

# Разработка интерактивных VR-тренажеров на базе программного обеспечения VR Concept и фреймворка Ionium Collider

В.М. Мамедов

**Аннотация** — В статье рассматриваются особенности внедрения VR-технологии в образовательный процесс высших учебных заведений с учетом имеющихся особенностей, достоинств и недостатков в формате интерактивных тренажеров на базе отечественного программного обеспечения VR Concept. Сформулированные методологические особенности и этапы разработки VR-тренажеров позволяют верно определить требования к элементам интерактивности виртуального пространства. Предложен метод достижения динамического изменения сцены, который исключает необходимость разработки алгоритмов для трансляции данных по протоколу UDP в VR Concept, при этом функциональная часть тренажера может быть разработана на прогрессивном языке программирования JavaScript с использованием фреймворка Ionium Collider. Установлено, что скорость передачи данных, пропорциональная частоте кадров изменения виртуального пространства, оказывает существенное влияние на ощущения обучающихся и при определённых условиях может вызвать эффект укачивания. Для более гибкого контроля над передачей данных целесообразно внедрение в программное обеспечение протоколов WebSocket, HTTP-запросов и др. вместо используемого на данный момент протокола UDP в VR Concept.

**Ключевые слова** — виртуальная реальность, VR тренажер, интерактивность, фреймворк, алгоритм, импортозамещение, информационные технологии.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие информационных технологий тесно связано с поиском путей их использования в различных отраслях промышленности [1], медицине [2], образовательной [3] и коммерческой деятельности [4]. На сегодняшний день наряду с искусственным интеллектом, нейронными сетями и машинным обучением в целом имеется потребность в визуализации сложных технологических процессов в машиностроении, ракетостроении, химической промышленности и пр. Одним из экономически целесообразных методов решения этой задачи является технология виртуальной реальности (VR).

Статья получена 30 мая 2023 г.  
Мамедов Владислав Марсельевич, МГТУ им. Н.Э. Баумана, аспирант, преподаватель-ассистент, инженер-конструктор 1 категории, mamedov-vm@bk.ru.

В контексте образовательной деятельности использование VR-технологий позволяет достичь высокого уровня вовлеченности обучающихся за счет наглядности, относительной простоты и эффективности восприятия происходящих в виртуальной реальности событий в условиях полного погружения [5, 6, 7]. Обширные социальные исследования отношения студентов к использованию элементов VR в образовательном процессе [8] показывают, что преобладающее большинство опрошенных никогда не использовали технологию на практике, но считают ее перспективной к внедрению в высших учебных заведениях в ближайшие 5-10 лет.

Следует рассмотреть ряд преимуществ, которые может предложить рассматриваемая технология:

— виртуальное пространство не требует физического присутствия людей в одном месте, благодаря чему образовательный процесс, деловое совещание или простое групповое взаимодействие могут быть доступны в условиях пандемии или географической разрозненности участников;

— процессы и явления, демонстрируемые в рамках виртуального пространства, обладают свойством повторяемости, т.е. могут быть многократно воспроизведены без физического разрушения объектов и расходования материальных ресурсов;

— для работы в виртуальном пространстве участникам нет необходимости проходить инструктаж по технике безопасности, получать соответствующие разрешения на работу со специализированным оборудованием поскольку пребывание в таком пространстве и взаимодействие с его окружением не имеет рисков, связанных с нарушением выполнения технологических процессов;

— возможности, предлагаемые технологией VR, фактически ограничены функциональным оснащением программного обеспечения и могут быть расширены в ответ на запросы использующих тот или иной продукт специалистов.

Наряду с представленными достоинствами и недостатками в [9, 10] к особенностям технологии VR можно отнести:

— необъективность нормирования времени пребывания участника в виртуальном пространстве, обусловленная физическими возможностями

конкретного человека;

— отсутствие проработанной методологии организации демонстраций технологических процессов для промышленности, образовательных занятий для учебных заведений и т.д.;

— существенные единовременные капитальные затраты на специализированное компьютерное оборудование и лицензии на программное обеспечение, которые значительно ниже, чем затраты на организацию натуральных тренажеров, стендов и их техническое оснащение, что требует глубокой оценки и стратегии по максимально полному использованию внедряемой технологии VR;

— разработка виртуального окружения требует компетенций широкого профиля для создания твердотельных моделей, математического и физического описания протекающих в системах процессов, написание программного кода и пр.

С учетом вышесказанного можно прийти к выводу, что внедрение VR технологии – процесс длительный и финансово затратный. На данный момент в Российской Федерации темпы развития VR отстают от общемировых [11], однако, в планах развития цифровой экономики выработана верная стратегия популяризации VR, которая основана на привлечении преподавательского состава высших учебных заведений к разработке тренажеров и виртуальных прототипов сложнейших технических систем. За счет большого практического и теоретического опыта работы в соответствующих отраслях промышленности и ускоренной адаптации к внедрению новых программных продуктов такой подход позволит создать и отработать верную методологию использования технологии VR в образовательной и коммерческой целях.

Изложенный ниже материал частично содержит результаты, полученные в ходе разработки виртуальных тренажеров специализированных систем жизнеобеспечения, криогенных и холодильных систем в рамках реализации проекта «Передовые инженерные школы» при МГТУ им. Н.Э. Баумана.

## II. МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ VR-ТРЕНАЖЕРОВ

Под тренажером в данной работе понимается совокупность цифровых прототипов реального технологического оборудования, обеспечивающих максимально возможную для конкретного программного обеспечения степень соответствия протекающих в виртуальной реальности процессов с объективной реальностью. Целевое назначение VR-тренажера – получение обучающимися навыков практической работы с технической системой и ее элементами, отработка приемов настройки и управления ими.

Например, виртуальный тренажер компрессорного зала должен включать детальную проработку составных частей компрессорных машин, трубопроводов, элементов запорно-регулирующей арматуры и контрольно-измерительных приборов, позволяющих

выполнить операции запуска и безаварийного останова, а также допускать симуляцию аварийных ситуаций и обеспечивать выполнение методов их ликвидации.

Максимально полное использование возможностей технологии VR может быть достигнуто, если разработчики будут придерживаться следующего алгоритма при создании тренажеров

### A. Постановка задачи

Для технических систем задача формулируется на основании определенного целевого назначения рассматриваемого агрегата или устройства. На этом этапе должны быть продуманы интерактивные элементы, методы их организации и реакции виртуального пространства на взаимодействие пользователя с этими элементами.

### B. Подготовка 3D-моделей

Полный эффект присутствия будет достигнут только в случае детальной проработки окружения и оборудования, с которым будут взаимодействовать обучающиеся. Нарботки твердотельных моделей и формирование каталога – задача конструкторских отделов и подразделений.

В случае, когда оборудование выполняет вспомогательную функцию, оно может быть загружено из открытых источников и помещено на сцену.

### C. Разработка сценария для VR-тренажера

Действия, выполняемые на тренажере в VR, должны иметь четкую структуру и быть последовательными. В этом случае требования к программному обеспечению, реализующему физическое и математическое моделирование системы будут сформулированы в необходимом объеме.

### D. Моделирование процессов в VR-пространстве

В ходе выполнения этого этапа разрабатывается или выбирается инструмент, который обеспечивает реализацию необходимых элементов интерактивности, выработанных на прошлом этапе. Фактически в состав виртуального пространства помещаются элементы цифрового двойника какой-либо системы или ее составные части [12].

При разработке виртуального тренажера наибольшее количество технических трудностей обнаруживается на последнем этапе. Прежде всего они связаны с организацией взаимодействия физической и/или математической модели с программными продуктами сторонних разработчиков для построения виртуального пространства. Подробный обзор соответствующего программного обеспечения представлен в [3, 13].

## III. ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

На данный момент на рынке программного обеспечения имеется большое количество решений, которые могут быть применены для разработки VR-тренажеров. К перспективным продуктам

отечественного производства можно отнести *VR Concept* [14, 15], который в период 2018-2023 гг. получил широкое распространение среди крупных промышленных объединений и образовательных учреждений на фоне реализуемой в РФ стратегии импортозамещения.

Анализ научных работ авторов из ведущих высших учебных заведений показал, что *VR Concept* активно используется для разработки VR-проектов [10, 13, 16, 17, 18, 19], в том числе виртуальных тренажеров.

#### IV. МЕТОД РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРАКТИВНОСТИ

В качестве примера рассмотрим принципиальную схему виртуального тренажера, построенного на базе *VR Concept* (Рис.1).

Клиенты VR-пространства – участники, находящиеся физически в одном месте или удаленные друг от друга. Для подключения к виртуальному пространству в автоматическом режиме используется программный модуль *VR Concept Client*. Для корректной работы участникам необходимо иметь VR-шлем, контроллеры и специализированное компьютерное оборудование.

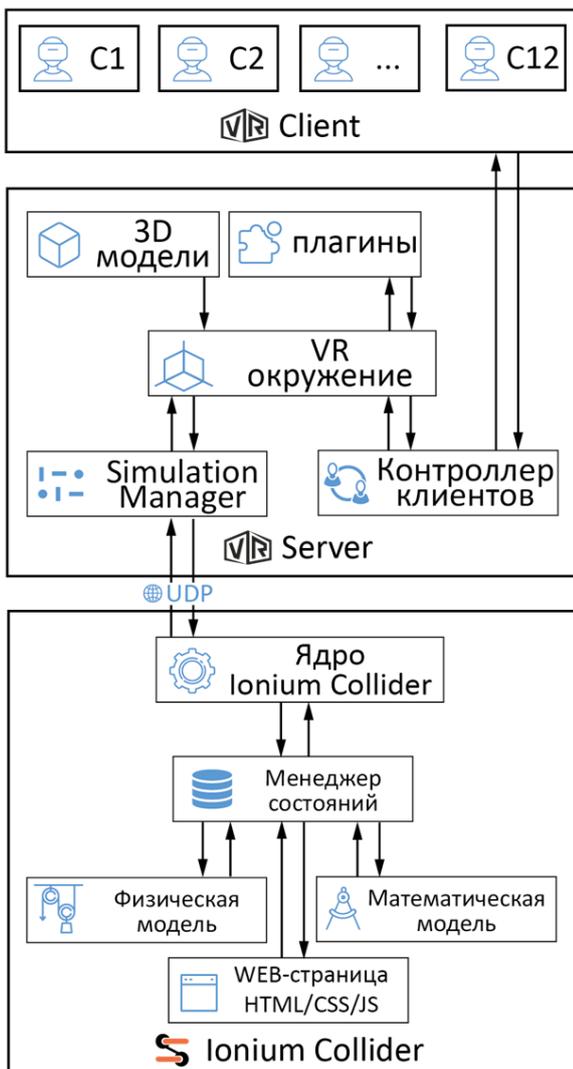


Рис.1 - Принципиальная схема интерактивного VR-тренажера

Организация совместной работы клиентов реализуется программным модулем *VR Concept Server*, который обеспечивает синхронизацию действий клиентов в виртуальном пространстве.

Для построения сцены могут быть применены твердотельные модели, выполненные в различных CAD-системах, в том числе поддерживается воспроизведение анимации, созданной в *VR Concept* или *Blender* – программном комплексе для работы с трехмерной графикой, распространяемом на некоммерческой основе.

За изменение состояния виртуального пространства отвечает плагин *Simulation Manager*, который имеет ряд функциональных возможностей, позволяющих:

- изменить положения элементов дерева сцены по трем декартовым координатам;
- изменить масштаб и выполнить поворот элементов дерева сцены относительно заданной оси;
- изменить свойства материала, включая прозрачность, у элементов дерева;
- воспроизвести звуковые файлы однократно или циклически;
- вывести числа типа «double» в окне, привязанном к элементу дерева сцены, с возможностью настройки формата отображения значения и самого окна.

Связь *Simulation Manager* со сторонним программным обеспечением, в том числе с *SimInTech* (Simulation In Technic) выполняется посредством протокола UDP (User Datagram Protocol) стека TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Использование этого протокола облегчает задачу транслирования данных из симуляционных моделей *SimInTech*, но для разработки тренажера с полным контролем виртуального пространства зачастую требуется полноценный высокоуровневый язык программирования.

Опыт разработки тренажера на базе *VR Concept* показывает, что у многих специалистов возникают трудности с коммуникацией физических и математических моделей, например разработанных на Python, Pascal и др., с *Simulation Manager*. Для облегчения и ускорения процесса создания VR-тренажеров был разработан программный комплекс на базе фреймворка *Ionium Collider* [20].

*Ionium Collider Framework* предназначен для создания современного, удобного и многофункционального пользовательского интерфейса в формате WEB-страниц с использованием JavaScript, HTML (HyperText Markup Language) и CSS (Cascading Style Sheets) в приложениях, разрабатываемых на Pascal (Delphi 11). Область применения фреймворка – разработка программных продуктов, в которых требуется сочетание достоинств объектно-ориентированного языка программирования с жесткой типизацией Pascal и гибкого JavaScript для выполнения асинхронных операций. Функциональная схема фреймворка (Рис.2).

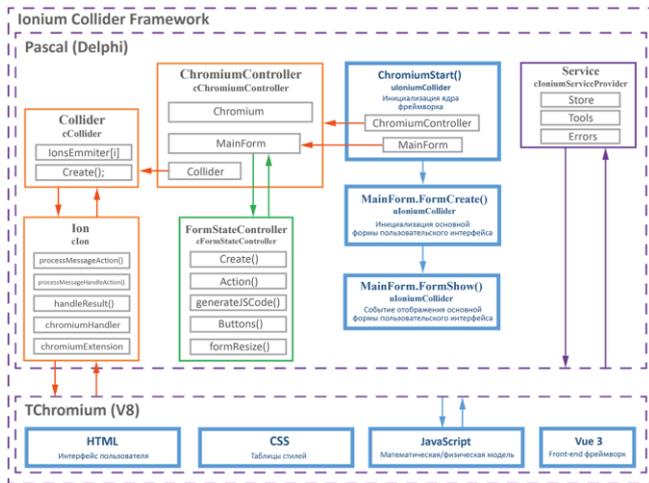


Рис.2 - Функциональная схема фреймворка *Ionium Collider* и потоки передачи данных

Передача данных из пользовательского интерфейса WEB-страницы в ядро фреймворка реализуется за счет обработчиков событий в классах, которые в контексте *Ionium Collider* называются «ионами» - TIonVR. Шина данных формируется за счет встраивания пользовательского расширения в компонент TChromium, имеющего возможность реагировать на события типа Process Message. Заголовок окна и весь реализуемый им функционал (закрытие окна, сворачивание и пр.) также построен на обработке событий в *Ionium Collider* и является частью WEB-страницы.

Программный код передачи данных по UDP, выполняемый при проксировании события в Ion (Рис.3), может быть полезен не только при разработке на Pascal, но и на C++.

```

unit cIonVr;
interface
uses
  Classes, IdUDPServer, IdGlobal, // ...;
{ TIonVr }
constructor TIonVr.Create(handlerWithMessage: Boolean = false);
begin
  inherited;
  // Инициализация UDP-сервера
  udpS := TIdUDPServer.Create(service.store.formMain);
  udpS.BufferSize := 8192;
  udpS.DefaultPort := 6501;
  udpS.BroadcastEnabled := False;
  // Подготовка массива для передачи
  dataList := TStringList.Create();
end;
// Обработка события нажатия кнопки
procedure TIonVr.processMessageAction(type_, commands, params: string);
var
  doubleValue: Double; prepareData: string; i: Integer;
begin
  if (commands = 'task') then
  begin
    // Парсинг данных из JavaScript
    prepareData := StringReplace(params, '.', ',', [rfReplaceAll]);
    dataList.Delimiter := '|';
    dataList.DelimitedText := prepareData;
    // Подготовка массива данных
    SetLength(binaryData, dataList.Count * SizeOf(Double));
    for i := 0 to dataList.Count - 1 do
    begin
      if TryStrToFloat(dataList[i], doubleValue) then
        PDouble(@binaryData[8 * i])^ := doubleValue
      else
        PDouble(@binaryData[8 * i])^ := 0
      end;
    // Отправка данных
    udpS.SendBuffer('127.0.0.1', 6506, binaryData);
    // Очистка памяти
    dataList.Clear;
  end;
end;
end.
    
```

Рис.3 - Алгоритм для передачи данных по UDP в VR

Concept

Расширение функциональных возможностей фреймворка позволило исключить необходимость прямой работы разработчика тренажера с протоколом UDP и обойти ограничения, связанные с политикой безопасности передачи данных по сети для интерпретируемых языков программирования, к которым относится JavaScript. Пользовательский интерфейс для контроля симуляций формируется на основе HTML-разметки (Рис. 4) и таблицы стилей CSS (Рис. 5). Пример пользовательского интерфейса (Рис. 6), позволяющего изменять скорость передачи пакетов в *Simulation Manager VR Concept*.

```

<div style="...">
  <collider-button command="task" :params="params" module="vr">
    Один раз
  </collider-button>
  <c-button @click="test">Начать трансляцию</c-button>
  <div style="...">
    Скорость движения объектов
    <c-range :max="100" :min="1" v-model="objectSpeed"/>
  </div>
  <div style="...">
    Скорость отправки данных
    <c-range :max="1000" :min="10" v-model="sendingSpeed" />
  </div>
</div>
    
```

Рис.4 - HTML-разметка пользовательского интерфейса для изменения параметров передачи

```

click() {
  let moduleName = this.module + '.handle!';
  let parsedParams = '';
  // Если передан объект
  if (typeof (this.params) === 'object') {
    parsedParams = JSON.stringify(this.params);
  } else {
    // Если передана строка
    parsedParams = this.params;
  }
  // Если модуль обработчика кнопки зарегистрирован
  if (typeof (eval(moduleName)) === 'function') {
    let evalExpression = this.module + '.handle(\'button\', \''
      + this.command + '\', \''
      + parsedParams + '\')';
    eval(evalExpression);
  }
},
    
```

Рис.5 - JavaScript код для трансляции события нажатия кнопки в *Ionium Collider*

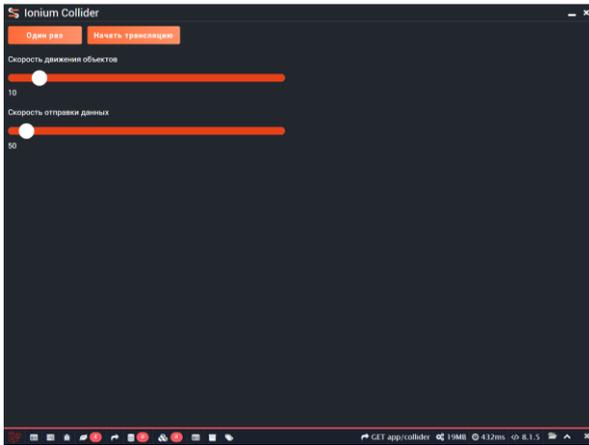


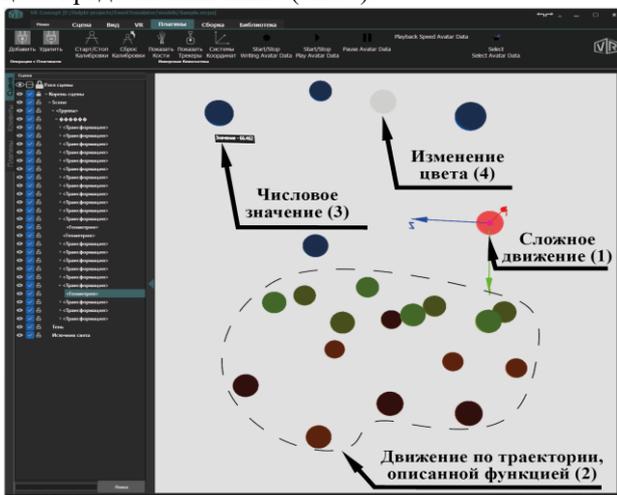
Рис.6 – Пример пользовательского интерфейса, созданного в *Ionium Collider*

Менеджер состояний тренажера может быть построен как на Pascal, так и на JavaScript, интерпретация которого выполняется на базе движка V8, интегрированного в компонент TChromium. При разработке тренажера на Pascal или C++ использование фреймворка *Ionium Collider* является необязательным.

Снижение трудоемкости построения клиент-серверной архитектуры, организация взаимодействия с пользовательским интерфейсом на WEB-странице, построения виртуального тренажера в целом достигается за счет front-end JavaScript фреймворка *Vue3*.

Выбор в пользу этого решения был сделан исходя из его относительной простоты и низкого порога входа, однако для разработки программной части, физического и математического моделирования процессов в виртуальной реальности может быть применен любой другой фреймворк или JavaScript библиотека.

Ниже приведен пример изменения состояния виртуального пространства с передачей порядка 40 параметров в *VR Concept* с использованием *Ionium Collider*. Получение данных из *VR Concept* также может быть организовано на базе фреймворка. Разработанный программный код на JavaScript с возможностью изменения скорости передачи данных и изменяемая сцена представлены ниже (Рис.7).



(a)

```
setTimeout(handler: () => {
  // Заполнение 43 элементов массива
  let arrayData = Array( arrayLength: 43 ).fill( value: 0 );
  // Сложное движение (1)
  arrayData[43] = ( this.time / 100 % 10 / 10 ).toFixed( fractionDigits: 5 );
  let faza = this.time / 1000 % 10 / 10;
  if ( faza < 1 / 6 ) { arrayData[44] = -( ... ) else { ... }
  // Движение по функциональному закону (2)
  for ( let i = 10; i <= 25; i = i + 2 ) {
    let X = ( i - 10 ) % 4;
    arrayData[i] = 300 * Math.cos( X * this.objectSpeed * this.time / 1000 + 90 * X )
      .toFixed( fractionDigits: 5 );
    arrayData[i + 1] = 300 * Math.sin( X * this.objectSpeed * this.time / 1000 + 90 * X )
      .toFixed( fractionDigits: 5 );
  }
  // Числовое значение (3)
  arrayData[42] = ( Math.random() * 100 ).toFixed( fractionDigits: 5 );
  // Изменение цвета элементов (4)
  for ( let i = 26; i <= 41; i++ ) { ... }
  // Подготовка данных к отправке
  data = arrayData.join( '|' );
  // Передача данных в Ionium Collider
  evalExpression = 'vr.handle( \'button\' , \'task\' , \'\' + data + \'\' );
  eval( evalExpression );
  this.animate();
  this.time += this.sendingSpeed;
}, this.sendingSpeed)
```

(б)

Рис.7 – Интерактивное виртуальное пространство (а) и программный код JavaScript для его изменения (б)

Видно, что процесс передачи данных в *VR Concept* стал существенно проще и более контролируемым. Данные помещаются в массив, который приводится к строке и передается для обработки во фреймворк. Концепции, заложенные в *Ionium Collider*, позволяют создавать тренажеры, средой визуализации для которых может выступать программное обеспечение для разработки игр, в том числе *Unreal Engine 5*.

Большое внимание уделено вопросу скорости отправки данных, а точнее частоте изменения виртуального пространства. Установлено, что для различного количества изменяемых параметров, оптимальная скорость передачи данных существенно отличается. Критерием оптимального значения в данном случае выступает степень комфортности восприятия изменения сцены для обучающихся, находящихся в виртуальном пространстве. Неправильно выбранная скорость передачи данных приводит к появлению эффекта укачивания

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе подготовки материалов для данной статьи были выработаны следующие выводы и рекомендации:

1. Поскольку в процессе разработки тренажеров количество одновременно изменяемых параметров может быть большим, то для организации удобной работы целесообразно разработать визуальный редактор для их численного и функционального изменения в зависимости от времени. Такой подход построения динамических процессов активно используется в видеоредакторах для создания анимации.

2. Для каждого конкретного тренажера в зависимости от числа изменяемых параметров частота отправки данных в *VR Concept* должна быть подобрана исходя из

оптимизации плавности отображения виртуального пространства. В противном случае это может вызвать эффект укачивания у погруженных в VR-тренажер обучающихся.

3. Целесообразно расширить методы организации взаимодействия *VR Concept* с программными продуктами сторонних разработчиков. К таким методам могут быть отнесены: WebSocket-соединение [21], HTTP-запросы и пр.

4. Внедрение VR-технологии в РФ требует совместных усилий специалистов в различных областях науки и техники. Требуется формирование верного, экономически выгодного вектора развития, методологической базы для ее использования в образовательных целях, расширение функциональных возможностей предлагаемого отечественного программного обеспечения и др.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность генеральному директору ООО «ВР Концепт» Захаркину Д.В. за личное участие в обучении профессорско-преподавательского состава в рамках курса «Цифровые модели и двойники», организованного на базе «Университет 20.35», предоставление лицензий и организацию поддержки по возникающим в процессе разработки вопросам.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] *Виртуальное прототипирование при создании продукции для судостроительной отрасли на базе применения импортозамещающего программного обеспечения* / Д. В. Захаркин, Г. О. Бузыкин, И. Н. Вигер [и др.] // Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем (ИКМ МТМТС-2019): Пятая международная научно-практическая конференция. Труды конференции, Санкт-Петербург, 10 июля 2019 года. – Санкт-Петербург: Издательство «Перо», 2019. – С. 57-62.
- [2] Харисова, Н. М. *Психофизиологические аспекты VR-технологий в образовании* / Н. М. Харисова, Ф. А. Миндубаева, Л. М. Смирнова // *Биология и интегративная медицина*. – 2021. – № 6(53). – С. 391-397.
- [3] Ольховая, А. М. *Возможности применения технологии виртуальной реальности для современных образовательных платформ* / А. М. Ольховая // Лига исследователей МГПУ: сборник статей студенческой открытой конференции. В 4 т., Москва, 21–25 ноября 2022 года. Том 2. – Москва: Московский городской педагогический университет, 2022. – С. 295-300.
- [4] Перова, М. В. *Виртуальная реальность в бизнесе* / М. В. Перова, В. П. Корсакова // *Вопросы устойчивого развития общества*. – 2020. – № 10. – С. 629-635. – DOI 10.34755/IROK.2020.50.70.199.
- [5] Соснило, А. И. *Применение технологий виртуальной реальности (VR) в менеджменте и образовании* / А. И. Соснило // *Управленческое консультирование*. – 2021. – № 6(150). – С. 158-163. – DOI 10.22394/1726-1139-2021-6-158-163.
- [6] Фишов, П. М. *Виртуальная реальность в контексте эмпирической вовлеченности* / П. М. Фишов // *Философия образования*. – 2014. – № 4(55). – С. 95-104.
- [7] Шевчук, М. В. *Технология виртуальной реальности как один из трендов современного образовательного процесса* / М. В. Шевчук, В. Г. Шевченко, А. А. Зорина // *Colloquium-Journal*. – 2020. – № 23-2(75). – С. 4-7.
- [8] Пискунова, М. Д. *Отношение студентов к обучению с использованием программ виртуальной реальности* / М. Д. Пискунова, П. А. Побокин // *Ярославский педагогический вестник*. – 2021. – № 2(119). – С. 112-119. – DOI 10.20323/1813-145X-2021-2-119-112-119.
- [9] Рахмонов, А. Б. *Внедрение виртуальной реальности в образовательный процесс: достоинства и недостатки* / А. Б. Рахмонов // *European Science*. – 2020. – № 5(54). – С. 39-41.
- [10] Яхричев В.В. *Достоинства внедрения инструментов виртуальной реальности при конструкторско-технологической подготовке производства* // *Известия вузов. Машиностроение*. 2021. №12 (741).
- [11] Гладких, А. П. *Тенденции развития виртуальной реальности* / А. П. Гладких // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах. Красноярск, 13–17 апреля 2020 года / Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. Том 3. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2020. – С. 768-770.*
- [12] Прокушев, Н. И. *Цифровые двойники в проектировании ракетно-космической техники* / Н. И. Прокушев, Е. П. Олейников // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах, Красноярск, 11–15 апреля 2022 года / Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. Том 1. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2022. – С. 151-153.*
- [13] Дорохов, Д. С. *Взаимодействие технологий информационного моделирования с возможностями виртуальной и дополненной реальности* / Д. С. Дорохов, И. И. Овчинников // *Вестник евразийской науки*. – 2022. – Т. 14. – № 3.
- [14] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616907 Российская Федерация. *VR Concept (BP Концепт)*: № 2015613634: заявл. 30.04.2015: опубл. 25.06.2015 / Д. В. Захаркин, И. Н. Вигер, А. В. Лебедев; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ВИСОЛВ».
- [15] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020666698 Российская Федерация. *Набор плагинов для VR Concept, реализующих функционал автоматизации создания технических инструкций и эргономического анализа с использованием новых человеко-машинных интерфейсов ввода данных*: № 2020662101: заявл. 09.10.2020: опубл. 14.12.2020 / Д. В. Захаркин; заявитель ООО «ВР КОНЦЕПТ».
- [16] Шараева, Р. А., Кугуракова, В. В., Галиева, Р. Р., & Зинченко, С. В. (2022). *Подходы к проектированию виртуальных тренажеров хирургических операций*. *Электронные библиотеки*, 25(5), 489-532. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2022-25-5-489-532>.
- [17] Долженко, А. В. *Опыт использования VR CONCEPT при обучении техническим дисциплинам* / А. В. Долженко, Е. Н. Лиля, А. А. Романенкова // *Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов V Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Белгород, 14 апреля 2021 года. Том 1. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 163-169.*
- [18] Маслов, А. А. *Практика развития технологий виртуальной реальности при обучении студентов в Ярославском филиале ПГУПС* / А. А. Маслов // *Инновационные процессы в современном образовании: от идеи до практики: Материалы II международной научно-практической конференции с использованием дистанционных технологий, Ярославль, 10 марта 2022 года. – Ярославль: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» в г. Ярославле, 2022. – С. 17-20.*
- [19] Уткин, М. А. *Метод динамической виртуальной визуализации физических полей и оптимизация параметров радиационной обстановки путем интерактивного оперирования в виртуальной реальности* / М. А. Уткин, О. В. Бойко, М. Г. Жабидский // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2022. – Т. 10, № 8. – С. 46-50.
- [20] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617337 Российская Федерация. *Ionium Collider Framework для создания интерфейсов ACV ТП*: № 2023615806: заявл. 21.03.2023: опубл. 07.04.2023 / В. М. Мамедов.
- [21] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023665670 Российская Федерация. *WStorm Interface для автономной работы с протоколом WebSocket*: № 2023664565: заявл. 10.07.2023: опубл. 19.07.2023 / В. М. Мамедов.

АВТОР

**Мамедов В.М.**, аспирант, инженер-конструктор 1 категории отдела разработки проектов атомных станций малой мощности, преподаватель-ассистент кафедры «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана (105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1). E-mail: mamedov-vm@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8780-7401>; eLibrary SPIN: 4095-0195.

# Development of interactive VR simulators based on VR Concept software and Ionium Collider framework

V. M. Mamedov

**Abstract** — The article discusses the features of introducing VR technology into the educational process of higher educational institutions, taking into account the existing features, advantages and disadvantages in the format of interactive simulators based on the domestic VR Concept software. The formulated methodological features and stages of development of VR simulators make it possible to determine the requirements for the elements of virtual space interactivity correctly. A method is proposed to achieve a dynamic change in the scene, which eliminates the need to develop algorithms for transmitting data via the UDP protocol to VR Concept, while the functional part of the simulator can be developed in the advanced JavaScript programming language using the Ionium Collider framework. It has been established that the data transfer rate, which is proportional to the frame rate of the change in the virtual space, has a significant impact on the feelings of students and, under certain conditions, can cause the effect of motion sickness. For more flexible control over data transfer to the simulator, it is advisable to implement WebSocket protocols, HTTP requests, etc. into the software instead of the currently used UDP protocol in VR Concept.

**Keywords** — virtual reality, VR simulator, interactivity, framework, algorithm, import substitution, information technology.

## REFERENCES

- [1] *Virtual prototyping in the creation of products for the shipbuilding industry based on the use of import-substituting software* / D. V. Zakharkin, G. O. Buzykin, I. N. Viger [et al.] // Simulation and complex modeling of marine equipment and marine transport systems (IKM MTMTS-2019): Fifth international scientific and practical conference. Proceedings of the conference, St. Petersburg, July 10, 2019. - St. Petersburg: Pero Publishing House, 2019. - P. 57-62.
- [2] Kharisova, N. M. *Psychophysiological aspects of VR technologies in education* / N. M. Kharisova, F. A. Mindubaeva, L. M. Smirnova // Biology and Integrative Medicine. - 2021. - No. 6(53). - S. 391-397.
- [3] Olkhovaya, A. M. *Possibilities of using virtual reality technology for modern educational platforms* / A. M. Olkhovaya // League of MGPU researchers: collection of articles of a student open conference. In 4 volumes, Moscow, November 21–25, 2022. Volume 2. - Moscow: Moscow City Pedagogical University, 2022. - P. 295-300.
- [4] Perova, M. V. *Virtual reality in business* / M. V. Perova, V. P. Korsakova // Issues of sustainable development of society. - 2020. - No. 10. - P. 629-635. - DOI 10.34755/IROK.2020.50.70.199.
- [5] Sosnilo, A. I. *Application of virtual reality (VR) technologies in management and education* / A. I. Sosnilo // Management consulting. - 2021. - No. 6 (150). - S. 158-163. - DOI 10.22394/1726-1139-2021-6-158-163.
- [6] Fishov, P. M. *Virtual reality in the context of empirical involvement* / P. M. Fishov // Philosophy of education. - 2014. - No. 4 (55). - S. 95-104.
- [7] Shevchuk, M. V. *Technology of virtual reality as one of the trends of the modern educational process* / M. V. Shevchuk, V. G. Shevchenko, A. A. Zorina // Colloquium-Journal. - 2020. - No. 23-2(75). - P. 4-7.
- [8] Piskunova, M. D., Pobokin P. A. *Attitude of students towards learning using virtual reality programs* / M. D. Piskunova, P. A. Pobokin // Yaroslavl pedagogical bulletin. - 2021. - No. 2 (119). - S. 112-119. - DOI 10.20323/1813-145X-2021-2-119-112-119.
- [9] Rakhmonov, A. B. *Implementation of virtual reality in the educational process: advantages and disadvantages* / A. B. Rakhmonov // European Science. - 2020. - No. 5 (54). - S. 39-41.
- [10] Yakhrichev V.V. *Advantages of the introduction of virtual reality tools in the design and technological preparation of production*. Izvestiya vuzov. Engineering. 2021. No. 12 (741).
- [11] Gladkikh, A.P. *Trends in the development of virtual reality* / A.P. Gladkikh // Actual problems of aviation and astronautics: Collection of materials of the VI International scientific and practical conference dedicated to the Day of Cosmonautics. In 3 volumes, Krasnoyarsk, April 13–17, 2020 / Edited by Yu.Yu. Loginova. Volume 3. - Krasnoyarsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev", 2020. - S. 768-770.
- [12] Prokushev, N. I. *Digital twins in the design of rocket and space technology* / N. I. Prokushev, E. P. Oleinikov // Actual problems of aviation and astronautics: Collection of materials of the VIII international scientific and practical conference dedicated to the Day of Cosmonautics. In 3 volumes, Krasnoyarsk, April 11–15, 2022 / Edited by Yu.Yu. Loginova. Volume 1. - Krasnoyarsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev", 2022. - S. 151-153.
- [13] Dorokhov, D. S. *Interaction of information modeling technologies with the possibilities of virtual and augmented reality* / D. S. Dorokhov, I. I. Ovchinnikov // Bulletin of Eurasian Science. - 2022. - T. 14. - No. 3.
- [14] Certificate of state registration of the computer program No. 2015616907 Russian Federation. *VR Concept*: No. 2015616364: Appl. 04/30/2015: publ. 06/25/2015 / D. V. Zakharkin, I. N. Viger, A. V. Lebedev; applicant Limited Liability Company «VISOLV».
- [15] Certificate of state registration of the computer program No. 2020666698 Russian Federation. *A set of plug-ins for VR Concept that implement the functionality of automating the creation of technical instructions and ergonomic analysis using new human-machine interfaces for data entry*: No. 2020662101: Appl. 10/09/2020: publ. 12/14/2020 / D. V. Zakharkin; applicant VR CONCEPT LLC.
- [16] Sharaeva, R. A., Kugurakova, V. V., Galieva, R. R., & Zinchenko, S. V. (2022). *Approaches to the design of virtual simulators of surgical operations*. Digital Libraries, 25(5), 489-532. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2022-25-5-489-532>.
- [17] Dolzhenko, A. V. *Experience of using VR CONCEPT in teaching technical disciplines* / A. V. Dolzhenko, E. N. Lilya, A. A. Romanenkova // Science and innovations in construction: Collection of reports of the V International scientific and practical conference. In 2 volumes, Belgorod, April 14, 2021. Volume 1. - Belgorod: Belgorod State Technological University. V.G. Shukhova, 2021. - S. 163-169.
- [18] Maslov, A. A. *The practice of developing virtual reality technologies in teaching students in the Yaroslavl branch of PGUPS* / A. A. Maslov // Innovative processes in modern education: from idea to practice: Proceedings of the II international scientific and practical conference using distance technologies, Yaroslavl, March 10, 2022. - Yaroslavl: branch of the federal state budgetary educational institution of higher education "Petersburg State University of Communications of Emperor Alexander I" in Yaroslavl, 2022. - P. 17-20.

- [19] Utkin, M. A., Boyko O. V., Zhabitsky M. G. *Method of dynamic virtual visualization of physical fields and optimization of radiation environment parameters by interactive operation in virtual reality* // International Journal of Open Information Technologies. - 2022. - T. 10, No. 8. - S. 46-50.
- [20] Certificate of state registration of the computer program No. 2023617337 Russian Federation. *Ionium Collider Framework for creating APCS interfaces*: No. 2023615806: Appl. 03/21/2023: publ. 04/07/2023 / V. M. Mamedov.
- [21] Certificate of state registration of the computer program No. 2023665670 Russian Federation. *WStorm Interface for autonomous work with the WebSocket protocol*: No. 2023664565: Appl. 07/10/2023: publ. 07/19/2023 / V. M. Mamedov.

#### AUTHOR

**Mamedov V.M.**, postgraduate student, design engineer of the 1-st category of the department for the development of projects of low power nuclear power plants, teacher assistant of the department «Refrigeration and cryogenic equipment, air conditioning and life support systems» of the Moscow State Technical University. N. E. Bauman (105005, Russia, Moscow, 2nd Baumanskaya st., 5, building 1). E-mail: mamedov-vm@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8780-7401>; eLibrary SPIN: 4095-0195.