

УДК 621.91.01

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ В ПРОГРАММЕ CINEMA 4D

С.А. СТОТИК, Р.Г. ДМИТРИЕВ., Е.С. БЕДРИЦКАЯ, В.А. КУДРЯКОВА,  
Е.А. ГЛИНСКИЙ, Д.Е. МАТВЕЕНКОВ, А.А. ПОРТЯНКО

(Представлено: д-р техн. наук Н.Н. Попок; С.А. Портянко)

Для успешной работы с фрезами важное значение имеет понимание взаимодействия их конструкции с аэро-гидродинамической средой. Цель исследовательской работы состоит в исследовании воздействия аэро- и гидродинамических сред на конструкции фрез и их работоспособность. Предложены различные методы измерения поверхностных напряжений трения. Разработаны пневмометрические методы косвенного определения вектора поверхностных напряжений трения в пространственных течениях. Показано моделирование динамики работы фрез в вязко-жидкостной среде. Так же приведены результаты исследований. Получены новые научные результаты и методические обоснования имеют научно-практическую ценность для дальнейшего развития конструирования торцовых фрез и режущего инструмента.

**Введение.** Применение сборных режущих инструментов в промышленности достигает 70% от общего количества инструмента, причем одну треть этих инструментов составляют сборные торцовые фрезы. Все большее распространение получают сборные торцовые фрезы, состоящие из взаимозаменяемых модулей, применение которых значительно сокращает затраты на производство.

В настоящее время практически единственным методом определения обтекаемости конструкций является метод плавающего весового элемента. Однако его применение на поверхностях с большой кривизной или при действии значительных знакопеременных инерционных нагрузок, затруднено.

Из косвенных пневматических методов более распространено использование трубок Престона, насадки Стантона. Эти методы так же используются и при измерении напряжений сдвига в пространственных течениях, при этом направление вектора напряжений сдвига предварительно определяется с помощью метода масляных капель или теплового измерителя.

Использование данных пневмометрических методов затруднено или вообще невозможно в сильно изменяющихся по направлению течениях, а также при действии на исследуемый объект значительных инерционных нагрузок.

К косвенным методам определения напряжений сдвига в стенке относятся метод флуоресцирующих покрытий, метод измерения касательных напряжений по длине штрихов в результате растекания масляных капель, наносимых на поверхность, а также методы, использующие аналогию Рейнольдса между температурным и динамическим пограничными слоями (рисунок 1) [1].

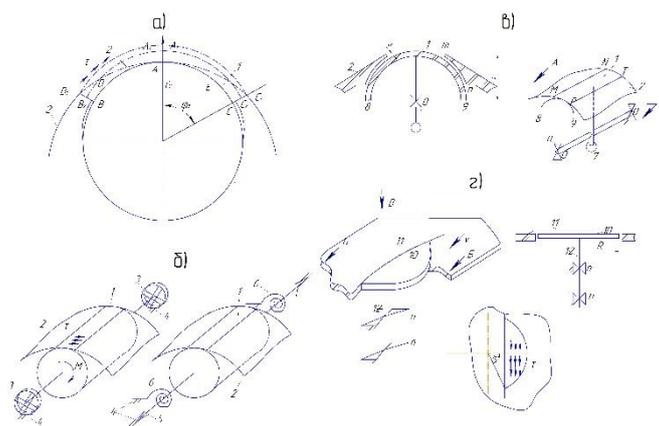


Рисунок 1. – Описание: а – цилиндрический элемент касается поверхности круга;  
б – модификация с тензометрическими весами; в – часть цилиндрической поверхности;  
г – чувствительный элемент в виде плоского диска

**Описание программного продукта Cinema 4D.** На 2020 год Cinema 4D является самой простой в использовании программой для 3D художников, по крайней мере, так заявлено на сайте разработчиков.

Все основные преимущества также присутствуют: удобство в использовании, всеми любимый интуитивный интерфейс, стабильность, интегрированная справка, процедурный рабочий процесс и доступность программы в разных вариантах в зависимости от целей использования.

Cinema 4D – универсальная программа для 3D моделирования, редактирования объектов и создания эффектов. Также выполняет рендеринг объектов по методу Гуро (Метод закраски, который основан на интерполяции интенсивности и известен как метод Гуро (по имени его разработчика), позволяет устранить дискретность изменения интенсивности). Рендеры могут быть как “родные”, так и встраиваемыми непосредственно в саму программу с помощью плагинов и коннекторов.

Эту программу обожают использовать студенты, так как не потребуется много времени и усилий на изучение принципов работы. Именно в этом редакторе были исследована работа фрез в вязко-жидкостной среде.

**Плагины и настройка Cinema 4D.** Для моделирования работы фрез в жидкостной среде был использован плагин «RealFlow». Этот плагин предназначен для моделирования и симуляции разнообразных физических тел в динамике и нацелен для использования прежде всего в индустрии компьютерной графики, анимации и спецэффектов, а не в научных расчётах и исследованиях. В основе своей использует системы частиц для просчета динамики формы физических тел. Алгоритм расчетов «RealFlow» использует метод гидродинамики сглаженных частиц (англ. Smoothed Particle Hydrodynamics — SPH), который позволяет моделирующим среду частицам взаимодействовать между собой. Суть SPH состоит в том, что в зависимости от расстояния между двумя частицами эти частицы могут «слипаться» или «расталкиваться». Каждая частица может иметь свою массу и так называемую «длину сглаживания», которая определяет, на каком расстоянии эта частица будет притягиваться к другим, а на каком — отталкиваться. Все тела, моделируемые «RealFlow», построенные на точечных частицах, механизм работы которых описан выше. Изначально «RealFlow» был предназначен для моделирования только текучих и вязких тел, в первую очередь жидкостей, однако впоследствии набор поддерживаемых физических тел существенно расширился. В результате «RealFlow» 5-й версии поддерживает твёрдые и деформируемые тела, газы и «мешы».

«RealFlow» может работать как полностью отдельное (standalone) приложение, а может использоваться в качестве компонента (плагины) к другим программам, таким как 3D Max, Maya, LightWave, Softimage, Cinema 4D и Houdini.

В проекте, где проводилось исследование были использованы следующие элементы (рисунок 2):

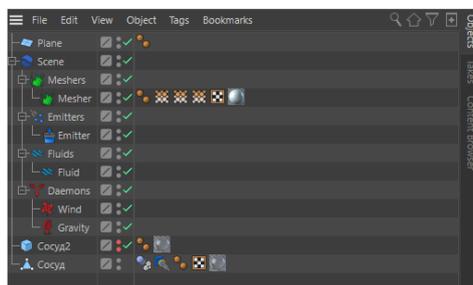
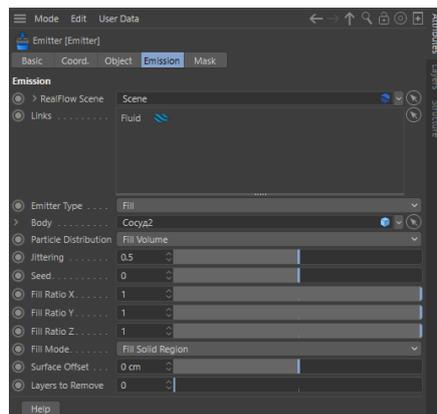


Рисунок 2. – Элементы проекта

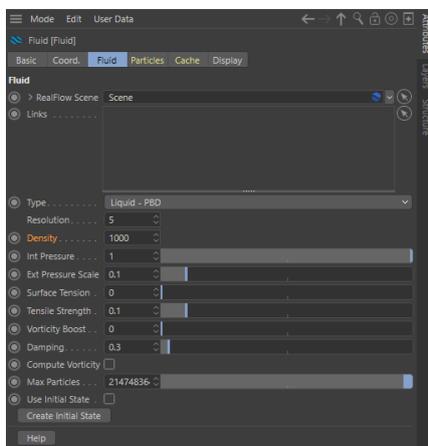
Плагин создает раздел «Scene», который содержит все элементы и настройки жидкости.

«Meshers» является текстурой самой воды. Объект «Emitters» хранит все настраиваемые свойства воды, которые возможно изменить в любой момент (рисунок 3). Где «Телом» указан объект «Coya2», чтобы вода не проливалась сквозь него.



**Рис.3. Настройка «Emitter»**

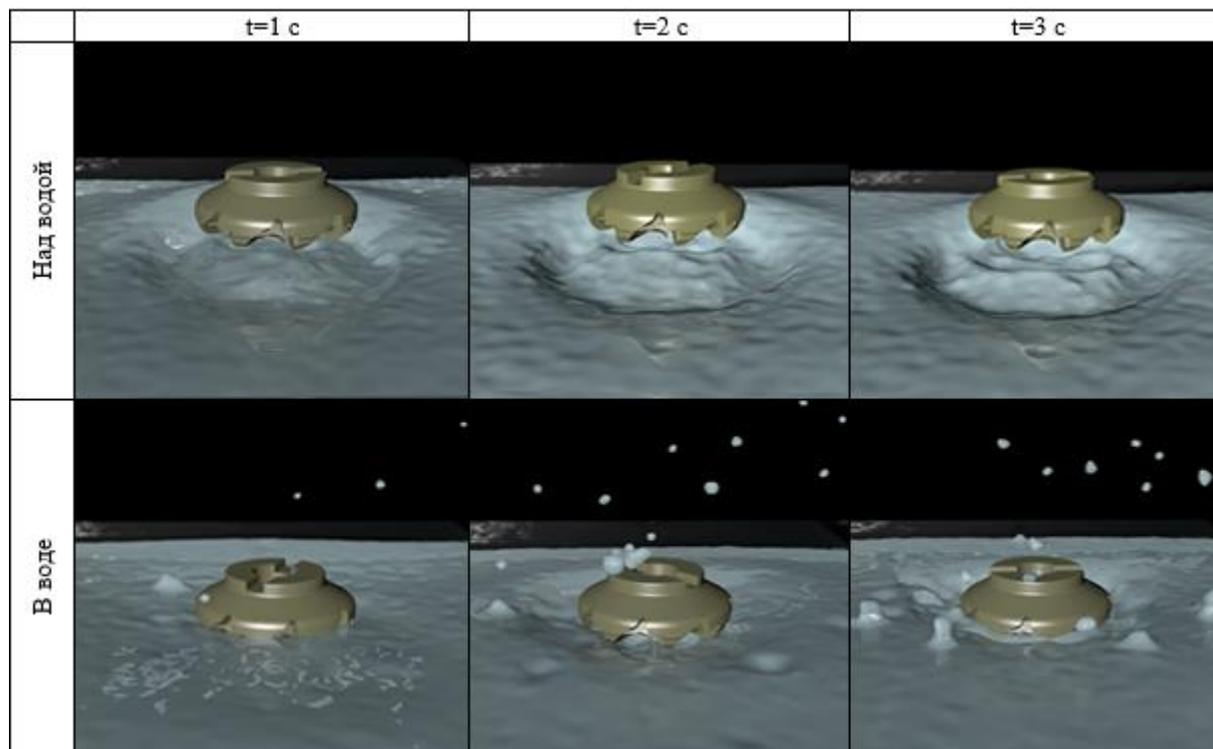
«Fluids» отвечает за качество и разрешение гранул, из которых состоит вода. В данном случае, разрешение воды выставлено на 5 (рисунок 4).

**Рисунок 4. – Настройка «Fluid»**

В разделе «Daemons» хранятся вся физика воды («Wind», «Gravity»). Где «Wind» отвечает за ветер, создаваемый вращением фрезы, а «Gravity» отвечает за гравитацию воды.

**Исследование**

Таблица 1. – Исследование динамики работы первой фрезы в среде жидкости



В таблице 1 и 2 представлены покадрово (фрагментально) изменения жидкости (волны, потоки, брызги) в течение определенного промежутка времени t=1, 2, 3с.

Таблица 2. – Исследование динамики работы второй фрезы в среде жидкости

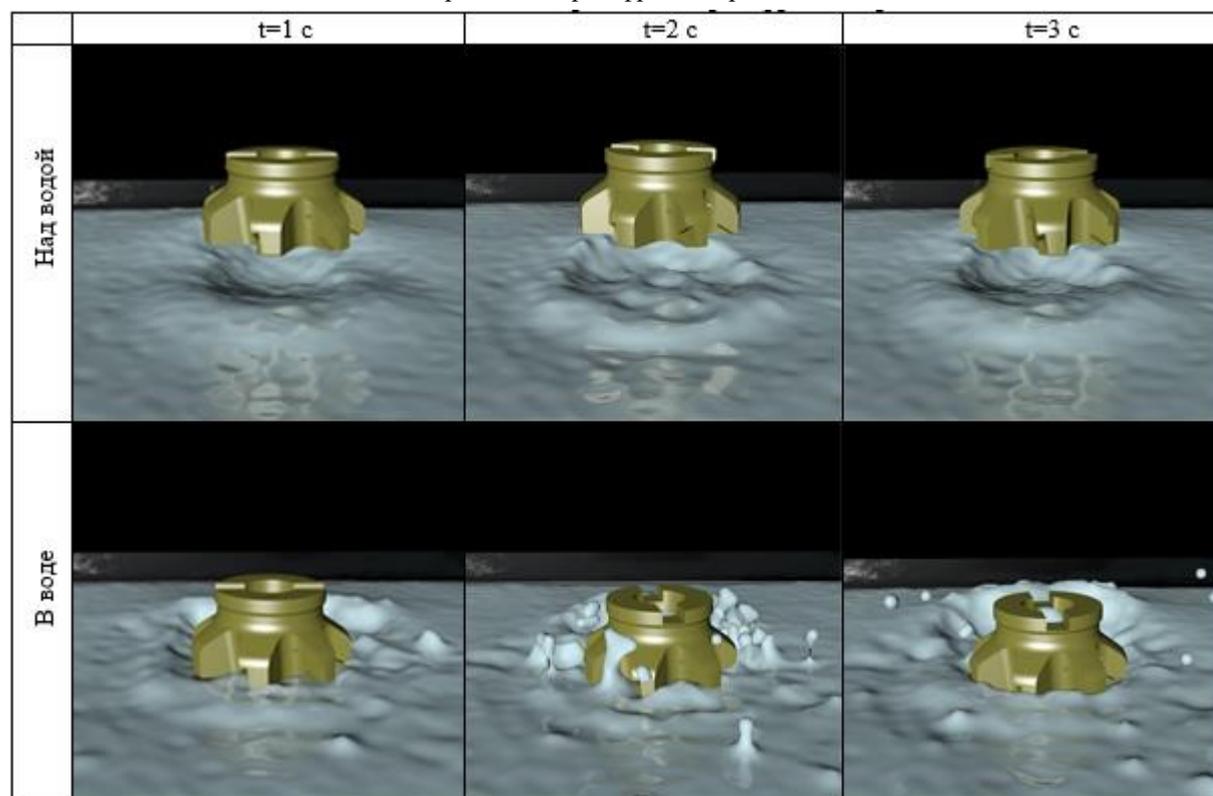
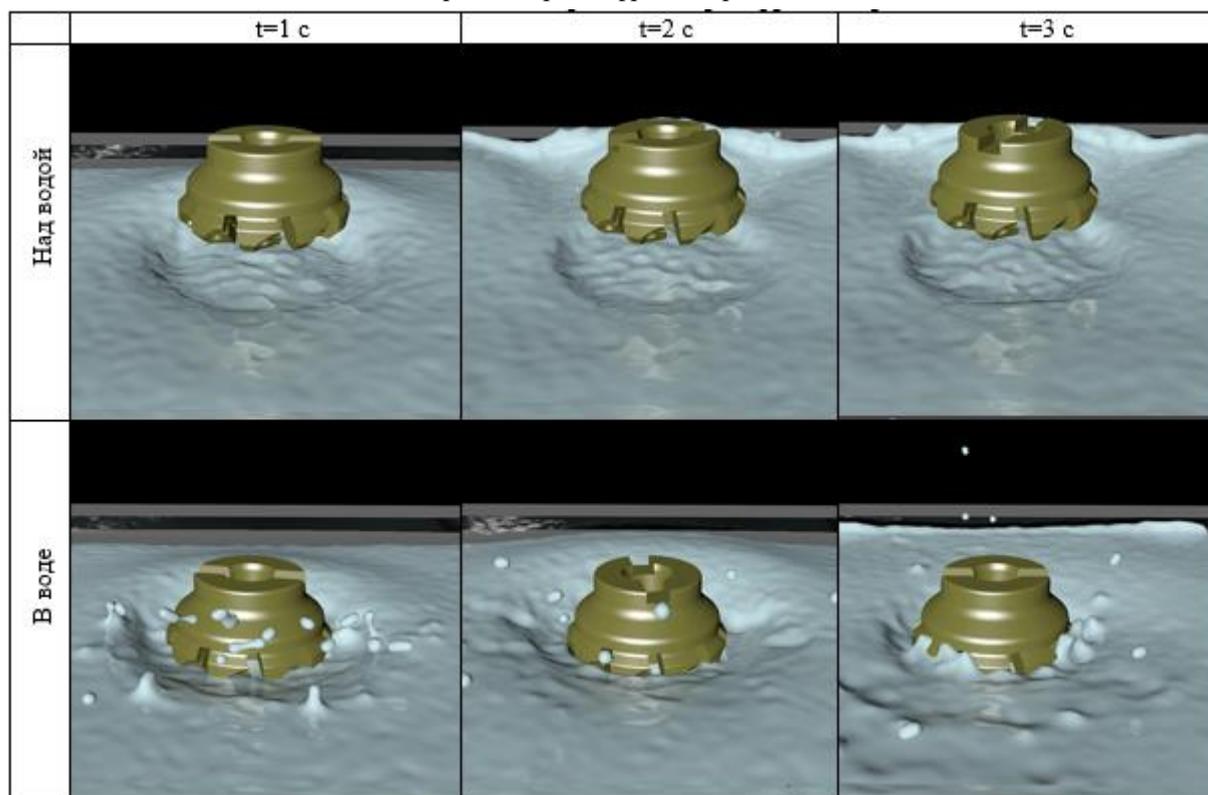


Таблица 3. – Исследование динамики работы третьей фрезы в среде жидкости



**Описание.** Фрезерование является одним из наиболее распространенных методов обработки. По уровню производительности фрезерование превосходит строгание и в условиях крупносерийного производства уступает лишь наружному протягиванию. Кинематика процесса фрезерования характеризуется быстрым вращением инструмента вокруг его оси и медленным движением подачи. Движение подачи при фрезеровании может быть прямолинейно-поступательным, вращательным, либо винтовым. При прямолинейном движении подачи фрезой производится обработка всевозможных цилиндрических поверхностей: плоскостей, всевозможных пазов и канавок, фасонных цилиндрических поверхностей.

Экспериментальные исследования проводились в программном обеспечении Cinema 4D, с использованием дополнительного плагина, позволяющего симулировать поведение жидкости и взаимодействия с ней. Результаты исследования представлены в таблицах, из которых видно воздействие фрез на поверхность жидкости. В нашем случае поверхностью служит поверхность жидкости, на которую воздействует фреза потоком воздуха. Каждая фреза, вращалась вокруг своей оси над поверхностью, воздействуя на жидкость. частота вращения шпинделя станка  $n$ : 1000 об/мин. Из-за различных размеров канавок на конструкции фрез, они имеют различные свойства прохождения через них потоков воздуха.

Фреза 2 воздействует на поверхность жидкости меньше всех, так как она имеет большую площадь. В случае с 1 и 3 фрезой они воздействуют на меньшую площадь, но с большей силой, что видно на изображениях в таблицах.

Если поместить вращающиеся фрезы в жидкость, то мы увидим, что в процессе вращения, фрезы будут отводить воду через канавки и формировать волны, всплески на поверхности жидкости. У фрезы с больше площадью при вращении, образуется большее количество волн, когда у фрезы 1 и 3, при меньшем размере канавок отводится больше жидкости, что вызывает большее количество всплесков.

**Закключение.** В ходе исследования выявили возможности методики изучения аэро-гидрадинамической обтекаемости, воздействия потоков воздуха на формы конструкции фрез. Так же с помощью программного обеспечения Cinema 4D и дополнения «RealFlow» смоделировали симуляцию жидкостной среды, для взаимодействия с 3D моделью различных фрез, соответственно изучили воздействия стружкоотводящих канавок на жидкостную среду, как с помощью проходящего через них воздуха, так и прямого взаимодействия фрезы с водой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы определения вектора аэрогидродинамических напряжений трения на поверхности тел, обтекаемых пространственным или плоским потоком. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-opredeleniya-vektora-aerogidrodinamicheskikh-napryazheniy-treniya-na-poverhnosti-tel-obtekaemyh-prostranstvennym-ili-ploskim/viewer/>. – Дата доступа: 20.09.2020.
2. Методология исследования работоспособности фрезерных и осевых режущих инструментов на основе 3D прототипирования / Н.Н. Попок, С.А. Портянко – Вестник ПГУ, сер. В. Промышленность. Прикладные науки. 2020 г. – с. 29-39.