



## ПРИМЕНЕНИЕ САМ СИСТЕМЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ АВИАСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е.Г. Чигринец, С.К. Чотчаева, С.Б. Родригес (ПАО «Роствертол», ДГТУ)

*Востребованность выпускников инженерных специальностей определяется во многом знанием современных CAD/CAM систем и умением их использовать для технологической подготовки производства в реальном производстве. Донским государственным техническим университетом (ДГТУ) совместно и при поддержке ПАО «Роствертола» разработана учебная программа и проведено обучение студентов кафедры «Авиастроение» образовательному модулю «Конструкторско-технологическая подготовка вертолетостроительного производства с применением САПР Siemens NX CAD/CAM». Описаны этапы обучения, цели, задачи и результаты.*

*Ключевые слова: CAD/CAM системы, станок с ЧПУ, механическая обработка, пяти осевое фрезерование, цифровое производство.*

### Введение

Авиастроение является одной из самых наукоемких областей промышленности, результативность работы которой в условиях острой глобальной конкуренции и широкой кастомизации должно основываться на единой информационной модели. Поэтому именно в авиационной отрасли получили широкое распространение CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life cycle Support), заключающихся в использовании цифровых данных на всех этапах жизненного цикла изделия – от технического задания, проектирования и производства до сертификации, эксплуатации и утилизации. Цифровизация приводит к появлению виртуальных производств, в которых процесс создания продукции разделен во времени и пространстве между многими независимыми участниками каждый со своими правами доступа, а информация может использоваться параллельно, многократно, быть адаптирована и масштабирована под различные производственные условия и поставленные задачи [1, 2].

Системы управления жизненным циклом PLM (Product Lifecycle Management) дают возможность перенести процесс верификации изделия на более ранние этапы разработки через создание так называемых «цифровых двойников». Применение методов численного моделирования совместно с цифровыми двойниками позволяют добиваться расхождения результатов моделирования с результатами реальных

испытаний не более чем на 1% и проводить достоверные расчеты для режимов, которые трудно или невозможно проверить в рамках физических испытаний. Такие методики стали активно использовать такие лидеры авиастроительной отрасли как Airbus<sup>1</sup> и Boeing [3, 4].

В последние годы ПАО «Роствертол» осуществил глубокую модернизацию всего производства. Выполнено техническое перевооружение металлообрабатывающего оборудования на многоцелевые токарные, фрезерные и токарно-фрезерные обрабатывающие центры, имеющие до девяти управляемых осей. Для использования всех возможностей высокотехнологичного оборудования внедрена CAD/CAM система NX от Siemens PLM Software, ставшей стандартом для всех предприятий холдинга АО «Вертолеты России» [5].

Цифровая трансформация в промышленности, размывание границ фундаментальной и прикладной науки<sup>2</sup> существенно меняют подходы к подготовке инженерных кадров [6, 7, 8]. Современный специалист должен обладать широким спектром междисциплинарных компетенций [9] и быть способным к непрерывному самообучению, поскольку внедрение новых технологий опережает скорость изменений в системе российского высшего образования, имеющей вертикальный принцип формирования регламентирующих учебный процесс документов, что приводит к отсутствию гибкости в стремительно меняющихся внешних условиях.

<sup>1</sup> Модельно-ориентированный подход к проектированию систем самолета Airbus A350 XWB. – SIEMENS PLM SOFTWARE [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/globalruour-storycustomersairbus-a350-xwb16450/>.

<sup>2</sup> Боровков, А.И. Современное инженерное образование: учеб. пособие / А.И. Боровков [и др.] // . – СПб.: Изд.-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.

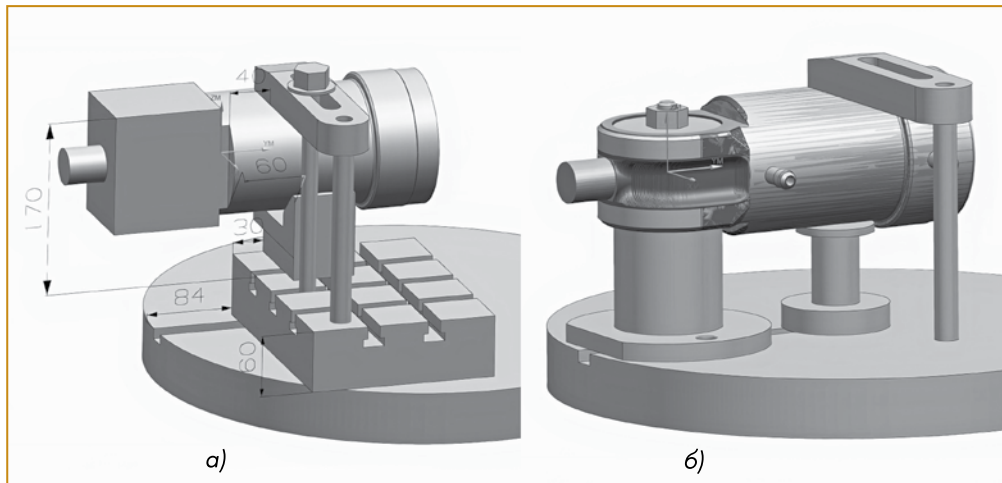


Рис. 1 Создание сборки проекта механической обработки: а) установ №1, б) установ №2

В рамках проекта «Новые кадры оборонно-промышленного комплекса» Донским государственным техническим университетом (ДГТУ) совместно и при поддержке ПАО «Роствертола» разработана учебная программа и проведено обучение студентов кафедры «Авиастроение» образовательному модулю «Конструкторско-технологическая подготовка вертолетостроительного производства с применением САПР Siemens NX CAD/CAM». Целью программы являлось развитие навыков разработки управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) с помощью системы автоматизированного проектирования NX CAD/CAM и ее использование для сокращения сроков технологической подготовки производства (ТПП) на примере продукции механических цехов ПАО «Роствертола».

Изучение программирования металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ в среде NX осложняется отсутствием достаточного числа учебных материалов, а имеющиеся сложны для самостоятельного изучения и скорее рассчитана на специалистов с уже определенным уровнем владения данным программным продуктом. Для преподавателей участие в данном проекте было полезным с точки зрения систематизации накопленного опыта по данной тематике, а также формирования универсальной методологии обучения компьютерному инжинирингу.

#### Этапы подготовки специалистов

Обучение проводилось параллельно с преддипломной практикой, в рамках которой студентами были выполнены следующие работы, ставшие исход-

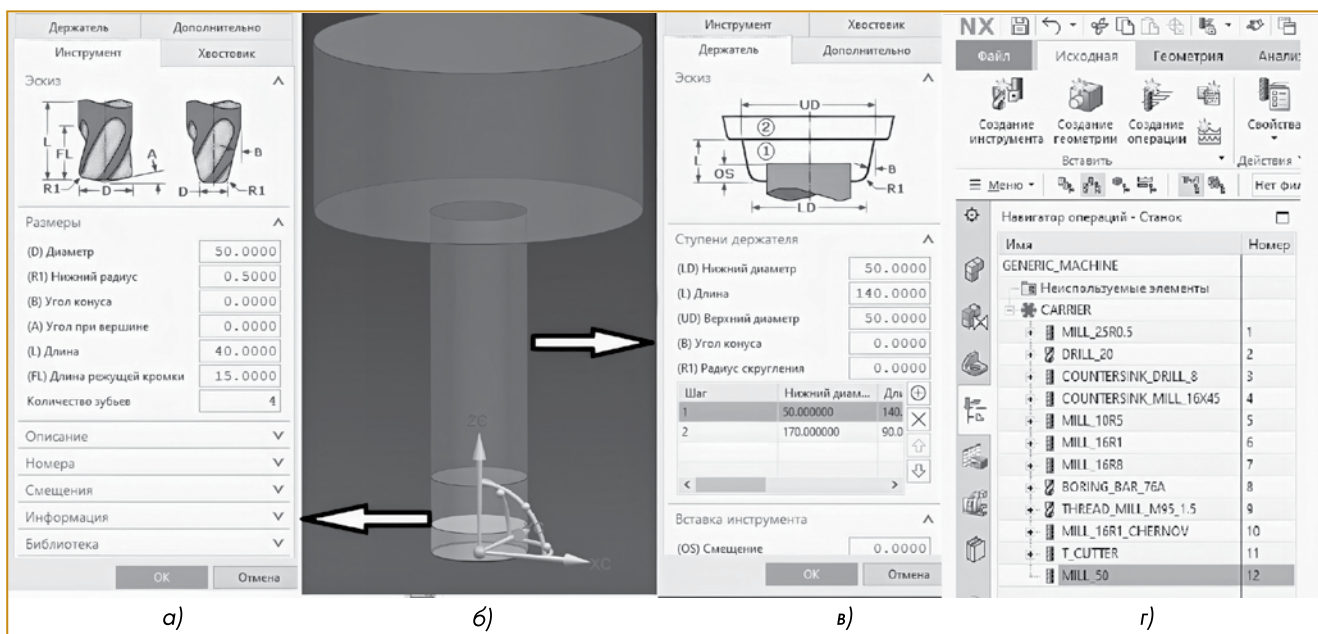


Рис. 2 Создание корпусной фрезы SANDVIK R220.69-0050-12-7A в NX CAM:

а) задание параметров режущей части фрезы, б) общий вид фрезы для расчета УП, в) задание параметров держателя, г) «дерево» навигатора инструмента

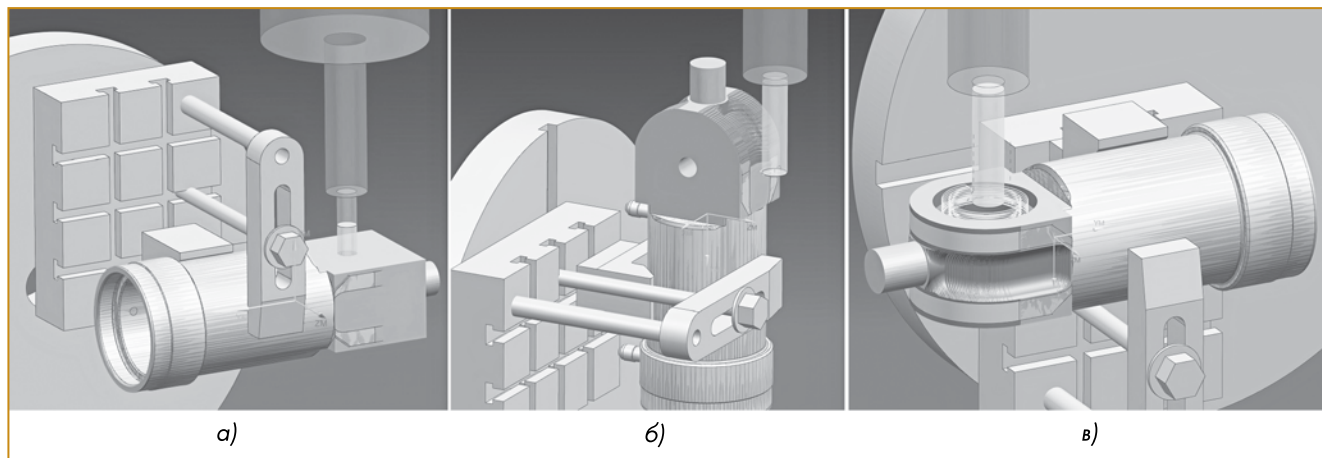


Рис. 3 Создание черновой операции механической обработки в системе NX CAM для пяти координатного ОЦ HURON K2X8 FIVE: а) траектория сверления, б) предварительное фрезерование наружного контура, в) расфрезерывание отверстий

ными данными для технологического проектирования в среде NX CAD/CAM:

1. сбор конструкторско-технологической документации согласно заданию практики: чертежи детали, заготовки и оснастки, информация об имеющемся в цехе металлообрабатывающем оборудовании, базовый технологический процесс (ТП);

2. анализ базового ТП и конструкции детали, выбор типа оборудования, режущего инструмента и оснастки, определение технологических баз;

3. разработка маршрутного и операционного технологических процессов изготовления детали.

На примере особо ответственной детали «Корпус», относящейся к узлам гидросистемы вертолета Ми-26, рассмотрим основные этапы обучения расчету управляющих программ с применением системы NX CAD/CAM.

В базовом ТП в качестве заготовки используется прутки  $\varnothing 135$  мм и длиной 355 мм из стали 30ХГСА. Деталь полностью изготавливается на универсальном оборудовании, что ведет к значительному разбросу качества получаемых изделий, высокой вероятности брака, связанного с человеческим фактором, а также к высокой трудоемкости и большому числу номенклатуры применяемого оборудования. Для решения данных проблем наиболее трудоемкую и ответственную чистовую обработку будем вести на пяти координатном обрабатывающем центре (ОЦ) HURON K2X8 FIVE.

В базовом ТП заготовка поступает на ОЦ после полной токарной обработки и предварительной фрезерной (рис. 1, а) с целью минимизации использования дорогостоящего оборудования для черновых обдирочных операций. Далее в среде NX CAD создается трехмерная твердотельная математическая модель заготовки с размерами и припусками, согласно условий поставок. Аналогично с использованием конструкторской документации выполняется построение 3D-модели детали. Затем в модуле CAM с применением разработанных моделей создается ра-

бочая область обработки – WORKPIECE и машинная система координат (MCS) – нулевая точка обработки, относительно которой посредством постпроцессора выводится код управляющей программы.

Согласно применяемой в ПАО «Роствертол» технологии изготовления детали «Корпус», используется только универсальное оборудование, поэтому средства технологического оснащения не могут быть применены на ОЦ. В целях сокращения сроков технологической подготовки производства в разрабатываемой технологии будем использовать универсально-сборное приспособление (УСП) для установка №1 (до термообработки) (рис. 1, а) и ложемент вместе со стандартным домкратом для установка №2 (после термообработки) (рис. 1, б). Предварительно созданные 3D-модели оснастки загружаются в модуль NX CAM и размещаются на столе ОЦ. Далее это поможет упростить верификацию управляющей программы (УП) на наличие столкновений и сократить время отработки УП на станке с ЧПУ ввиду снижения времени наладочных работ.

Полученная студентами информация в рамках производственной практики об имеющейся на ОЦ номенклатуре режущего и вспомогательного инструмента используется для создания их моделей в модуле CAM среды NX. Для этого реальная оснащенность станка с ЧПУ соотносится с маршрутом и условиями обработки, при необходимости осуществляется их корректировка и далее из каталогов производителей параметры выбранного инструмента задаются в системе NX CAM (рис. 2, а, б, в). Данный этап заканчивается формированием «дерева» (рис. 2, г), в котором содержатся все необходимые для расчета УП параметры режущего инструмента. На данном этапе необходимо обратить внимание на задание числа зубьев фрезы. Хотя данный параметр никак не влияет на отображение траектории движения инструмента, его значение используется для пересчета задаваемых режимов резания и, в случае ее неверного задания, будет несоответствие расчетных и реальных на станке.

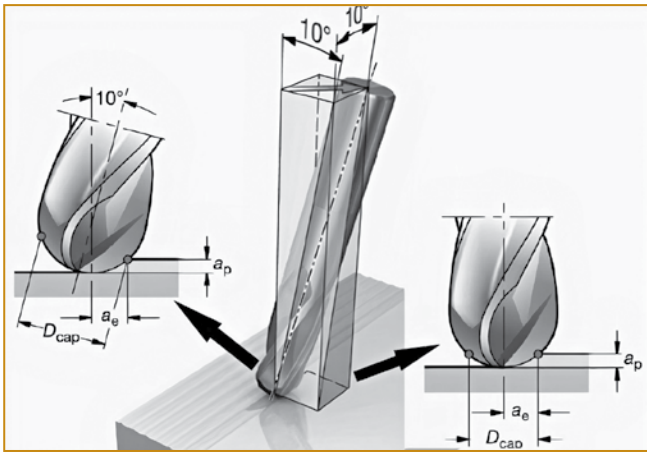


Рис. 4. Программирование пяти координатной обработки в NX CAM: задание углов наклона и опережения

На следующем этапе студентами программируются операции механической обработки с учетом припусков на последующие операции, зон малой жесткости и обхода элементов оснастки. На рис. 3 представлены элементы пяти координатной позиционной обработки, именуемой «обработка 3+2» (три линейных перемещения и два вращения, причем вращения осуществляются при отходе инструмента в зону безопасности). Режимы обработки подбираются по каталогам производителей инструмента с учетом технических возможностей обрабатывающего центра и особенностей системы СПИД.

В программе обучения студентов достаточное количество часов было отведено под практическое изучение методов программирования непрерывной пяти координатной обработки (повороты органов станка осуществляются в процессе резания). Традиционно подобные операции требуются при обработке изделий сложной конфигураций, таких как турбинные лопатки, крыльчатки, гребные винты и т.д., имеющих криволинейные или сплайновые поверхности. Ось

инструмента в таких проектах изменяет свое положение относительно обрабатываемой геометрии в рамках одной траектории.

В отчете к итоговой аттестации необходимо было продемонстрировать построенную и верифицированную траекторию с одновременным перемещением исполнительных органов ОЦ по четырем и пяти осям. Если в полученных заданиях отсутствовали поверхности, для которых возможно использование данных траекторий, выдавались дополнительные тестовые детали. В детали «Корпус» имеется центральный паз, выполненный по радиусу и согласно серийного универсального ТП обрабатываемый Т-образной фрезой  $\varnothing 130$  мм. На ОЦ HURON использовать данную фрезу не представляется возможным, поскольку ее диаметр больше максимально допустимого (80 мм и 100 мм при пустых соседних ячейках). Поэтому было принято решение обработать данный элемент сферической фрезой  $\varnothing 16R8$  с использованием непрерывной пяти осевой обработки.

В качестве управляющей поверхности будем использовать криволинейную поверхность паза, а направление оси инструмента — по нормали к ней. При работе сферическими фрезами центр инструмента является наиболее критической областью ввиду неудовлетворительных условий эвакуации стружки из-за ограниченного пространства у перемычки. Кроме того, скорость резания в центре сферы фрезы близка к нулю, что ведет к «затиранию» обрабатываемой поверхности и снижению качества готовой детали. Поэтому выведем центр фрезы из зоны резания, запрограммировав наклон шпинделя в двух плоскостях на  $10^\circ$  (рис. 4), что гарантирует наличие в зацеплении четырех режущих зубьев (вместо двух зубьев при обработке без наклона) и позволит при равной подаче на зуб получить большую минутную подачу. А увеличение эффективного диаметра резания  $D_{сap}$  позволит повысить скорость резания и производительности процесса без ущерба для качества

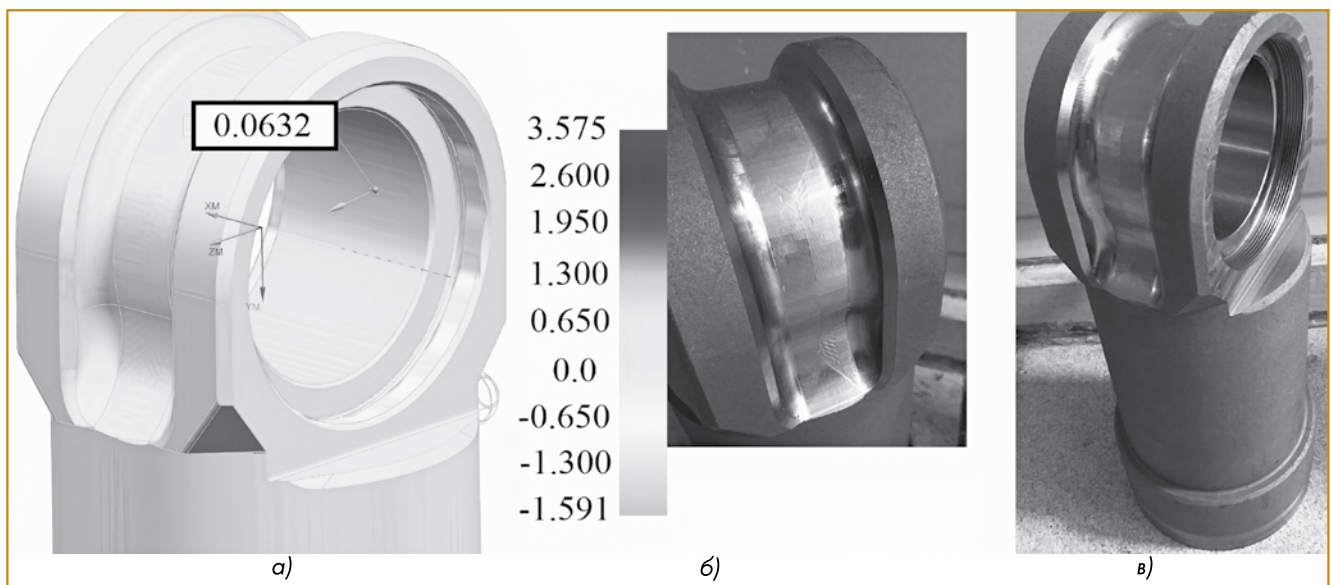


Рис. 5 Обработанная деталь «Корпус»: а) в системе NX, б) на обрабатывающем центре

и стойкости инструмента. В системе NX CAM наклон шпинделя задается параметрами «угол опережения» и «угол наклона».

После генерации и верификации траектории на предмет столкновений с технологической оснасткой проводится ее анализ на наличие резцов и недообработанных мест (рис. 5, а). Так как данный переход фрезерования финишный под последующую полировку, то зададим шаг между проходами  $a_e=0,1$  мм. Ввиду малой глубины резания  $a_p \leq 0,5$  мм подача на зуб  $f_z$  ограничивается только требованиями по шероховатости поверхности и возможностями станка. Поэтому согласно рекомендациям SANDVIK COROMANT значение подачи принимаем  $f_z = a_e = 0,1$  мм/зуб, что позволит получить поверхность симметричной структуры (рис. 5, б) и облегчить полировку.

#### Заключение

Стремительное развитие производственных технологий меняет и характер инженерного образования, требуя от студентов владения более широким спектром компетенций и междисциплинарных знаний. Опыт более чем 15-летнего сотрудничества «Донского государственного технического университета» (ДГТУ) и ПАО «Роствертол», на базе которого сформирована корпоративная кафедра «Авиастроение» и выпускающая специалистов для нужд предприятия, показал определенные сложности адаптации выпускников при поступлении на работу в цеха и отделы. Несмотря на высокий уровень подготовки в научно-технических и инженерных дисциплинах, имеется определенный пробел в способностях применять полученные теоретические знания на практике. Поэтому проблемно-ориентированный подход к обучению, представленный в данной работе, позволяет сосредоточить внимание обучающихся на исследовании и решении конкретной производственной задачи, пройти все этапы решения, закрепить теоретическую информацию и переосмыслить ее с точки зрения практической реализации, что становится отправной точкой в процессе становления студентов в качестве будущих высококвалифицированных инженеров. А тесное взаимодействие между будущим работодателем, студентом и ВУЗом при совместном выполнении реальных проектов позволяет оперативно корректировать вектор реализации учебного процесса профессионально-образовательного кластера «ДГТУ – Роствертол», выявляя сильные и слабые стороны всех участников, мотивируя их к непрерывному развитию.

*Чигринец Евгений Геннадьевич* – канд. техн. наук, начальник группы расчета управляющих программ ПАО «Роствертол», старший преподаватель кафедры «Авиастроение» ДГТУ,

*Чотчаева Самира Камаловна* - канд. техн. наук, зав. лабораторией центра подготовки персонала ПАО «Роствертол», доцент кафедры «Авиастроение» Донского государственного технического университета,

*Родригес Сергей Баутистович* - начальник отдел систем автоматизации технологического проектирования ПАО «Роствертол», старший преподаватель кафедры «Авиастроение»

Донского государственного технического университета.

E-mail: Semo\_s@mail.ru egchigrinets@gmail.com sb\_rodriguez@mail.ru

Накопленный опыт сотрудников кафедры «Авиастроение» и специалистов ПАО «Роствертол» в рамках реализации проекта высокотехнологичного металлообрабатывающего производства на территории предприятия, а также разработанные методология преподавания и учебная программа могут быть использованы в повышении квалификации компетентных специалистов и профессиональной переподготовке специалистов смежных областей.

#### Список литературы

1. *Rubmann M.* Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries / M. Rubmann [et al.] // The Boston Consulting Group, Inc.: Boston, MA, USA, 2015. PP. 1-20.
2. *Thoben K.D.* Industrie 4.0 and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. / K.D. Thoben, S. Wiesner, T. Wuest // Automation Technology. V. 7. 2017. PP. 4–16.
3. *Shaheen A.* Crash analysis of aircraft nose prototype / A. Shaheen, A.D. Sinha // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). V. 9(6). 2020. P. 204-213.
4. *Поляков, А.А.* Использование виртуального пространства для проведения макетно-конструкторских испытаний по электронному макету космического аппарата / А.А. Поляков С.А. Заширинский // Тр. МАИ. 2019. № 107. 24 с.
5. *Чигринец Е.Г.* CAD/CAM/CAE системы, OMW-технологии и нейросетевые алгоритмы анализа данных на предприятиях авиастроительной отрасли / Е.Г. Чигринец, А.В. Верченко // Труды МАИ. 2019. № 104. 26 с.
6. *Sharma P.* Digital revolution of education 4.0 / P. Sharma // Engineering and Advanced Technology (IJEAT). Vol. 9(2). 2019. PP. 3558-3564.
7. *Yixian D.* CAD/CAM courses integration of theoretical teaching and practical training / D. Yixian, [et al.] // Social and Behavioral Sciences VOL. 116 . 2014. PP. 4297 – 4300.
8. *Сбродов Н. Б.* Анализ интегрированной системы SIEMENS NX и ее адаптация к учебному процессу по направлениям подготовки 220400 и 220700 / Н.Б. Сбродов, Ф.Н. Клявлин // Вестник КГУ. 2012. №2 (24). С. 96-98.
9. *Sadchikova G.M.* Application of NX Siemens PLM Software in educational process in preparing students of engineering branch / G.M. Sadchikova // AIP Conference Proceedings. V. 1797. Iss. 1. PP. 030015-1 – 030015-9.
10. *Chibane H.* Selection of machining conditions for aeronautic composite using vibration analysis / H. Chibane [et al.] // Proceedings of the 18th International conference on composite materials. 2011. P. 1223-1229.