать.

В приложении рассматриваются различные погодные условия: дождь, снег, гололёд, Виртуальная среда в приложении позволяет пользователям практиковать вождение в условиях плохой видимости, таких как туман, сумерки, ночь, что также является важным компонентом безопасного вождения.

3. Опасные участки на Окском съезде

Согласно данным официального сайта Госавтоинспекции за 2022 год на дорогах Нижегородской области произошло 4367 аварий. Из них значительное число происходит на дорогах со сложными подъёмами и спусками, а также с крутыми поворотами. По количеству аварий регион занял третье место после Москвы (7710) и Краснодарского края (5809). Примерно 17% от общего количества аварий составляют ДТП с участием водителей с опытом вождения до 5 лет (780 аварий).

За последние пять лет на участке дороги Окского съезда произошло множество аварий с участием легковых, грузовых автомобилей и общественного транспорта. В таблице 1 представлены выборочные данные по ним.

Таблица 1 – Характеристики аварий на Окском съезде 2018-2022 гг.

№	Тип	Дата	Покрытие	Нарушение	Число ТС
1	Опрокидывание	05.10.2020	Сухое	Превышение установленной скорости движения	1
2	Наезд на препятствие	10.12.2022	Заснеженное	Несоответствие скорости конкретным условиям движения	2
3	Столкновение	27.07.2021	Сухое	Неправильный выбор дистанции	4
4	Опрокидывание	21.07.2020	Мокрое	Несоответствие скорости конкретным условиям движения	1
5	Наезд на стоящее ТС	02.04.2022	Мокрое	Несоответствие скорости конкретным условиям движения	2

Аварийность участка дороги связана с перепадом высот дорожного полотна, а также с крутым поворотом. На участках с крутым подъемом или спуском при том же скоростном режиме, что и на ровной дороге, чаще случаются заносы, перевороты автомобиля и выезды на встречную полосу, особенно в условиях гололедицы и мокрой дороги. Дело в том, что можно попасть в дорожно-транспортное происшествие, не нарушая правила - так, на Окском съезде Нижнего Новгорода при выпадении обильных осадков, например, снега зимой, безопасной является скорость движения от 40 до 50 км/ч в зависимости от типа шин, машины и опыта водителя. Таким образом, для малоопытных водителей на этом участке при прогнозе сильного снегопада рекомендуемая скорость будет составлять 40 км/ч, а для опытных водителей - 50 км/ч. При этом правилами разрешено двигаться со скоростью 60 км/ч.

Проведенный комплексный анализ для данного участка позволяет установить механизм аварий. Характерной для Окского съезда является авария: водитель неправильно выбрал скорость, которая не соответствовала конкретным условиям движения, дорожное покрытие было мокрым или скользким. Далее водитель не справился с управлением и в результате заноса произошло столкновение с отбойником или другим препятствием. Безусловно, таков механизм

Анализ геометрии данного участка УДС позволяет выделить следующие особенности: радиус поворота не является постоянным, а значительно меняется, причем встречаются как правый, так и левый поворот.

Перепад высот на участке длиной 150 м составил 5 м, радиус поворота – от 65 до 90 м в зависимости от выбранной полосы движения. Перед данным спуском установлен знак – рекомендуемая скорость – 50 км/ч.

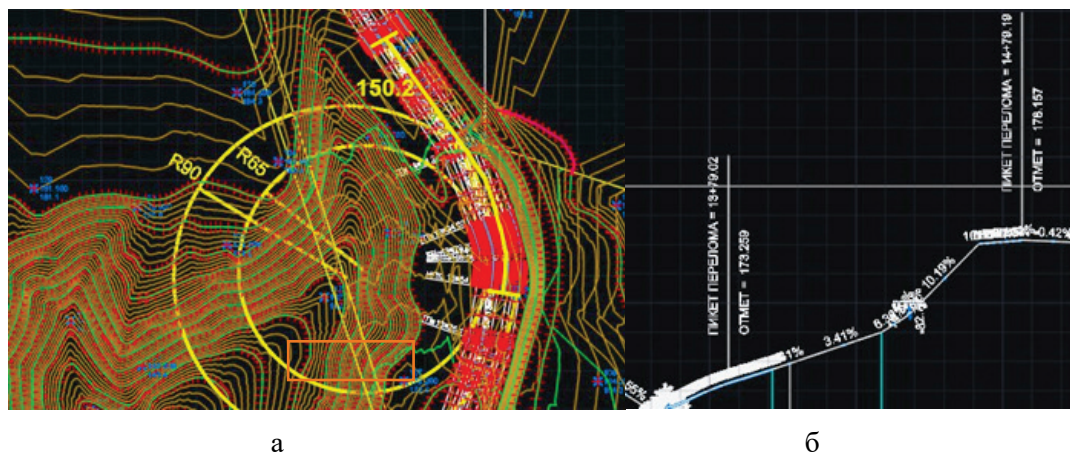


Рисунок 6—Опасный участок на съезде к мосту: а – радиус поворота; б – перепад высоты

Наибольшую опасность данный участок дороги представляет в зимнее время года, а также в снежную и дождливую погоду, когда поверхность дороги становится скользкой. В такую погоду следует соблюдать скоростной режим и снижать скорость на поворотах, поскольку управление транспортным средством становится труднее, велик риск заноса автомобиля и попадания в аварию.

На основе построенной модели была создана тепловая карта по таким характеристикам, как перепад высот и радиус поворота (рисунок 7). Чем темнее оттенок зелёного цвета, тем больше перепад высот. Чем темнее оттенок красного цвета, тем меньше радиус поворота.



Рисунок 7 – Тепловая карта: а – перепад высот, б – радиус поворота

Если представить аварии, случившиеся на данном участке за последние пять лет в виде точек, то можно заметить, что они располагаются неравномерно, и очаги аварий совпадают с участками значительного перепада высот и одновременно небольшими радиусами поворота (рисунок 8).

Службами города планируется при въезде на Окский съезд установить динамическое табло переменной информации и оповещать водителей о безопасной скорости движения в зависимости от показаний мини-метеостанции. На данном этапе безопасная скорость определяется на основе статистических данных.

В автосимуляторе также при разных погодных условиях на табло будет выводиться рекомендуемая скорость безопасного движения. При несоблюдении рекомендаций

тестирование будет прерываться и на экран загрузится видео с авариями, произошедшими на данном участке при несоответствии скорости конкретным условиям движения.

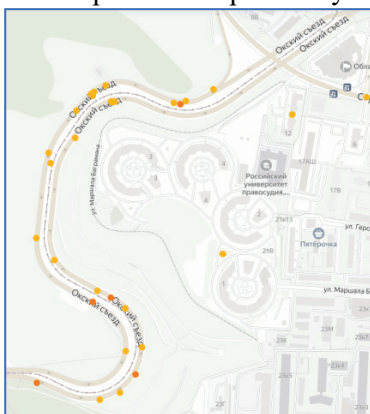


Рисунок 8 – Распределение аварий на Окском съезде

4. Заключение

Исследовано применение технологии виртуальной реальности при тренировке водителей на реальных аварийно-опасных участках города со сложным рельефом. Предложен режим динамического тренинга и тестирования в режиме виртуальной реальности использованием симуляторов управления автомобилем.

Используемые технологии позволяют снизить затраты на обучение, дают возможность заметно улучшить уровень подготовки курсантов автошкол, начинающих и опытных водителей без риска реальных травм и аварий; знакомят их со сложными ситуациями, возникающими в конкретных местах дорожной инфраструктуры.

Анализируется один из участков дороги Нижнего Новгорода – Окский съезд, включающий в себя опасные повороты и перепады высот. Определены радиус поворота и изменение высоты на одном из наиболее опасных участков. Предлагается выводить на динамическое табло переменной информации рекомендуемую скорость безопасного движения и включить эти рекомендации в автосимулятор для тренировки водителей при разных погодных условиях.

Автосимулятор позволит пользователю быстрее и удобнее «вжиться» во все сложности и аспекты передвижения по дороге. Такая система позволит как начинающим, так и опытным водителям избежать многих аварийно-опасных ситуаций и, соответственно, будет способствовать повышению транспортной культуры всех участников движения.

5. Список источников

- [1] Кравченко Л. А., Дубинина Ж. В., Берека И. А. Система обучения водителей в автошколе с учетом личностных качеств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 1(56). – С. 42-48.
- [2] MediaInfoLex «Виртуальная реальность для автошкол» [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://milex.by/blog/detail/virtualnaya-realnost-dlya-avtoshkol/> (дата обращения 03.06.2023).
- [3] Яглинский В.П., Обайди А.С., Фелько Н.В. Повышение подвижности кабин динамических тренажеров мобильных машин // Технологический аудит и резервы производства. 2014. № 4 (17). С. 44–48.
- [4] Белякова А.В., Савельев Б.В. Анализ информационных моделей тренажеров для обучения водителей транспортных средств (обзор) // Научный рецензируемый журнал "Вестник СиБАДИ". 2019. №16(5). С. 558-571.
- [5] G.Silvera, A.Biswas, H. Admoni, DR eyeVR: Democratizing Virtual Reality Driving Simulation for Behavioural & Interaction Research, 2022 17th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2022, pp. 639-643.

- [6] Формирование навыков управления автомобилем на автотренажере [Электронный ресурс] / И.Е. Ильина, В.В. Ляндербургский, С.А. Пылайкин, Е.А. Кротова // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 5(24). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/120TVN514.pdf> (дата обращения 08.06.2023).
- [7] I.Ozturk, N.Merat, R.Rove, S. Fotios, The effect of cognitive load on Detection-Response Task (DRT) performance during day-and-night-time driving: A driving simulator study with young and older drivers, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2023, pp. 155-169.
- [8] Christopher R. Bennett, Richard R. Corey, Nicholas A. Giudice, Immersive Virtual Reality Simulation as a Tool for Aging and Driving, *Research School of Computing and Information Science*, 2016. URL: <https://umaine.edu/vemi/wp-content/uploads/sites/220/2016/08/Bennett-et-al-2016-IVR-simulation-as-a-tool-for-aging-and-driving-research-HCI.pdf>.
- [9] A. Eugene, Virtual reality driving simulator for older drivers, 2019. URL: <https://mcleancare.org.au/wp-content/uploads/2020/03/AUB190918-EvaluationReport-08-2.pdf>.
- [10] C.Pensieri, M.Pennacchini, Overview: Virtual Reality in Medicine, *Journal of Virtual Worlds Research*, 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/260762909_OverView_VirtualRealityinMedicine_JVWR.pdf.
- [11] A. Senson, Virtual Reality In Healthcare: Where's The Innovation? URL: <https://techcrunch.com/2015/09/16/virtual-reality-in-healthcare-wheres-the-innovation/>.
- [12] N.Fedel, Human behavior in the virtual reality tests, *PasCal*, 2020. URL: <https://www.pascal-project.eu/news/Human-behavior-in-the-virtual-reality-tests>.
- [13] D. Onate-Vega, O. Oviedo-Trespalacios, MJ King, How drivers adapt their behaviour to changes in task complexity: The role of secondary task demands and road environment factors, *Transportation research part F: traffic psychology and behavior*, 2020, pp. 145-156.
- [14] S. Othman, R. Thomson, G. Lannér, Identifying critical road geometry parameters affecting crash rate and crash type, *Ann AdvAutomot Med*, 2009, pp. 155-65.
- [15] P.Vayalamkuzhi, V.Amirthalingam, Influence of geometric design characteristics on safety under heterogeneous traffic flow, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2016, pp. 559-570.
- [16] A. Choudhary, R.D. Garg, S.S. Jain, Analysis of Pavement and Geometric Factors of Selected Highways for Reduction in Road Accidents, *Proceedings of the Sixth International Conference of Transportation Research Group of India*, 2022, pp.265–283.
- [17] J. Milton, F. Mannering, The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies, 1998, pp. 395–413. URL: <https://doi.org/10.1023/A:1005095725001>.
- [18] S.J. Park, S.Y. Kho, H.C. Park, The effects of road geometry on the injury severity of expressway traffic accident depending on weather conditions, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 2019, pp. 12–28.
- [19] F.Malin, I.Norros, S. Innamaa, Accident risk of road and weather conditions on different road types, *Accident Analysis & Prevention*, 2019, pp. 181-188.
- [20] Y.Chiu, N.Huynh, Location configuration design for Dynamic Message Signs under stochastic incident and ATIS scenarios, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2007, pp. 33-50.