

УДК [378:629.7]-042.4:004  
DOI 10.20339/AM.06-23.103

Т.П. Эйхман,

старший преподаватель

Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)

e-mail: eykhman@corp.nstu.ru

С.Д. Саленко,

д-р техн. наук, профессор,

заведующий кафедрой аэрогидродинамики

Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)

ORCID: 0000-0002-8752-1380

e-mail: salenko@corp.nstu.ru

Н.В. Курлаев,

д-р техн. наук, профессор

заведующий кафедрой самолето- и вертолетостроения

Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)

ORCID: 0000-0002-1148-5985

e-mail: kurlaev@corp.nstu.ru

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ АВИАЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В АЭРОКОСМИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

*Создание новых модификаций авиационной техники требует новых технологий проектирования и производства на основе информационных технологий. Современные информационные технологии обеспечивают возможность компьютеризированного проектирования и производства конструкций. В настоящее время у эксплуатантов авиационной техники также возникло требование проектирования изделий с учетом их последующего технического обслуживания. Конкурентоспособность и надежность аэрокосмической техники должна обеспечиваться квалифицированными специалистами на всех этапах жизненного цикла авиационной техники. Чтобы реализовать такой подход, требуется системная подготовка специалистов для всех этапов жизненного цикла изделий. В настоящее время большинство предприятий авиационной и ракетно-космической промышленности в целях обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции интенсивно работают по внедрению современных информационных технологий, базирующихся на принципах корпоративного управления жизненным циклом производимой продукции. Успешное развитие этих работ возможно только при условии развития подготовки кадров в области корпоративных систем поддержки жизненного цикла изделий – кадров, готовых не только к квалифицированному использованию прогрессивных информационных и организационных технологий, но и к их развитию и совершенствованию. Необходимо обеспечить подготовку выпускников аэрокосмических вузов, готовых решать профессиональные задачи проектирования, подготовки производства, изготовления и эксплуатации изделий с помощью прикладных информационных технологий. Методической основой решения этих задач является разработка новых учебных планов, включающих новые дисциплины по управлению жизненным циклом изделий. Авторы показывают подходы в практической подготовке кадров, владеющих цифровыми технологиями, ориентированной на требования производства предприятий с точки зрения интегрированной информационной поддержки жизненного цикла изделий в аэрокосмической отрасли.*

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, методы системной инженерии, цифровой двойник, цифровая среда.

## DIGITAL TECHNOLOGIES OF INTEGRATED INFORMATION SUPPORT OF AVIATION PRODUCTS IN AEROSPACE EDUCATION

**Tatiana P. Eichmann**, Senior lecturer at Novosibirsk State Technical University (NSTU), e-mail: [eykhman@corp.nstu.ru](mailto:eykhman@corp.nstu.ru)

**Sergey D. Salenko**, Dr. Sc. (Technic), Professor, Head of the Department of Aerohydrodynamics at Novosibirsk State Technical University (NSTU), ORCID: 0000-0002-8752-1380, e-mail: [salenko@corp.nstu.ru](mailto:salenko@corp.nstu.ru)

**Nikolay V. Kurlaev**, Dr. Sc. (Technic), Professor, Head of the Department of Aircraft and Helicopter Engineering at Novosibirsk State Technical University (NSTU), ORCID: 0000-0002-1148-5985, e-mail: [kurlaev@corp.nstu.ru](mailto:kurlaev@corp.nstu.ru)

*The creation of new modifications of aviation equipment requires new design and production technologies based on information technology. Modern information technologies provide the possibility of computer-aided design and production of structures. Currently, there is also a requirement for aircraft operators to design products taking into account their subsequent maintenance. The competitiveness and reliability of aerospace equipment should be ensured by qualified specialists at all stages of the life cycle of aviation equipment. To implement this approach, systematic training of specialists is required for all stages of the product life cycle. Currently, most enterprises of the aviation and rocket and space industry, in order to ensure the competitiveness of their products, are intensively working on the introduction of modern information technologies based on the principles of corporate management of the life cycle of manufactured products. The successful development of these works is possible only on condition of the development of personnel training in the field of corporate product lifecycle support systems, personnel not only ready for the qualified use of advanced information and organizational technologies, but also for their development and improvement. It is necessary to provide training for graduates of aerospace universities who are ready to solve professional problems of design, preparation of production, manufacture and operation of products using applied information technologies. The methodological basis for solving these problems is the development of new curricula, including new disciplines on product lifecycle management. The authors show approaches in the practical training of personnel who possess digital technologies, focused on the requirements of the production of enterprises in terms of integrated information support for the life cycle of products in the aerospace industry.*

**Keywords:** digital transformation, systems engineering methods, digital twin, digital environment.

### Введение

В связи с постоянным повышением требований к подготовке кадров в области цифровых технологий в аэрокосмическом образовании для предприятий авиационной промышленности представляется актуальной выработка концепции мобильной и практически ориентированной на требования производства авиастроительных предприятий интегрированной информационной поддержки жизненного цикла авиационных изделий [1; 2].

Применение информационной поддержки изделий (ИПИ) существенно влияет на экономические показатели авиастроительного производства, позволяя сократить затраты и трудоемкость процессов технической подготовки, быстро осваивать производство новых изделий, ускорять ввод новых изделий в эксплуатацию, сокращать затраты при внесении изменений в конструкцию.

В связи со спецификой предприятий авиастроения задача состоит в том, чтобы наряду с развитием компьютеризации информационно объединить все этапы жизненного цикла изделия посредством ИПИ, которая, по существу, является ключом к информационному перевооружению производства авиационной техники и всей авиационной промышленности. В связи с чем можно сделать вывод о целесообразности построения интегрированной информационной среды жизненного цикла авиационной техники с помощью основных методологических принципов ИПИ, которые состоят в следующем [3].

1. Построение и использование на всех этапах полного электронного определения изделия. Построение интегрированного информационного поля, сквозного по всем этапам жизненного цикла.

2. Все этапы жизненного цикла изделия (научные исследования, проектирование, испытания, производство и др.) – электронное макетирование, управление проектом и потоками работ, управление производственными, кадровыми и финансовыми ресурсами, управление качеством и логистическая поддержка эксплуатации – базируются на интегрированной информационной среде жизненного цикла изделия.

3. Принципиальное свойство ИПИ – сквозная компьютерная привязка всех этапов, начиная от НИОКР с электронным макетированием, безбумажного документооборота на сетевых структурах, и заканчивая непрерывным отслеживанием качества и соблюдением стандартов по всему жизненному циклу авиационной техники. Это позволяет интенсифицировать научно-проектировочные нововведения.

### Основная часть

Подготовка кадров для авиастроения в современных экономических условиях требует целевого обучения для конкретных производств и этапов жизненного цикла изделий.

В 2017 г. НГТУ вошел в число опорных региональных университетов (ОРУ), а в 2021 г. – во вторую группу по-

бедителей программы Минобрнауки «Приоритет–2030». Это ставит перед университетом новые задачи: реализация проектно-ориентированных программ, системное взаимодействие с научными организациями, в том числе с академическими институтами Российской академии наук, реализация совместных образовательных программ и научных проектов, привлечение в университет талантливых молодых ученых.

В создании системы подготовки рабочих, техников и инженеров для авиационных предприятий Новосибирской области (НСО) в настоящее время активно принимает участие ОРУ НГТУ во взаимодействии с филиалом ПАО «ОАК» – НАЗ им. В.П. Чкалова, СибНИИ им. С.А. Чаплыгина, учреждениями среднего специального образования НСО, ведущими подготовку кадров для авиастроительной отрасли и входящими в консорциум «Научно-производственный образовательный кластер авиастроения Новосибирской области (НСО)». Подготовка кадров ведется с учетом интеграции уровней профессионального образования.

Для развития системы обеспечения кадрами авиационных предприятий НСО специалистами и научными работниками возникают новые потребности, необходимые для эффективной подготовки и обучения новым технологиям информационной поддержки изделий.

**Главная цель:** необходимость освещения требований к процессам жизненного цикла продукции, изложенным в Национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 9001-2015, которые формируют понятие процессов управления деятельностью через процессы управления качеством.

Важнейшей целью цифровой трансформации авиастроения является сохранение и передача цифровых данных на всех этапах жизненного цикла изделия и цепочки поставок. Замети, что предприятие или система решений становятся цифровыми при системном и целостном использовании технологий с целью извлечения максимальной выгоды из оцифровывания.

Применение технологий цифровой трансформации позволяет:

- ◆ повысить безопасность полетов;
- ◆ сократить сроки и стоимость разработки;
- ◆ сократить стоимость производства;
- ◆ сократить стоимость эксплуатации.

Во ФГОС по направлению подготовки бакалавров и магистров «Авиастроение» для формирования общих образовательных программ (ООП) указаны цели обучения: формирование базовой инженерной подготовки, теоретическая и практическая подготовка в области информационной поддержки жизненного цикла научноемких изделий, развитие инженерного мышления, приобретение знаний и умений, необходимых для практической деятельности в процессах жизненного цикла авиационных изделий.

Ежегодно в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» в ООП по авиастроению вносятся дополнения и изменения с учетом предложений, сформированных ведущими специалистами филиала ПАО «ОАК» – НАЗ им. В.П. Чкалова». Таким образом, в НГТУ в указанных ООП по авиастроению учебные курсы блока специальных дисциплин связаны с концепцией информационной поддержки изделий (ИПИ). Кроме того, в учебный план введен курс «Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла авиационных изделий», входящий в блок специальных дисциплин.

#### Требования к результатам освоения дисциплины «Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла авиационных изделий»

**Знать:** новые решения, которые отражают сегодняшний уровень применения средств автоматизации процессов проектирования и технологической подготовки производства в отрасли авиастроения:

- ◆ моделирование элементов каркаса планера с помощью специальных функций, аналогичных NX «Aerospace Design Feature»;
- ◆ способы задания на модели размеров, допусков и технических требований, которые превращают геометрическую модель в цифровой двойник конструкции;
- ◆ методы системной инженерии на основе такого программного обеспечения, как NX, Teamcenter и аналогичные системы [4–7].

**Уметь:** применять решения, которые отражают сегодняшний уровень использования средств автоматизации процессов проектирования и технологической подготовки производства в отрасли авиастроения [8–11]. А именно:

- ◆ применять функционал, например, NX/CAM, NX/Robotics;
- ◆ применять процессы конструкторско-технологической подготовки производства на платформе, например, Teamcenter Manufacturing;
- ◆ применять на платформе, аналогичной Teamcenter Manufacturing, подготовку цифрового двойника конструкции;
- ◆ применять комплексное проектирование и анализ взаимодействия самолетных систем на платформе, аналогичной ID Amesim (модель виртуального самолета);
- ◆ применять цифровую трансформацию производства, аддитивное производство, цифровой контроль качества;
- ◆ применять в эксплуатации летательных аппаратов и двигателей с учетом особенностей послепродажного обслуживания цифровые технологии, нейротехнологии и искусственный интеллект.

**Владеть:** созданием процессов конструкторско-технологической подготовки производства на платформе, например Teamcenter Manufacturing, включая:

- ◆ подготовку на такой платформе цифрового двойника конструкции;
- ◆ применение сквозной цифровой технологии «новых производственных технологий», субтехнологии «цифровое проектирование и управление жизненным циклом изделия»;
- ◆ применение «технологии управления проектами», выполнение планирования проекта, определения рисков проекта.

**Структура учебной деятельности, привязанной к концепции информационной поддержки изделий, состоит из модулей:**

#### **Модуль 1**

Концепция информационной поддержки изделий (ИПИ), модель и базовые принципы ИПИ.

Сквозные технологии.

#### **Модуль 2**

Интегрированная информационная среда. Принципы «Индустрии 4.0». Цифровая трансформация производства.

#### **Модуль 3**

Базовые управленческие технологии ИПИ, технология «Управление качеством», цифровой контроль качества.

#### **Модуль 4**

Деятельность. Инжиниринг. Реинжиниринг бизнес-процессов. Применять процессы конструкторско-технологической подготовки производства на платформе Teamcenter Manufacturing – подготовка цифрового двойника.

#### **Модуль 5**

Формирование интегрированной информационной среды. Создание информационных моделей. Применение методов, информационных объектов, отношений свойств в среде, такой как NX. Подготовка на платформе, такой как Teamcenter Manufacturing, цифрового двойника конструкции. Лабораторные работы.

#### **Модуль 6**

Технология «Управление проектами». Формирование команд. Подготовка плановых документов работы команды. Анализ рисков Практические работы.

#### **Модуль 7**

Формирование интегрированной информационной среды. Создание информационных моделей. Преобразование информационных моделей. Применение методов, информационных объектов, отношений свойств в среде NX. Аддитивное производство, применение 3D-сканирования на производстве, применение технологии виртуальной и дополненной реальностей, цифровой контроль качества. Лабораторные работы.

#### **Модуль 8**

Деятельность. Инжиниринг. Документирование. Применение процессов конструкторско-технологической подготовки производства на платформе, аналогичной Teamcenter Manufacturing, подготовка цифрового двойника конструкции, аддитивное производство. Лабораторная работа.

#### **Модуль 9 (Курсовой проект)**

**Тема:** «Формирование навыков по применению методов создания информационной среды и технологии управления проектами».

**Выполнить:**

Формирование команд: команды формируются из состава группы в количестве 4 человек.

В команде преподавателем назначается менеджер (он имеет лучшие показания по успеваемости). Каждый член команды получает персональное задание от преподавателя на выполнение курсового проекта. Менеджер проекта также получает задание, но на порядок сложнее, чем любой член команды.

Проект состоит из следующих этапов:

1. планирование проекта;
2. исполнение проекта;
3. завершение проекта.

На этапе «Планирование проекта» ведется разработка плановых документов. Преподаватель – куратор проекта – утверждает плановые документы.

На этапе «Исполнение проекта» командами выполняются индивидуальные задания в соответствии с календарными планами проекта.

На этапе «Завершение проекта» идет защита проектов и окончательные отчеты членов команды у менеджеров, а менеджеров – у куратора проекта.

**Исходные данные:**

Сканированный эскиз как некоторая идея для проектирования (рис. 1).

**Документация:**

Работа выполняется в системе, например, NX.

**Выполнить:**

- ◆ Описать функциональное назначение объекта проектирования.
- ◆ Принять конструкторские решения по выбору баз (системы координат), количества моделируемых тел и методов моделирования, операций.
- ◆ Принять конструкторские решения по стратегии предстоящих изменений.
- ◆ Выстроить оптимальный алгоритм создания модели.
- ◆ Спроектировать модель в соответствии с выбранными методами (рис. 2, 3).
- ◆ Создать производственную модель, отражающую сгенерированную траекторию обработки для конкретной операции (рис. 4, 5).

- ◆ Подготовить пояснительную записку.
  - ◆ На защиту предоставить:
    - ✓ презентацию по работе (не более 20 слайдов) – итог работы команды;
    - ✓ пояснительную записку;
    - ✓ «проектную» модель;
    - ✓ производственную модель.

### Контроль выполнения проекта (отчеты членов команды у менеджера):

- ◆ Отчет о прогрессе работ;
  - ◆ Отчет о затратах по проекту (временные затраты);
  - ◆ Отчеты менеджеров у куратора. Отчет о сроках выполнения проекта.

### Контроль по изучению дисциплины:

- ◆ Тест;
  - ◆ Экзаменационные вопросы по теоретическим модулям.

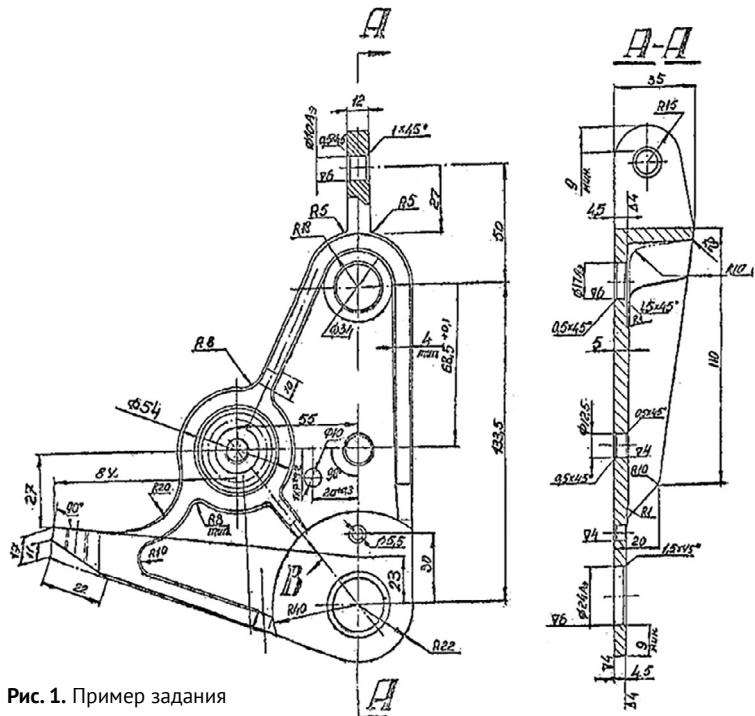
## Заключение

Анализ тенденций развития современного авиационного и космического производства показывает, что проблемы достижения высокого качества и конкурентоспособности изделий авиастроения невозможно решить без применения современных цифровых технологий, позволяющих организовать надежный, происходящий в режиме реального времени обмен информацией.

Новые цифровые технологии сквозной поддержки изделий на всех этапах ее жизненного цикла в настоящее время в отечественном аэрокосмическом производстве достигли широкого распространения на этапах проектирования, производства, продажи, эксплуатации.

Базирующиеся на стандартизованном едином электронном представлении данных и коллективном доступе к ним, эти технологии позволяют существенно упростить проектирование, производство, продажу, эксплуатацию и сервисное обслуживание изделий авиастроения и повысить производительность труда на всех перечисленных этапах.

Современный подход к аэрокосмическому образованию, заключающийся в использовании современных цифровых технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия, позволяет повысить уровень выпускников вузов. В условиях постоянного и значительного усложнения инженерно-технических проектов, программ разработки новой продукции и роста научности изделий конку-



**Рис. 1.** Пример задания курсового проекта

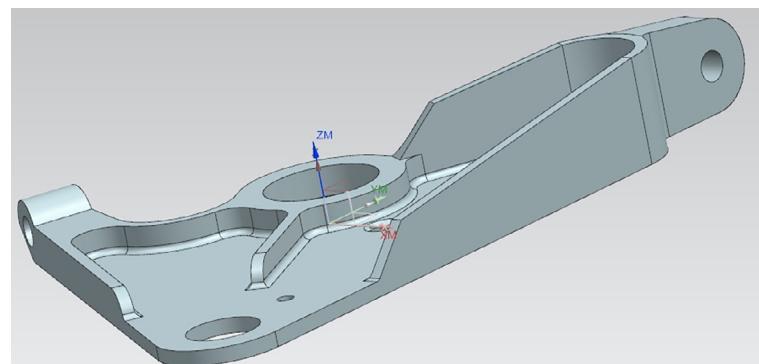


Рис. 2. Пример выполнения задания

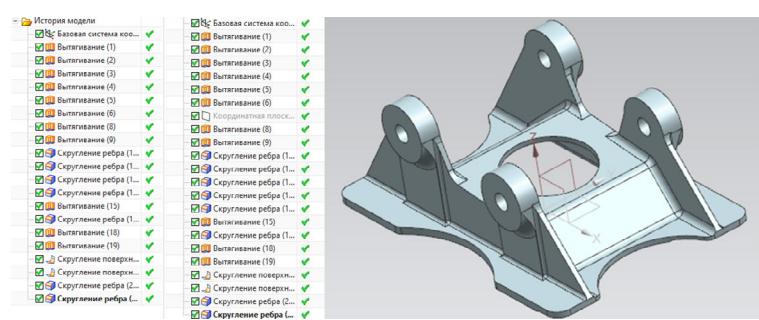


Рис. 3. Модель кронштейна топливной системы

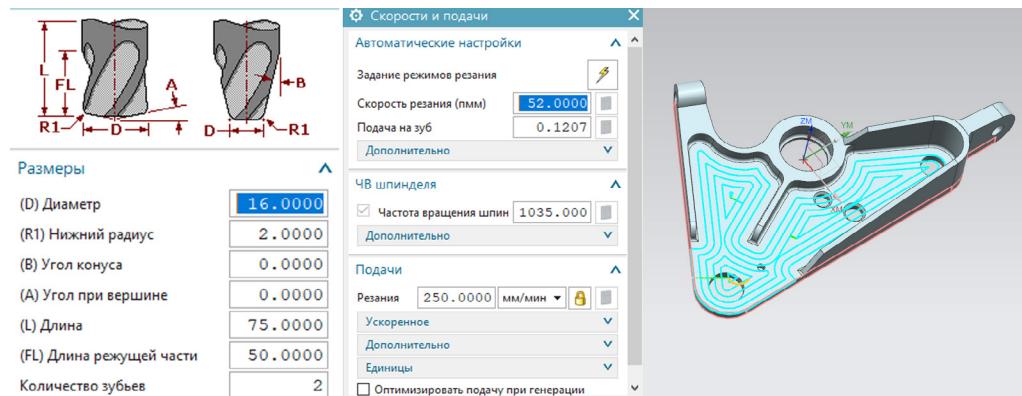


Рис. 4. Операция черновой обработки поверхности кронштейна

Смена инстру...	Трае...	Инструмент	Номер инстру...	Время	Геометрия	Метод
				00:08:26		
				00:00:00		
				00:00:00		
		MILL	0	00:08:14	WORKPIECE	MILL_METHOD

Рис. 5. Этап подготовки управляемых программ для станков с ЧПУ

рентоспособными окажутся выпускники, достигшие более высокого уровня подготовки в использовании цифровых технологий для управления бизнесом, обладающие компетенциями для проектирования, производства, поставки

и поддержки продукта, ориентированные на условия быстро меняющейся экономической ситуации и способные мгновенно реагировать на возникающие новые запросы авиационного и космического производства.

## Литература

- Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. М.: Издат. дом «МВМ», 2003. 264 с.
- Kenneth B. Kahn, Mayur Mohan Lifecycle management // Innovation and New Product Planning. N.Y.: Routledge, 2020. P. 177–185.
- Мантуров Д.В., Ефимова Н.С. Внедрение систем информационной поддержки научоемкой продукции при организации производства в авиастроении // Вооружение и экономика. 2012. № 3 (19). С. 50–55.
- Ведмидь П.А. Основы NX CAM. М.: ДМК Пресс, 2012. 216 с.
- Гончаров П.С., Артамонов И.А., Халитов Т.Ф. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. М.: ДМК Пресс, 2012. 504 с.
- Артамонов И.А. Практическое использование NX. М.: ДМК Пресс, 2011. 332 с.
- Ельцов М.Ю., Козлов А.А., Седойкин А.В. Проектирование в NX под управлением Teamcenter. М.: ДМК Пресс, 2013. 752 с.
- Почекуев Е.Н., Путеев П.А., Шенбергер П.Н. Проектирование штампов для последовательной листовой штамповки в системе NX. М.: ДМК Пресс, 2012. 336 с.
- Технология обработки металлов резанием: уч. пос. AB Sandvik Coromant, 2009. 390 с.
- Xiangqun Chen, Rui Huang, Liman Shen, Dingying Guo, Dezhong Xiong, Xiangqi Xiao, Mouhai Liu, Xu Renheng. Research on the full life cycle management system of smart electric energy meter // 3rd International Conference on Advances in Energy Resources and Environment Engineering: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 113, 8–10 December. Harbin, China, 2017.
- Эйхман Т.П., Курлаев Н.В. Информационная поддержка жизненного цикла изделий авиастроения // Учебное пособие для выполнения курсового проекта по дисциплине «Информационная поддержка жизненного цикла изделий авиастроения» направления «Авиастроение». Новосибирск: НГТУ. 2014. 97 с.
- Sudov, E.V. Integrated information support of the life cycle of machine-building products. Principles. Technologies. Methods. Models. Moscow: Publ. house "MVM", 2003. 264 p.
- Kenneth, B. Kahn, Mayur, Mohan Lifecycle management. In book: Innovation and New Product Planning. N.Y.: Routledge, 2020. P.177–185.
- Manturov, D.V., Efimova, N.S. Introduction of information support systems for high-tech products in the organization of production in the aircraft industry. Armament and economy. No. 3 (19). 2012. P. 50–55.
- Vedmid, P.A. Fundamentals of NX CAM. Moscow: DMK Press, 2012. 216 p.
- Goncharov, P.S., Artamonov, I.A., Khalitov, T.F. NX Advanced Simulation. Engineering analysis. Moscow: DMK Press, 2012. 504 p.
- Artamonov, I.A. Practical use of NX. Moscow: DMK Press, 2011. 332 p.
- Eltsov, M.Yu., Kozlov, A.A., Sedoykin, A.V. Designing in NX under Teamcenter control. Moscow: DMK Press, 2013. 752 p.
- Pochekuiev, E.N., Puteev, P.A., Schoenberger, P.N. Design of stamps for sequential sheet stamping in the NX system. Moscow: DMK Press, 2012. 336 p.
- Technology of metal processing by cutting. Textbook. Stockholm: AB Sandvik Coromant. 2009. 390 p.
- Xiangqun Chen, Rui Huang, Liman Shen, Dingying Guo, Dezhong Xiong, Xiangqi Xiao, Mouhai Liu, Xu Renheng. Research on the full life cycle management system of smart electric energy meter. 3rd International Conference on Advances in Energy Resources and Environment Engineering: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 113, 8–10 December. Harbin, China, 2017.
- Eykhman, T.P. and Kurlaev, N.V. Information support of the life cycle of aircraft engineering products. In: Textbook for the implementation of the course project on the discipline "Information support of the life cycle of aircraft engineering products" specialization of the Aircraft Engineering. Novosibirsk: NSTU, 2014. 97 p.