

Офисное помещение оснащено мощными компьютерами, позволяющими создавать сложные информационные ВМ-модели, высококачественные, фотореалистичные визуализации в высоком разрешении, анимацию, виртуальную и дополненную реальность, а также интерактивным экраном, обеспечивающим проведение различного рода встреч, совещаний, а также онлайн-мероприятий.

Для демонстрации всех нюансов дизайн-проекта была разработана 360-градусная 3D-панорама, позволяющая достигнуть эффекта реального присутствия пользователя внутри моделируемого офиса. Ознакомиться с ней можно по ссылке <https://kuula.co/post/NkGpJ>.

Все представленные разработки могут быть использованы при организации и ремонте отраслевых лабораторий Брестского государственного технического университета, в учебных целях, а также в рамках различного рода выставок и профориентационных мероприятий.

#### **Список литературы:**

1. **Акулова, О. А.** Особенности визуализации трехмерных моделей в графических системах / О. А. Акулова, С. Н. Бурый, В. А. Брень // Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы : сборник трудов Международной научно-практической конференции, 24 апреля 2020 года, Брест, Республика Беларусь, Новосибирск, Российская Федерация / отв. ред. О. А. Акулова. – Брест : БрГТУ, 2020. – С. 6–10.
2. **Божко, Д. Э.** Разработка дизайна и технического оснащения учебной лаборатории для информационного моделирования / Д. Э. Божко, О. А. Акулова // СТУДЕНТ ГОДА 2021 : сборник статей II Международного учебно-исследовательского конкурса (15 декабря 2021 г.) : в 6 ч. – Петрозаводск : МЦНП «Новая наука», 2021. – Часть 3. – С. 151–161.

УДК 378.147

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ**

**О. А. Акулова**, канд. техн. наук

*Брестский государственный технический университет, г. Брест,  
Республика Беларусь*

Ключевые слова: компьютерная графика, визуализация, анимация, компьютерная симуляция жидкостей, RealFlow, Vifrost, Fluids, FLIP Fluids.

В работе рассмотрены существующие методы и алгоритмы компьютерной симуляции жидкостей, а также современное программное обеспечение, позволяющее ее реализовать.

Одной из наиболее актуальных областей применения компьютерной графики и визуализации являются системы виртуальной реальности. Они позволяют имитировать объекты реального мира, визуализировать и обрабатывать большие объемы информации.

При этом визуализация жидких сред является одной из наиболее сложных вычислительных задач, учитывающих разнообразные физические явления.

Для достоверной визуализации динамического процесса требуется плавная анимация при скорости не менее 25-30 кадров в секунду. При меньшей скорости человеческий глаз начинает замечать небольшие разрывы в анимации, что приводит к потере эффекта присутствия.

В первых системах виртуальной реальности использовали имитационные модели, основанные на эмпирически подобранных алгоритмах. И хотя они обладали достаточной степенью реалистичности, однако были трудоемкими, имели большое число ограничений и могли применяться лишь для ограниченного круга задач. С увеличением производительности вычислительных систем для визуализации жидких сред стали применять достаточно точные физические модели, учитывающие не только геометрию поверхности, но и оптические процессы, происходящие на ее границе и в толще. При реализации такого подхода требуются огромные вычислительные ресурсы, недоступные в настоящее время.

В связи с этим наиболее эффективным является комплексный подход, предусматривающий упрощение физической модели в той степени, в которой она соответствует реальной системе с точностью, достаточной для применения в конкретной области исследования [1].

Математические основы описания жидких сред были заложены такими исследователями, как Б. М. Андреев, Б. Х. Глуховский, И. Н. Давидан, Ю. М. Крылов, Д. Пирсон и многими другими. В настоящее время к разработке новых методов и алгоритмов обработки информации при визуализации жидкостей для систем виртуальной реальности проявляется значительный интерес со стороны исследователей В. С. Беляева, М. Бэкера, Ю. Крячко, Дж. Митчела, М. Мюллера, Дж. Тессендорфа, А. Бродкорба, К. Хэссельмана, Н. Фостера и других [2, 3].

Моделирование жидкости – это сравнительно новое направление, история развития которого насчитывает немногим более 30 лет. В 1998 году была предпринята первая попытка моделирования всплеска жидкости с помощью компьютера. Компания Next Limit Technologies разработала технологию RealFlow для симуляции поведения жидкостей. Ее движок основывался на классических законах физики, что позволило получить высокую точность просчета процесса и реалистичную визуализацию. При этом моделирование жидкости было возможным на компьютерах того времени [4].

До появления RealFlow моделирование воды основывалось на методе деформации поверхности, не учитывающем мелкие детали (брызги, пену, пузырьки и т. д.). RealFlow же позволил сгенерировать трехмерную поверхность жидкости, образованную частицами. Метод, на котором основан движок симулятора жидкостей, использует модель SPH (Smoothed-particle Hydrodynamics), а также алгоритм Hybrido, предназначенный для симуляции масштабных сцен.

С помощью дополнительных модулей RealFlow поддерживает интеграцию со всеми основными 3D-редакторами: Maya, 3ds Max, Houdini, LightWave, Softimage. Кроме того, весной 2015 года компания заявила о создании нового дополнения RFCORE для популярного 3D-редактора Cinema 4D. С помощью RFCORE можно использовать движок симулятора жидкостей RealFlow непосредственно внутри Cinema 4D (рисунок 1).



Рисунок 1 – Модель жидкости на различных стадиях моделирования, [www.behance.net](http://www.behance.net)

Для создания анимации в RealFlow используется принцип ключевых кадров – для двух кадров создаются контрольные значения какого-нибудь параметра, а программа автоматически просчитывает значения для всех промежуточных кадров.

Анимировать в RealFlow можно практически любой параметр, который отображается в окне настроек.

В 2015 году в Autodesk Maya появился Vifrost, совершенно новая система симуляции жидкостей. Vifrost – это среда визуального программирования, разработанная Exotic Matter с использованием технологии Naiad, которая может генерировать симуляцию жидкостей. В основе Vifrost лежит солвер (Solver) под названием FLIP (Fluid Implicit Particle), благодаря чему он может генерировать жидкости из эмиттеров (Emitter), которые могут взаимодействовать с гравитацией, будучи направляемыми объектами столкновений (Collider) и ускорителями (Accelerator).

С 2018 года внутренний симулятор жидкости Fluids появился и в 3ds Max. Он позволяет воссоздавать реалистичное поведение жидкостей, например, воды, масла, лавы, а также воспроизводить эффекты гравитации и столкновения.

Собственный симулятор жидкости FLIP Fluids имеется и в Blender. Этот симулятор был добавлен в Blender в 2005 году, однако наибольшее развитие получил с 2016 года. Движок является воксельным и основан на методе

решеточных уравнений Больцмана. Лучше всего подходит для создания воды, но имеет возможность создавать вязкие жидкости [5].

В 2020 году в Blender был внедрен новый симулятор Mantaflow, также основанный на методе решеточных уравнений Больцмана. Mantaflow является инструментом моделирования для создания как жидких, так и газообразных/дымовых эффектов моделирования, в то время как FLIP Fluids сосредоточен исключительно на моделировании жидких сред.

Следует отметить, что рассмотренные выше симуляторы не подходят для научно-исследовательских целей, так как не учитывают всех свойств и характеристик исследуемых жидкостей.

В научных целях следует применять специальное программное обеспечение, основанное на CFD (Computational Fluid Dynamic). Среди наиболее популярных программ можно выделить Ansys Fluent – программное обеспечение, которое обладает широкими возможностями моделирования физических процессов с целью анализа влияния жидкости на изделие или оборудование. Он основан на методе конечных объемов, при этом:

- область течения разделяется на конечное множество контрольных объемов;

- в этом множестве контрольных объемов решаются уравнения сохранения массы, импульса, энергии и т. д.;

- уравнения в частных производных дискретизируются в систему алгебраических уравнений;

- производится численное решение этих алгебраических уравнений в расчетной области.

Ansys Fluent надежно и эффективно выполняет расчеты для всех физических моделей и типов, включая стационарное или переходное течение, несжимаемые или сжимаемые течения (от малых дозвуковых до гиперзвуковых), ламинарные или турбулентные потоки, ньютоновские или неньютоновские жидкости, идеальный или реальный газ [6].

Также следует упомянуть Autodesk CFD – это CAE-система, предназначенная для расчетов и моделирования движения потоков жидкостей и газов, а также процессов теплопередачи и теплообмена. В ней реализована поддержка моделирования свободного течения жидкостей методом свободной поверхности VOF (Volume of Fluid). С помощью нее можно моделировать и анализировать взаимодействие потока и тела, которое может менять свое положение. Применение такого метода позволяет решать задачи анализа процессов прорыва плотин, наполнения шахт и штолен водой, разлива масла из танкера и другие [7].

Еще одним программным продуктом для анализа динамики жидкости и газа, включая тепловые эффекты, является FLOW-3D. Он применяется для математического моделирования ограниченных течений жидкости и течений со свободной поверхностью при турбулентном и ламинарном режимах, а также газов в дозвуковом и сверхзвуковом режимах.

Для описания объема моделирования FLOW-3D использует сетку в декартовых или цилиндрических координатах. Сложная геометрия моделируется с использованием метода FAVOR, где препятствия и перегородки заключаются в ортогональную сетку. Данный метод допускает независимое определение сетки и геометрии, то есть геометрия может быть изменена без повторного определения сетки.

Следует особо подчеркнуть, что при симуляции жидких сред важными являются не только реалистичность полученной модели и ее правдоподобность для наблюдателя, но и точность передачи физических свойств моделируемых жидкостей.

В качестве одного из критериев качества полученной модели можно привести Графический тест Тьюринга, согласно которому человек, наблюдающий за виртуальным миром и взаимодействующий с ним, не может, кроме как наугад, отличить его от реальности.

Решающее значение в реализации этого теста имеет вычислительная мощность компьютера, способного решать сложнейшие системы уравнений вычислительной гидродинамики.

С недавнего времени для решения этой проблемы был разработан совершенно новый подход, основанный на использовании искусственного интеллекта и включающий концепцию «интуитивной физики». Эта новейшая область искусственного интеллекта предполагает его способность предсказывать результаты физических взаимодействий с участием макроскопических объектов на основе опыта.

Идея заключается в создании искусственной нейронной модели, способной моделировать интуитивную физику. Такие исследования имеют большую актуальность и показывают хорошие результаты в области создания виртуальной реальности [8].

#### **Список литературы:**

1. **Калютов, А.** Алгоритмическая графика [Электронный ресурс] / А. Калютов. – Режим доступа: <http://www.comprice.ru/articles/detail.php?ID=41207>. – Дата доступа: 22.04.2021.
2. **Беляев, В. С.** Методы и алгоритмы компьютерной графики для моделирования водной поверхности в системах виртуальной реальности : автореф. дис. ... кандидата технических наук : 05.13.18 / В. С. Беляев ; С.-Петербург. гос. политехн. ун-т. – СПб., 2005. – 16 с.
3. **Торгонин, Е. Ю.** Разработка методов и алгоритмов обработки информации при визуализации жидкостей в системах виртуальной реальности : автореф. дис. ... кандидата технических наук : 05.13.01 / Е. Ю. Торгонин ; Белгород. гос. нац. исслед. ун-т. – Белгород, 2014. – 22 с.
4. Обзор симулятора жидкости RealFlow: невероятные фокусы с водой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dnews.ru/917218>. – Дата доступа: 22.04.2021.
5. Flip Fluids [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blendermarket.com>. – Дата доступа: 22.04.2021.
6. Ansys Fluent. Приложение для моделирования течений жидкостей и газов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.techgidravlika.ru/view\\_post.php?id=62](https://www.techgidravlika.ru/view_post.php?id=62). – Дата доступа: 22.04.2021.

7. Computational fluid dynamics simulation software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.com/products/cfd/overview>. – Дата доступа: 22.04.2021.
8. Challenges of Artificial Intelligence in Computer graphics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/3-challenges-of-artificial-intelligence-in-computer-graphics-223e06bd846b>. – Дата доступа: 22.04.2021.

УДК 744 : 372.862

## **ТЕСТИРОВАНИЕ СТУДЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ ПО НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

**О. В. Артюшков**, старший преподаватель,

**О. В. Никитин**, старший преподаватель

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,  
Республика Беларусь*

Ключевые слова: начертательная геометрия, контроль знаний, тестирование, викторина.

Представлены различные варианты контроля знаний студентов БелГУТа при изучении курса начертательной геометрии. Приведены примеры тестовых заданий для разных групп обучающихся.

При изучении курса инженерной графики в любом техническом вузе самым сложным разделом для обучающихся, как правило, является раздел начертательной геометрии. Для определения степени понимания и усвоения студентами учебного материала лекций с первых практических занятий на кафедре «Графика» Белорусского государственного университета транспорта осуществляется промежуточный контроль знаний. Он проводится с использованием тестов, которые оформлены в виде карточек с вопросами и вариантами ответов, представленными в виде рисунков. Пример тестового задания по теме «Плоскость, прямая и точка в плоскости» представлен на рисунке 1.

Задача тестируемых заключается в правильном выборе одного из вариантов ответов к указанному вопросу. Тесты разработаны для каждой темы курса начертательной геометрии и состоят из довольно простых вопросов. На выполнение всего задания, состоящего из 5–6 вопросов, отводится 10–12 минут. Оценивая результаты тестирования, преподаватель определяет тех студентов, которые нуждаются в дополнительном объяснении материала, и приглашает их на консультацию. Такие тесты проводятся как для студентов очной, так и заочной формы обучения по определенным темам.

Так как в Белорусском государственном университете транспорта обучаются иностранные граждане, то для них также были разработаны подобные тесты на английском языке (рисунок 2) в количестве 70 вариантов к каждой теме. Такие тестовые задания подготовлены в электронном формате, что позволяет отправлять их студентам и получать ответы по электронной почте.