

**УДК 621.311**

СИРОТКИН А.И., ВИТЕЦКАЯ Г.Ю., студенты гр. 10604221 (БНТУ)  
Научный руководитель ПАНТЕЛЕЙ Н.В., старший преподаватель (БНТУ)  
г. Минск

### **3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБОУСТАНОВОК КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ**

Предприятия любой отрасли экономики всегда заинтересованы в подготовке молодых специалистов, которые смогут как можно скорее внедриться в производственный процесс и реструктурировать его в соответствии с современными тенденциями мирового рынка. Особенно это проявляется в наукоёмких или относительно новых секторах, таких как *IT*-технологии, создание искусственного интеллекта или производство микроэлектроники. Энергетика на этом фоне также претерпела значительные изменения. Многие процессы, происходящие на тепловых электрических станциях при производстве тепловой и электрической энергии, стали полностью автоматизированы, основное оборудование было заменено на современное, имеющее более высокие характеристики. В некоторых странах уже внедрены новые технологические решения, позволяющие в определённых случаях аккумулировать энергию, чтобы позднее выдать её потребителю. Всё это требует от технических ВУЗов своевременно вносить корректировки в учебные программы, а также привлекать специалистов по современным технологиям, чтобы ознакомить студентов с самыми передовыми тенденциями в производстве.

Однако, как показывает практика, не всегда получается успевать за новыми технологиями и вовремя внедрять их в образовательный процесс. Причём это связано не только с материальными возможностями учреждений образования, но и со скоростью получения новых знаний и технологий, что вызывает появление некоторого запаздывания в тех знаниях и умениях, которые студенты получают в ВУЗах, по сравнению с тем, что требуется на производстве. Кроме того, проблема ещё состоит и в том, что студенты физически не способны воспринять такой огромный поток информации, которая ещё и непрерывно обновляется. По мнению Татьяны Владимировны Черниговской, которая является признанным во многих странах специалистом в области нейрофизиологии человека, за последние 150–200 лет человечество сумело значительно продвинуться в своём развитии, в результате чего был накоплен огромный объём знаний, полностью освоить который за всё время обучения уже невозможно. Поэтому Черниговская говорит о необходимости перехода от образования знаний к образованию понимания [1]. Нужно стараться не вложить в студентов как можно больше материала, а пытаться заинтересовать их, мотивировать самим исследовать те науки, те области естествознания, которые им понравятся. Нужно научить студентов навыку быстрого поиска информации, навыку её переработки и восприятия. Только в этом случае возможно получить достаточно качественных специалистов, которые



смогут быстро адаптироваться к чему-то новому за счёт своих базовых знаний и возможности оперативно находить нужную им в данный момент информацию.

Энергетика, как и любая другая техническая специальность, предполагает необходимость выработки у будущих инженеров практических навыков по ремонту, монтажу или эксплуатации оборудования. Для этого необходимо, чтобы студенты имели чёткое представление о том, как устроены агрегаты тепловых электростанций и какие составные части они имеют. Как показывают многочисленные исследования, проведённые в том числе и в рамках Белорусского национального технического университета, большинство студентов значительно лучше воспринимают информацию визуально, т.е. когда непосредственно видят перед собой объект изучения [2]. Если говорить об изучении паровых котлов и турбин, то наличие чертежей, видео- и фотоматериалов становится критически необходимым условием обучения. Однако даже реальные чертежи оборудования не всегда могут до конца донести информацию до студентов, поскольку далеко не все обучающиеся могут представить себе то или иное оборудование, руководствуясь только чертежом.

Эффективным решением этой проблемы может стать внедрение в учебную программу элементов 3D-моделирования с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР) и создания на основе полученных моделей реальных прототипов путём 3D-печати. Это позволяет решить следующие задачи учебного процесса:

- 1) обучить студентов навыкам работы в современных САПР и 3D-моделированию;
- 2) повысить интерес студентов к изучению конструкции теплоэнергетического оборудования путём освоения современных IT-технологий и получения возможности увидеть наглядную модель изучаемого объекта, не выходя из аудитории;
- 3) дать студентам представление о работе проектировщиков и инженеров-конструкторов, увеличить время практической работы по изучаемым дисциплинам;
- 4) расширить учебно-материальную базу факультета за счёт создания реальных макетов оборудования на основе разработанных моделей с помощью технологии 3D-печати.

Обучение 3D-моделированию в современном мире чрезвычайно важно. Студенты многих технических специальностей, в том числе и энергетических, после обучения попадают в проектные институты, на заводы по производству оборудования, в конструкторские отделы. Приходя туда, они, в лучшем случае, обладают навыками машиностроительного черчения и имеют представление о разработке конструкторской документации. Однако за последние 30 лет технологии ушли далеко вперёд. Сегодня для изготовления детали с более-менее приемлемой точностью размеров необходима 3D-модель, которая загружается в программу станка с ЧПУ и выступает для него в роли задания. Станок под управлением оператора производит заложенные в модели технологические операции. Традиционный чертёж необходим лишь для сверки полученной детали с требуемой, а также для выполнения обработки поверхностей. Таким образом, знание программ по 3D-моделированию значительно расширяет возможности молодых специалистов в выборе профессии и увеличивает размер заработной платы.



Для наглядного примера рассмотрим внедрение технологий 3D-моделирования в программу изучения дисциплины «Турбины ТЭС». В рамках этой дисциплины студентам предлагается выполнить курсовой проект, в ходе которого производится тепловой и конструктивный расчёт парового турбоагрегата с выполнением чертежей [3]. В данном случае выполнение стандартного чертежа, где изображён общий вид турбины, можно заменить на выполнение модели какой-то конкретной детали (например, сопловых или рабочих решёток) или сборочной единицы (например, проточной части или ротора турбины). В качестве примера на рисунке 1 представлена 3D-модель рабочего колеса маломощной паровой турбины.

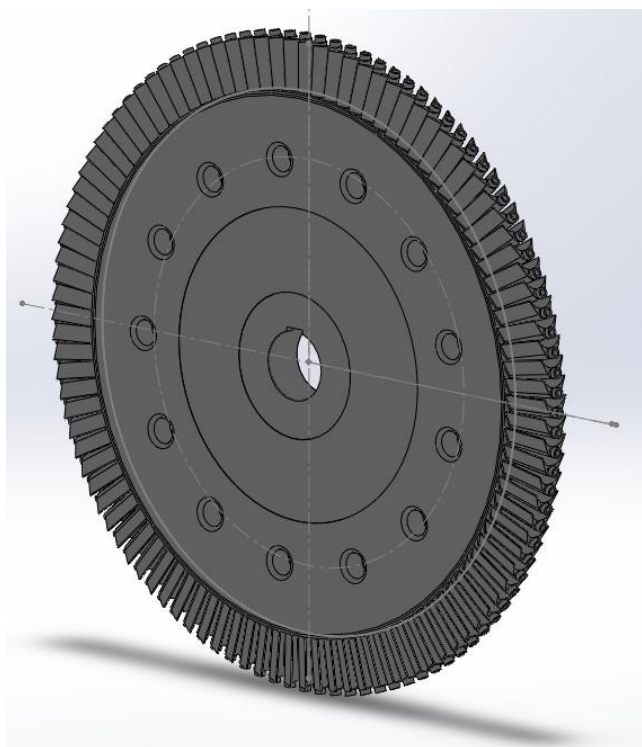


Рисунок 1. 3D-модель рабочего колеса турбины малой мощности

Эта модель выполнена в наиболее удобной для начинающих конструкторов и быстрой в изучении программе «Solidworks», в которой можно не только проектировать модели любой сложности, но также дополнительно проводить гидравлические, механические и кинематические расчёты. Таким образом, студент, выполнив, например, конструктивный расчёт ступени паровой турбины, сможет на основе полученных результатов выполнить объёмное изображение ступени, которое можно будет рассмотреть с любого ракурса и в любом разрезе. Принимая выполненную ступень за основу и пользуясь возможностями «Solidworks», можно быстро выполнить модели остальных ступеней, формируя тем самым проточную часть турбоагрегата.

В рамках предусмотренных программой лабораторных работ по дисциплине «Турбины ТЭС» студенты достаточно много времени уделяют изучению режимов течения пара по проточной части и проектированию профилей лопаток. Здесь также возможно внедрение технологий 3D-моделирования. Поскольку «Solidworks» обладает функцией гидравлического расчёта, он может отобразить



характер течения среды заданных параметров по каналу или трубе. Студенты смогут наглядно увидеть линии тока пара и на конкретном примере усвоить разницу между сопловыми и рабочими лопатками турбины. На рисунке 2 представлен результат моделирования течения пара через сопло.

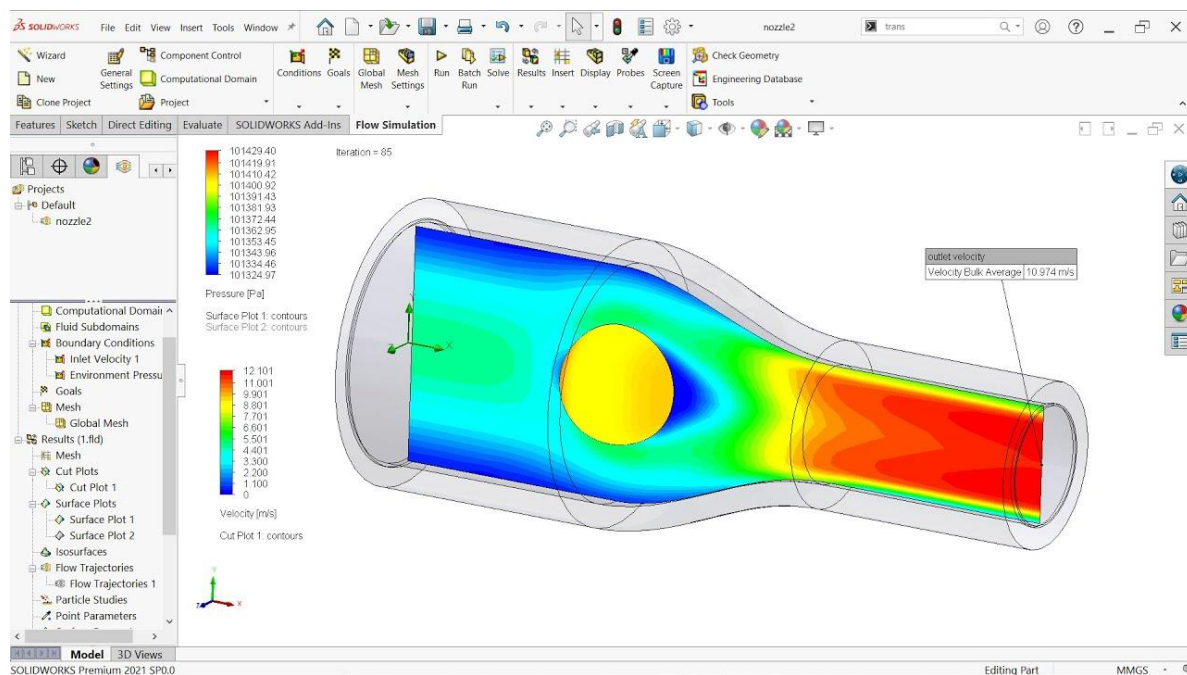


Рисунок 2. Моделирование течения среды через сопло в программе «Solidworks»

На данной модели можно увидеть распределение поля скоростей в сопловом канале и найти скорость потока в любой его точке. Данная функция очень полезна для физического понимания фундаментальных принципов работы любых турбоагрегатов.

В процессе выполнения студентами моделей различных частей турбоустановок на базе факультета будет формироваться архив с огромным количеством рассчитанных и смоделированных частей одних и тех же турбоустановок, которые в конечном итоге можно объединить в полноценные модели реально существующих турбоагрегатов. Программа «Solidworks» позволяет сохранять модели в широком спектре различных форматов, в том числе и формате «STL». Этот формат позволяет выполнить 3D-печать модели, что является ещё одним преимуществом внедрения в учебную программу изучения технологий 3D-моделирования. После выполнения 3D-печати появляется возможность собрать реальный макет разработанной студентами турбины, причём этот макет вполне можно выполнить разборным, т.е. модель можно будет разобрать на составные части (вал, колесо, сопловой аппарат, корпус и т.д.) и собрать заново. Такой своеобразный конструктор расширит учебную базу факультета и позволит на первых занятиях по дисциплине демонстрировать студентам наглядные и интересные макеты, вовлекая их в изучение материала. Полученная модель полностью отражает все составные части турбоагрегата, а возможность её разобрать позволяет лучше понять некоторые принципы конструкции агрегата и технологии его сборки.



Таким образом, внедрение технологий 3D-моделирования в учебную программу по подготовке инженеров-энергетиков даёт целый ряд преимуществ, начиная от развития у обучающихся пространственного мышления и навыков инженеров-конструкторов и заканчивая расширением материальной базы университета. Тем не менее, основной проблемой на первых этапах может стать отсутствие современных компьютерных классов, а также возможности 3D-печати. Белорусский национальный технический университет в этом плане лишён этих недостатков: сегодня под компьютерные классы выделено отдельное здание, оснащённое современным компьютерным оборудованием, а существующий при БНТУ технопарк «Политехник» располагает современными 3D-принтерами для печати.

#### Список литературы:

1. Волошко, Т. Татьяна Черниговская – о бессмысленности IQ тестов, опасности компьютерных игр и постоянстве памяти / Т. Волошко // mel.fm. – URL: [https://mel.fm/vospitaniye/eksperty/987461-tatyana\\_chernigovskaya1](https://mel.fm/vospitaniye/eksperty/987461-tatyana_chernigovskaya1). – Дата публ.: 21.05.2016.
2. Николайчик, М. И. Исследование типов восприятия информации у студентов / М. И. Николайчик, К. В. Семериков; науч. рук. Т. С. Каминская // Инженерно-педагогическое образование в XXI веке: материалы Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов (23—24 мая 2019 года) / редкол.: С. А. Иващенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 187-188.
3. Турбины теплоэлектростанций: методические рекомендации по выполнению курсового проекта / сост.: В. К. Балабанович, Н. В. Пантелей; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции". – Минск: БНТУ, 2005. – 103 с.: ил.