

УДК 528.5:004.946
DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-16-25

Разработка симулятора работы с геодезическим оборудованием в режиме виртуальной реальности

Н. А. Кирилов^{1*}

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: kirilov-na@mail.ru

Аннотация. Внедрение технологий виртуальной реальности в образовательный процесс в дополнение к учебным и производственным практикам позволит обучающемуся получить больше опыта работы с геодезическими приборами в различных условиях. Цель исследования – разработка симулятора работы с геодезическим оборудованием, способного облегчить получение опыта будущими специалистами и улучшить качество образовательного процесса. В статье представлена разработка главного меню симулятора, создание демонстрационного зала геодезических приборов, а также тестирование разработанного программного продукта. Результатом исследования является создание полноценно функционирующего симулятора работы с геодезическим оборудованием в режиме виртуальной реальности, позволяющего дополнить как процесс дистанционного обучения будущих геодезистов, так и очный образовательный процесс. Представляя собой универсальный инструмент, симулятор не только будет полезен для обучения будущих специалистов, но и поможет специалистам с опытом работы освежить знания и потренироваться в работе с геодезическим прибором на разных локациях.

Ключевые слова: геодезический симулятор, виртуальная реальность, 3D-моделирование, геодезическое образование, программирование, тестирование, программное обеспечение

Введение

Виртуальная реальность находит широкое применение в сфере образования [1–3], в том числе при подготовке будущих специалистов в области геодезии, позволяя в процессе обучения отработать множество сценариев геодезической съемки, находясь в одном помещении. Внедрение технологий виртуальной реальности в образовательный процесс в дополнение к учебным и производственным практикам позволит обучающемуся получить больше опыта работы с геодезическими приборами в различных условиях [4–6]. В этом случае молодой специалист сможет быстрее погрузиться в рабочий процесс и будет более востребован на рынке труда [7, 8].

Ранее нами [9] уже были изучены возможности и целесообразность внедрения технологий виртуальной реальности в образовательный процесс в геодезии, разработана концептуальная модель геодезического симулятора [9], предназначенного для обучения будущих специалистов в области геодезии, а также основ-

ные этапы его создания. Однако обеспечение его работоспособности и проведение апробации для оценки эффективности требует проведения дальнейших исследований, включающих создание главного меню и демонстрационного зала.

Целью исследования является разработка симулятора работы с геодезическим оборудованием, способного облегчить получение опыта будущими специалистами и улучшить качество образовательного процесса.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработано главное меню симулятора работы с геодезическими приборами;
- создан демонстрационный зал геодезических приборов;
- проведено тестирование разработанного симулятора работы с геодезическим оборудованием.

Объектом исследования является симулятор работы с геодезическими приборами в дополненной реальности. Предмет исследования – создание, возможности и корректная работа программного обеспечения.

Создание главного меню симулятора работы с геодезическими приборами

Меню является одним из важнейших элементов любой компьютерной программы [10–12]. Раздел главного меню может быть реализован совершенно по-разному. Так, в программах, предназначенных для операционной системы Windows, например, Microsoft Office и т. п., раздел меню располагается в верхней левой части диалогового окна, при клике на который открывается отдельное окно с выбором необходимого функционала. Такой подход характерен для меню большинства программ, у которых основным элементом взаимодействия является компьютерная мышь и клавиатура.

В играх и игровых симуляторах меню реализовано в виде отдельной сцены [13], в которую пользователь попадает сразу после запуска программы. Такой вид главного меню отличается тем, что является связующим звеном для всех остальных частей / сцен программы, позволяя переходить в них. При этом в данном виде меню нельзя сразу начать работу, необходимо выбрать и запустить ту сцену, которая необходима пользователю. То есть можно сказать, что данный вид меню является так называемым хабом, который объединяет все остальные сцены программного продукта через себя. Именно такой подход к реализации меню является предпочтительным для симулятора работы с геодезическим оборудованием в режиме виртуальной реальности.

В стандартном игровом меню пользователь на экране видит фон программы и элементы взаимодействия в виде списка для взаимодействия с мышью или клавиатурой. Такой вариант неприемлем для программных продуктов, созданных на основе технологии виртуальной реальности.

Отличительной особенностью меню симулятора работы с геодезическим оборудованием в режиме виртуальной реальности является необходимость разработки 3D-сцены, в которой пользователь будет находиться. При запуске программы пользователь попадает в некую локацию, в которой он может взаимодействовать с предметами, как не несущими информационную нагрузку, так и яв-

ляющимися главными элементами взаимодействия. Таким образом, пользователь, попадая в программу виртуальной реальности, с первой сцены учится взаимодействовать с элементами управления, которые пригодятся для основных сцен, а также чувствует большую вовлеченность в процесс, исходя из погружения в программный мир.

В ходе исследования была разработана концепция сцены главного меню симулятора для работы с геодезическим оборудованием, которая с первых минут запуска симулятора позволит пользователю почувствовать себя в реальных условиях работы геодезиста.

Сцена главного меню включает в себя несколько элементов трехмерной графики, которые варьируются от создания непосредственно локации до маленькой комнаты, в которой пользователь будет взаимодействовать с объектами. Такой подход – от большего к меньшему – обусловлен продуманностью локации, то есть сначала необходимо определить, в какой местности будет находиться так называемая комната взаимодействия пользователя, затем создать саму локацию и поместить в нее потенциальную комнату, а далее доукомплектовать созданную сцену мелкими элементами трехмерной графики.

Так как разрабатывается симулятор работы с геодезическим оборудованием, то было решено создать лесную локацию, в которой расположены несколько частных домов и построек, в одной из которых и будет находиться комната для взаимодействия пользователя с объектами.

В комнате должны быть окна и двери, необходимые для наибольшей реалистичности и наиболее эффективного погружения пользователя в процесс обучения. Этим также обусловлено создание лесной локации. На рис. 1 представлена лесная локация с высоты птичьего полета.

Все объекты, задействованные в создании сцены меню геодезического симулятора, можно условно разделить на верхнеуровневые и низкоуровневые.

Разработанная сцена главного меню геодезического симулятора включает такие элементы верхнеуровневого 3D-моделирования, как деревья двух видов и разных размеров,

траву, проезжую часть – асфальтированное дорожное покрытие с нанесенной на него разметкой, два частных дома, а также гараж,

в котором располагается так называемая комната взаимодействия пользователя с объектами.



Рис. 1. Изображение лесной локации главного меню симулятора, вид сверху

К низкоуровневым объектам относятся объекты, которые пользователь будет видеть вблизи, и объекты, с которыми он будет непосредственно взаимодействовать. Для этого внутри созданного ранее гаража было решено разместить такой 3D-объект, как автомобиль УАЗ-452 «Буханка», представленный на рис. 2, который часто используют при проведении геодезических работ, а также построить элементы взаимодействия вокруг данного автомобиля – зона передвижения пользователя будет находиться непосредственно в данном автомобиле и будет ограничена им.



Рис. 2. Автомобиль УАЗ-452 «Буханка»

Основными объектами взаимодействия будут такие элементы, как USB-флеш-накопитель, а также экран монитора, расположенные внутри транспортного средства. На рис. 3 представлены главные объекты взаимодействия пользователя в сцене главного меню.



Рис. 3. Объекты взаимодействия пользователя в сцене главного меню

Дополнительным элементом взаимодействия было решено сделать кнопку, отвечающую за включение или отключение звукового сопровождения в сцене главного меню, кроме того, она является объектом для обучения пользователя основам управления.

Для большего антуража и погружения в ближайшую зону видимости пользователя добавлены более детализированные объекты, которые находятся как внутри транспортного средства – кейсы для геодезических приборов, диван и т. д., так и снаружи, в самом гараже.

При включении симулятора работы с геодезическим оборудованием пользова-

тель видит окно обучения. Окно отображается каждый раз при загрузке сцены главного меню. Окно обучения необходимо для того, чтобы пользователь научился взаимодействовать с миром симулятора. В нем представлены возможности для обучения передвижению, поднятию предметов, нажатию на кнопки и дистанционной навигации. Окно обучения состоит из текстового блока, в котором выводятся обучающие сообщения, а также трех кнопок, отвечающих за переключение языка, переход вперед и пропуск. На рис. 4 можно ознакомиться с окном обучения.

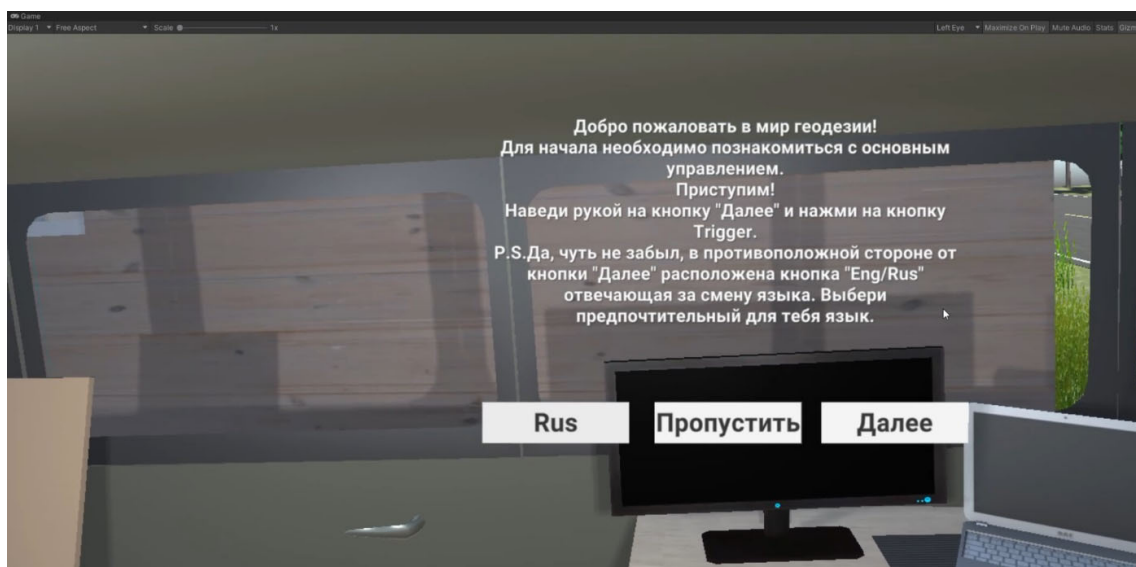


Рис. 4. Окно обучения

Переход из главного меню к другим сценам в геодезическом симуляторе реализован через экран монитора. Для запуска монитора необходимо подключить USB-флеш-накопитель к ноутбуку. Для этого на ноутбуке находится вспомогательный стикер, указывающий, куда имен-

но необходимо поместить запоминающее устройство. После этого экран монитора включается и появляется возможность выбора сцены для перехода. На рис. 5 представлен включенный монитор, проецирующий на экран меню возможных вариантов действий.



Рис. 5. Окно главного меню

Разработанное главное меню симулятора работы с геодезическим оборудованием позволяет попасть в демонстрационный зал геодезических приборов или отправиться на измерения в определенную локацию.

При выборе в главном меню демонстрационного зала геодезических приборов происходит загрузка данной сцены. Разработка сцены демонстрационного зала геодезических приборов будет рассмотрена ниже.

При выборе пункта «Измерения» необходимо выбрать один из четырех слотов сохранения. Четыре слота сохранения обусловлены количеством студентов в учебном потоке, то есть примерно 120. Если учесть, что приборов будет закуплено всего 30, то четыре слота для сохранения хватит для одного курса обучения студентов. После выбора слота сохранения необходимо выбрать локацию, в которой будут проводиться геодезические измерения. В ходе исследования была создана одна локация – «Холмистая местность». После этого происходит загрузка выбранной сцены с выбранными сохранениями. На рис. 6 представлена локация «Холмистая местность» с высоты птичьего полета.

На основании всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что сцена глав-

ного меню в геодезическом симуляторе не только является связующим звеном между другими сценами, но также дополняет виртуальный мир симулятора, позволяя пользователю глубже погрузиться в процесс работы геодезиста.

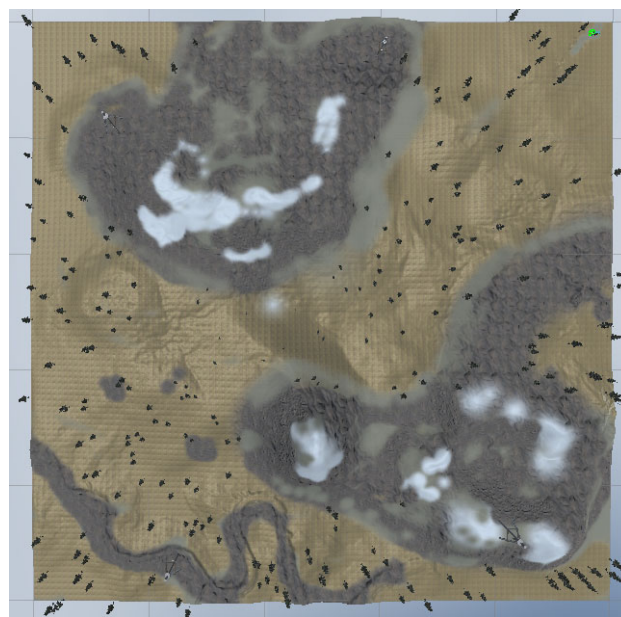


Рис. 6. Локация «Холмистая местность» с высоты птичьего полета

Создание демонстрационного зала геодезических приборов

Следующий этап, необходимый для разработки полноценно функционирующего симулятора работы с геодезическим оборудованием, – создание демонстрационного зала геодезических приборов. Идея его создания возникла еще на стадии планирования концепции симулятора работы с геодезическим оборудованием.

Демонстрационный зал геодезических приборов – дополняющее звено, между главной сценой и сценой меню симулятора. Он представляет собой сценарий, позволяющий пользователю не только познакомиться с геодезическим оборудованием, которое встречается в сцене измерений, в одном месте, визу-

ально, но и прочесть краткую информацию о нем. Эта информация будет полезна как новичкам, которые только приобщаются к геодезии, так и опытным геодезистам, позволяя освежить знания о геодезических приборах.

Разработанная сцена включает в себя темную локацию, в которой в два ряда установлены геодезические приборы как выставочные экспонаты. Концепция темного безграничного помещения позволяет сделать акцент именно на геодезическом оборудовании, а не на окружающем его пространстве. Рядом с каждым геодезическим прибором расположен информационный стенд, содержащий краткую информацию на русском и английском языках. На рис. 7 представлена сцена демонстрационного зала геодезических приборов.

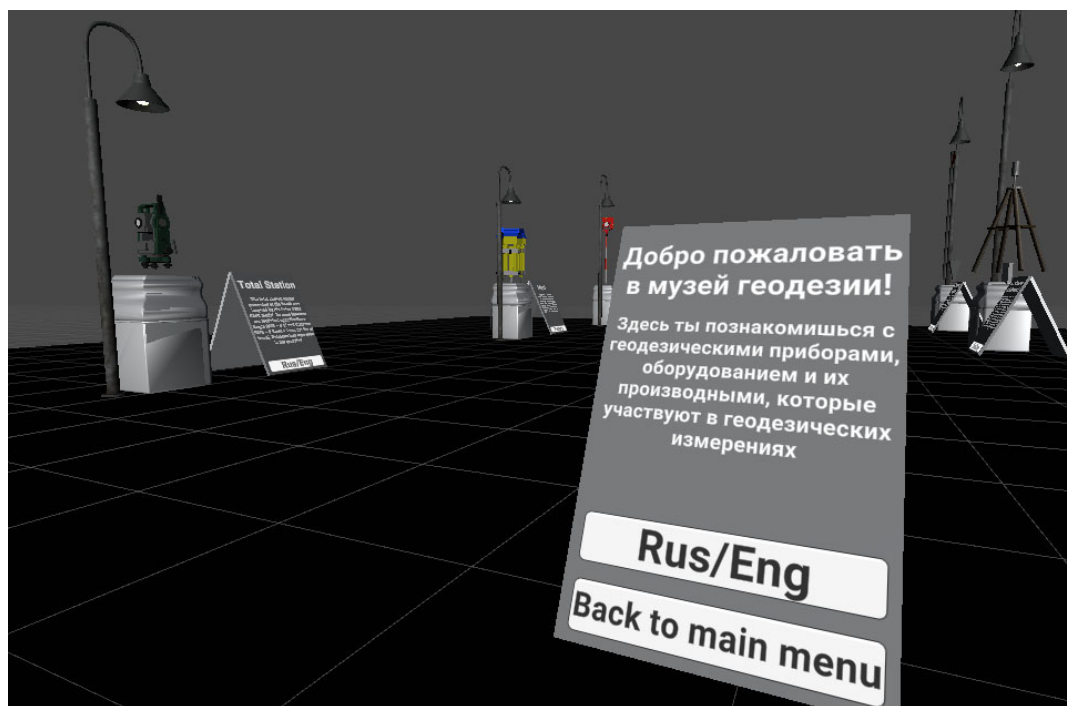


Рис. 7. Сцена демонстрационного зала геодезических приборов

Все созданные сцены симулятора работы с геодезическим оборудованием: главное меню, демонстрационный зал геодезических приборов и локация для проведения измерений – взаимодополняют друг друга, позволяя пользователю освоить различные навыки – от обучения основам работы в симуляторе до самостоятельной съемки местности с помощью геодезического оборудования.

Тестирование симулятора работы с геодезическим оборудованием

Разработанный симулятор работы с геодезическим оборудованием является программным продуктом. Как и любое другое программное обеспечение, геодезический симулятор нуждается в проведении нескольких этапов тестирования [14–16].

Под тестированием программного обеспечения понимается процесс анализа программного средства и сопутствующей документации с целью выявления дефектов и повышения качества [17]. Данный процесс необходим, так как в любом программном обеспечении могут скрываться ошибки, которые могут быть допущены по самым разным причинам от некорректного кода до банальной невнимательности. Под ошибкой в данном случае понимается расхождение фактического результата от ожидаемого. Для того, чтобы программный продукт был презентован с минимальным количеством ошибок, необходимо его качественно протестировать.

Качество тестирования программы зависит от множества факторов, одним из которых является выбор модели разработки программного обеспечения [15]. Именно с него начинается тестирование, так как при выборе той или иной модели процесс тестирования может начаться как одновременно с разработкой проекта и до его завершения, так и на поздних этапах, когда разработка уже была завершена.

Следующий фактор, влияющий на качество тестирования программного продукта, – тестирование документации и требований проекта [16]. Для любого крупного проекта перед его реализацией составляются документы, содержащие требования к нему, которые также подлежат тестированию.

Одним из важных факторов является и количество инженеров, привлекаемых для тестирования продукта, а также их опыт и навыки.

Факторов, оказывающих влияние на качество тестирования программ, значительно больше, чем было описано ранее. Были упомянуты лишь наиболее важные для тестирования симулятора работы с геодезическим оборудованием.

Тестирование геодезического симулятора началось с выбора метода модели разработки программного обеспечения. Это достаточно трудоемкий процесс, так как разработкой симулятора занималась команда, состоявшая из двух человек. По этой причине выбор метода модели разработки сузился и заключался в выборе между водопадной моделью и Agile моделью – двумя принципиально разными подходами к разработке.

Модель Agile достаточно трудна для больших проектов [17], но подходит для реализации геодезического симулятора за счет минимизации документации и тесной связи между разработкой и тестированием. Тестирование при данной модели разработки может проводиться в любой момент или же в определенные заранее моменты.

Водопадная модель разработки на сегодняшний день считается устаревшей и практически не используется по той причине, что она лишена «гибкости» в процессе жизненного цикла программного обеспечения. Эта модель предполагает однократное выполнение каждой из стадий проекта, при этом тестирование начинается только с середины жизненного цикла программного продукта.

Так как разработкой геодезического симулятора занималась небольшая команда и ее члены выполняли одновременно функции аналитиков, программистов и специалистов по тестированию, то выбор был сделан в пользу гибкой модели разработки – Agile. Это обусловлено возможностью модели возвращаться в любой момент итерации к определенным стадиям проекта и переделывать их. Применение модели Agile позволило свести к минимуму документацию по проекту, а ту документацию, которая была составлена, дорабатывать в процессе разработки и тестирования симулятора. Благодаря этому основной упор был направлен на непосредственную проверку функциональных возможностей симулятора работы с геодезическим оборудованием в режиме виртуальной реальности.

Тестирование функциональных возможностей заключается в проверке работоспособности программного обеспечения [14].

Для более полного анализа программного обеспечения – от классификаций по степени важности тестируемых функций и заканчивая тестированием по методу белого ящика.

Тестирование по методу белого ящика подразумевает проверку функций, к которым есть доступ с точки зрения компьютерного кода, а также знаний специалиста по тестированию в этой области [14].

В процессе тестирования симулятора были проверены все функции, заложенные

в него, начиная от окружающего пространства и заканчивая функциями, относящимися к проложению теодолитного хода с помощью тахеометра.

По результатам тестирования были сделаны следующие выводы:

– запланированный объем тестирования был выполнен на 100 %, исключая тест-кейсы, связанные с расширенным тестированием;

– выявленные ошибки были исправлены в процессе создания функций, что свело к минимуму ошибки со степенью важности «серьезный» и выше;

– не были исправлены только ошибки, связанные с игровым движком Unity, а также те, которые связаны с расширенным тестированием. Исправление ошибок, связанных с игровым движком, необходимо либо производить на стороне производителя игрового движка, либо выделить дополнительные ресурсы и время на их исправление со стороны разработчика симулятора. Ошибки, связанные с расширенным тестированием, было решено не исправлять, так как время на тестирование и доработку симулятора было ограничено, а данные ошибки можно отнести к незначительным, потому что они не влияют на функциональность симулятора.

Таким образом тестирование симулятора работы с геодезическим оборудованием было пройдено успешно. В ходе прохождения тестирования разработанный программный продукт был продемонстрирован узкой фокус-группе, состоящей из специалистов, закончивших Сибирский государственный университет геосистем и технологий. По результатам показа был сделан вывод о готовности продукта к презентации и внедрению в образовательный процесс.

Заключение

В процессе исследования был создан симулятор работы с геодезическим оборудованием, способный облегчить получение опыта будущим специалистам и улучшить качество преподавательского процесса, таким образом, цель исследования была достигнута.

При проведении исследования было разработано главное меню симулятора, создан демонстрационный зал геодезических приборов, а также проведено тестирование разработанного программного продукта.

Был создан полноценно функционирующий симулятор работы с геодезическим оборудованием в режиме виртуальной реальности, позволяющий дополнить как процесс дистанционного обучения будущих геодезистов, так и очный образовательный процесс. Представляя собой универсальный инструмент, симулятор будет не только полезен для обучения будущих специалистов, но и поможет специалистам с опытом работы освежить знания и потренироваться в работе с геодезическим прибором на разных локациях.

Как и любой другой программный продукт, геодезический симулятор не лишен будущих улучшений. Для этого необходимо проведение его апробации в реальных условиях образовательного процесса. Это позволит выявить его недостатки и улучшить симулятор. Помимо этого, необходимо дополнить симулятор локациями с различными погодными условиями и ландшафтами местности, а также добавить новые типы геодезических приборов и вспомогательного оборудования для них. В перспективе возможно расширение возможностей виртуального демонстрационного зала. Все это требует проведения дальнейших исследований в данной области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Подкосова Я. Г., Варламов О. О., Остроух А. В., Краснянский М. Н. Анализ перспектив использования технологий виртуальной реальности в дистанционном обучении // Вопросы современной науки и практики. – 2011. – № 2 (33). – С. 104–111.
2. Антониади К. С. Применение VR и AR технологий в образовании // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований. – 2020. – № 2. – С. 26–29.
3. Кирьянов А. Е. Технологии дополненной реальности в сфере образования // Инновации. – 2020. – № 5. – С. 81–88.
4. Рахмонов А. Б. Внедрение виртуальной реальности в образовательный процесс: достоинства и недостатки // European science. – 2020. – № 5 (54). – С. 39–41.

5. Monaha T. Virtual Reality for Collaborative E-learning // Computers and Education. – 2008. – No. 50 (4). – P. 1339–1353.
6. Thakral S. Virtual Reality and M-Learning // International Journal of Electronic Engineering Research. – 2010. – Vol. 2. – No. 5. – P. 659–661.
7. Лисицкий Д. В., Осипов А. Г., Савиных В. Н., Кичеев В. Г., Макаренко Н. Н. Геоинформационное пространство: реальный мир и дополненная реальность // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геопространство в социогуманитарном дискурсе» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 31–37.
8. Карпик А. П., Мусихин И. А., Ветошкин Д. Н. Интеллектуальные информационные модели территорий как эффективный инструмент пространственного и экономического развития // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 155–163.
9. Кирилов Н. А. Применение технологий виртуальной реальности в профессиональной подготовке специалистов в области геодезии // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 6. – С. 28–38.
10. Кирьянов Д. А. Особенности организации и классификация интерфейсов виртуальной реальности // Программные системы и вычислительные методы. – 2022. – № 2. – С. 25–40.
11. Choi K.-S. Usability evaluation of 3D user interface for virtual planning of bone fixation plate placement [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2020.100348>. (accessed 10.12.2022).
12. Milgram P. A taxonomy of mixed reality visual displays // IEICE Transactions on Information and Systems. – 1994. – Vol. E77-D, No. 12. – P. 1321–1329.
13. Dachsel R. A Survey and Taxonomy of 3D Menu Techniques [Electronic resource]. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.2312/EGVE/EGVE06/089-099> (accessed 07.01.2023).
14. Бирюков С. В. Анализ стратегий тестирования программного обеспечения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 1. – С. 59–63.
15. Калашников Е. И. Процесс тестирования программного обеспечения, типы и методы тестирования // Молодой ученый. – 2020. – № 50 (340). – С. 27–31.
16. Майерс Г. Д., Баджетт Т., Сандлер К. Искусство тестирования программ. – М. : СПб. : Диалектика, 2019. – 271 с.
17. Куликов С. С. Тестирование программного обеспечения. Базовый курс. – Минск : Четыре четверти, 2017. – 312 с.

Об авторах

Никита Александрович Кирилов – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Получено 01.02.2023

© Н. А. Кирилов, 2023

Development of a geodetic simulator in virtual reality mode

*N. A. Kirilov¹**

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: kirilov-na@mail.ru

Abstract. The introduction of virtual reality technologies in the educational process in addition to educational and industrial practices will allow a student to gain more experience with geodetic instruments under different conditions. The aim of the research is to develop a geodetic simulator, which can facilitate the experience of future specialists and improve the quality of the educational process. The article presents the development of the main menu of the simulator, the creation of a demo room of geodetic instruments, as well as testing of the developed software product. The result of the research is the creation of a fully functioning simulator of work with geodetic equipment in virtual reality, which allows supplementing both the distance learning process of future geodesists and the full-time educational process. Being a universal tool, the simulator will be useful not only for training future specialists, but also will help specialists with work experience to refresh their knowledge and practice with geodetic equipment at different locations.

Keywords: geodesic simulator, virtual reality, 3D modeling, geodesic education, programming, testing, software

REFERENCES

1. Podkosova, Ya. G., Varlamov, O. O., Ostrouh, A. V., & Krasnyanskij, M. N. (2011). Analysis of the prospects of using virtual reality technologies in distance learning. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki [Issues of Modern Science and Practice]*, 2(33), 104–111 [in Russian].
2. Antoniadi, K. S. (2020). Application of VR and AR technologies in education. *Novye impul'sy razvitiya: voprosy nauchnyh issledovanij [New Impulses of Development: Issues of Scientific Research]*, 2, 26–29 [in Russian].
3. Kir'yanov, A. E. (2020). Augmented reality technologies in the field of education. *Innovacii [Innovations]*, 5, 81–88 [in Russian].
4. Rahmonov, A. B. (2020). Introduction of virtual reality into the educational process: advantages and disadvantages. *European Science*, 5(54), 39–41 [in Russian].
5. Monaha, T. (2008). Virtual Reality for Collaborative E-learning. *Computers and Education*, 50(4), 1339–1353.
6. Thakral, S. (2010). Virtual Reality and M-Learning. *International Journal of Electronic Engineering Research*, 2(5), 659–661.
7. Lisitskiy, D. V., Osipov, A. G., Savinyh, V. N., Kicheev, V. G., & Makarenko, N. N. (2018). Geoinformation space: the real world and augmented reality. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2018: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Geoprostranstvo v sotsiogumanitarnom diskurse [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2018: International Scientific Conference: Geospace in Socio-Humanitarian Discourse]* (pp. 31–37). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
8. Karpik, A. P., Musikhin, I. A., & Vetoshkin, D. N. (2021). Intellectual information models of territories as an effective tool of spatial and economic development. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(2), 155–163 [in Russian].
9. Kirilov, N. A. (2022). Application of virtual reality technologies in the professional training of specialists in the field of geodesy. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(6), 28–38 [in Russian].
10. Kir'yanov, D. A. (2022). Features of the organization and classification of virtual reality interfaces. *Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody [Software Systems and Computational Methods]*, 2, 25–40 [in Russian].
11. Choi, K.-S. (n. d.). Usability evaluation of 3D user interface for virtual planning of bone fixation plate placement. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.imu.2020.100348> (accessed December 10, 2022).
12. Milgram, P. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D(12), 1321–1329.
13. Dachselt, R. (n. d.). A Survey and Taxonomy of 3D Menu Techniques. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.2312/EGVE/EGVE06/089-099> (accessed January 07, 2023).
14. Biryukov, S. V. (2008). Analysis of software testing strategies. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki [News of the SFU. Technical Sciences]*, 1, 59–63 [in Russian].
15. Kalashnikov, E. I. (2020). Software testing process, types and methods of testing. *Molodoj uchenyj [Young Scientist]*, 50(340), 27–31 [in Russian].
16. Majers, G. D., Badzhett, T., & Sandler, K. (2019). *Iskusstvo testirovaniya programm [The Art of Software Testing]*. Moscow: Saint Petersburg: Dialektika Publ., 271 p. [in Russian].
17. Kulikov, S. S. (2017). *Testirovanie programmnoy obespecheniya. Bazovyy kurs [Software testing. Basic course]*. Minsk: Chetyre chetverti Publ., 312 p. [in Russian].

Author details

Nikita A. Kirilov – Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Received 01.02.2023

© N. A. Kirilov, 2023