

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
«ПЕРЕДОВЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ШКОЛЫ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

ГЛОССАРИЙ «ЦИФРОВОЙ ИНЖИНИРИНГ»



МИНОБРНАУКИ
РОССИИ



НИЯУ

МИФИ



Передовые
инженерные
школы

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИФИ»

Методический центр «Передовые инженерные школы»

ГЛОССАРИЙ
«ЦИФРОВОЙ ИНЖИНИРИНГ»

Москва • 2023

УДК 004:681.5.01
ББК 32.973-018.2
Г 54

Глоссарий «Цифровой инжиниринг». – М.: НИЯУ МИФИ, 2023. – 172 с.

Представленный в данном глоссарии базовый набор терминов, является необходимым минимумом для погружения в тематику цифрового инжиниринга и автоматизации производства. Применение описываемых технологий и методов возможно на любом предприятии и производстве не зависимо от специфики и сферы деятельности.

Глоссарий «цифровой инжиниринг» создан в качестве методических материалов методического центра «Передовые инженерные школы» НИЯУ МИФИ для тиражирования передовых методов автоматизации и компьютеризации производств.

Документ является частью методических рекомендаций методического центра «Передовые инженерные школы» Национального Исследовательского Ядерного Университета «МИФИ» (МЦ ПИШ НИЯУ МИФИ) и составлен для передачи Передовым Инженерным Школам (ПИШ) для облегчения процесса обмена опытом в области передовых практик инженерного образования и взаимодействия с промышленными партнерами между ПИШ.

Составители: Тихомиров Г.В., Рыжов С.Н.

ISBN 978-5-7262-3008-5

© Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», 2023

Содержание

Предисловие	4
Цифровой инжиниринг.....	5
1. Автоматизация и компьютеризация	6
2. Системы и методы планирования на предприятиях	23
3. Модели и моделирование	39
4. Работа с данными	61
5. Верификация и валидация программ	77
6. Модернизация и совершенствование инженерии	100
7. Жизненный цикл изделия и его этапы	108
8. Цифровые двойники.....	116
9. Автоматизация управления данными.....	142
10. Индустрия 4.0 и управление производством	156
Словарь сокращений.....	163

Предисловие

Глоссарий содержит основные термины и понятия, связанные с тематикой цифрового инжиниринга. Приведенные определения и информация взяты из открытых источников и представляют общую информацию для ознакомления.

Приведенные примеры и показатели актуальны на момент составления глоссария.

Документ является частью методических рекомендаций методического центра «Передовые инженерные школы» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (МЦ ПИШ НИЯУ МИФИ) и составлен для передачи Передовым инженерным школам (ПИШ) для облегчения процесса обмена опытом в области передовых практик инженерного образования и взаимодействия с промышленными партнерами между ПИШ.

Глоссарий разбит на отдельные блоки взаимосвязанных терминов и определений для обеспечения комплексного восприятия терминов и формирования взаимосвязи между определениями у читателя. Последовательность блоков терминов выбрана в соответствии с принципом возрастания сложности терминов и их взаимосвязи с другими описываемыми терминами.

Все определения и термины в глоссарии даны на двух языках – русском и английском. В примечаниях к каждому термину представлена дополнительная информация, которая содержит историю введения термина, известные синонимы, виды классификации, связи с другими терминами и примеры применения в различных сферах. При наличии определений в соответствии с ГОСТ, данные определения обозначаются ссылкой на соответствующий ГОСТ в скобках в конце определения.

ЦИФРОВОЙ ИНЖИНИРИНГ

Цифровой инжиниринг является направлением совершенствования комплекса услуг цифрового организационно-технологического дизайна предприятий и оптимизации производственно-логистических процессов цехов и оборудования. В комплекс вышеуказанных услуг входит широкий перечень инженерных работ, направленных на модернизацию и применение современных методов связи, логистики, оптимизации, автоматизации и компьютеризации действующих и создаваемых производств, предприятий, лабораторий и отдельных цехов.

Одним из базовых направлений модернизации предприятий в рамках цифрового инжиниринга является автоматизация производств и процессов. Существует большое число методов проведения автоматизации, но в условиях действующих экономических моделей в Российской Федерации наибольшее распространение получили следующие технологии автоматизации:

- облачные технологии хранения данных, которые позволяют сократить издержки на содержание сервера и его обслуживание;
- использование технологий Big Data и Smart Data, а также их развитие (Data Mining, краудсорсинг, слияние и интеграция данных, предиктивная аналитика, ИИ, Machine learning);
- внедрение технологий информационной обработки данных в реальном времени;
- автоматизация системы маркетингового планирования и управления (CRM, BI-system и др.);
- технологии M2M для минимизации человеческого персонала.

1. Автоматизация и компьютеризация

Основой успешной автоматизации и компьютеризации предприятий и процессов является применение специального программного обеспечения и инструментария. Системы автоматизации повсеместно применяются как в инженерной отрасли, так и в предприятиях других отраслей.

1.1. Автоматизация (*Automation*)

Автоматизация – это применение технических средств, экономико-математических методов и систем управления, освобождающих человека частично или полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации [1].

Примечание 1

В основные **области автоматизации** включают производственные процессы, проектирование, планирование и управление организаций, научные исследования, обучение, бизнес-процессы и другие сферы человеческой деятельности.

Примечание 2

Основными видами **систем автоматизации** являются:

- автоматизированная система планирования (АСП) (*automated planning*);
 - автоматизированная система научных исследований (АСНИ) (*automated system of scientific research (ASNI)*);
 - система автоматизированного проектирования (САПР) (*computer-aided design system (CAD)*);
 - автоматизированный экспериментальный комплекс (АЭК) (*automated experimental complex (AEC)*);
 - гибкое автоматизированное производство (ГАП) (*flexible automated production (FAP)*) и автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) (*automated process control system (APCS)*);

- автоматизированная система управления эксплуатацией (АСУ) и система автоматического управления (САУ) (*automated operation control system (ACS)*).

Примечание 3

Гиперавтоматизация (*Hyperautomation*) – совокупность трёх составляющих: машинного обучения, программного обеспечения и классической автоматизации при выполнении определенных работ. Гиперавтоматизация относится к передовым технологическим тенденциям по версии Gartner [2].

Использованные источники:

1. **Прохоров, А.М.** Большой энциклопедический словарь / А.М. Прохоров; под редакцией А. М. Прохорова. – 1-е изд. – М.: Большая российская энциклопедия, 2000.

2. **High, P.** Gartner Announces Top 10 Strategic Technology Trends For 2020 / P. High. – Текст: электронный // Gartner inc. – URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020> (дата обращения: 10.03.2023).

1.2. Автоматизированная система планирования (Automated planning)

Автоматизированная система планирования (АСП) – это совокупность различных математических составляющих, индивидуальных программных решений, универсальных технологических систем и рационального использования ресурсов (в т.ч. персонала), направленных на эффективное управление фирмой [1].

Использованные источники:

1. Все об автоматизированном планировании на производстве [Электронный ресурс] // ARPRIME SOFTWARE: Российский разработчик ИТ-систем для бизнеса. URL: <http://arprime.ru/avtomatizacia/sistemy-avtomatizirovannogo-planirovaniya> (дата обращения: 02.02.2023).

1.3. Автоматизированная система научных исследований (Computer-assisted research system)

Автоматизированная система научных исследований (АСНИ) – это программно-аппаратный комплекс на базе средств

вычислительной техники, предназначенный для проведения научных исследований или комплексных испытаний образцов новой техники на основе получения и использования моделей исследуемых объектов, явлений и процессов [1].

Примечание 1

Для обозначения АСНИ могут также использоваться термины САНИ – система автоматизации научных исследований и САЭ – система автоматизации эксперимента.

Примечание 2

В рамках АСНИ могут решаться частные задачи, присущие другим разновидностям автоматизированных систем: АСУ ТП, САПР, ГИС, САЕ и др.

Примечание 3

Примерами АСНИ являются:

- EPICS (experimental physics and industrial control system) – система управления для экспериментальной физики и промышленности, разработка Аргоннской национальной лаборатории, США;
- TANGO (TACO next generation objects) – свободная распределённая система управления экспериментальными установками, разрабатываемая европейским сообществом операторов синхротронов.

Использованные источники:

1. ГКНТ СССР. Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию АСНИ.

1.4. Система автоматизированного проектирования (Computer-Aided Design (CAD))

Система автоматизированного проектирования (САПР) – автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала

и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности [1].

Примечание 1

В рамках жизненного цикла промышленных изделий САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства.

Примечание 2

В соответствии с ГОСТ [1], в структуре САПР выделяют следующие элементы:

- КСАП САПР – комплекс средств автоматизации проектирования САПР;
 - подсистемы САПР, как элемент структуры САПР, возникают при эксплуатации пользователями КСАП подсистем САПР;
 - КСАП-подсистемы САПР – совокупность ПМК, ПТК и отдельных компонентов обеспечения САПР, не вошедших в программные комплексы, объединённая общей для подсистемы функцией;
 - ПТК – программно-технические комплексы;
 - компоненты обеспечения ПТК САПР;
 - ПМК – программно-методические комплексы;
 - компоненты обеспечения ПМК САПР;
 - компоненты обеспечения САПР, не вошедшие в ПМК и ПТК.
- Совокупность КСАП различных подсистем формируют КСАП всей САПР в целом.

Примечание 3

По отраслевому назначению САПР различают [2]:

- САПР/Механика – MCAD (mechanical computer-aided design);
- САПР/ Электроника – EDA (electronic design automation) или ECAD (electronic computer-aided design);
- САПР / архитектурное проектирование и строительство – AEC CAD (*architecture, engineering and construction computer-aided design*) или CAAD (*computer-aided architectural design*);

Примечание 4

По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования [3, 4]:

- CAD (computer-aided design/drafting) – средства автоматизированного проектирования, в контексте указанной классификации термин обозначает средства САПР, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации, и САПР общего назначения;
 - CADD (computer-aided design and drafting) – проектирование и создание чертежей;
 - CAGD (computer-aided geometric design) – геометрическое моделирование;
- CAE (computer-aided engineering) – средства автоматизации инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий;
 - CAA (computer-aided analysis) – подкласс средств CAE, используемых для компьютерного анализа;
- CAM (computer-aided manufacturing) – средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудования с ЧПУ или ГАПС (гибких автоматизированных производственных систем). Русским аналогом термина является АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства;
- CAPP (computer-aided process planning) – средства автоматизации планирования технологических процессов, применяемые на стыке систем CAD и CAM.

Использованные источники:

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. Дата введения: 01.01.92. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/106/10673.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

2. **Daintith, J.** Oxford dictionary of computing (англ.) / J. Daintith. Под общ. ред. J. Daintith. – 5-е изд. – Oxford: Oxford University Press, 2004. – 597 с.

3. **Норенков, И.П.** Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов / И.П. Норенков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.

4. **Малюх, В.Н.** Введение в современные САПР: Курс лекций / В.Н. Малюх. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.

1.5. САПР/Механика (Mechanical CAD)

САПР/Механика (MCAD) – автоматизированное проектирование механических устройств. Это машиностроительные САПР, которые применяются в автомобилестроении, судостроении, авиакосмической промышленности, производстве товаров народного потребления. Включают в себя разработку деталей и сборок (механизмов) с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, технологий поверхностного и объемного моделирования [1, 2].

Примечание 1

Примерами MCAD могут служить такие программные комплексы, как SolidWorks, Autodesk Inventor, КОМПАС, CATIA, T-FLEX CAD.

Использованные источники:

1. **Daintith, J.** Oxford dictionary of computing (англ.) / J. Daintith. Под общ. ред. John Daintith. – 5-е изд. – Oxford: Oxford University Press, 2004. – 597 с.

2. **Хайдаров, К.А.** Основы компьютерного моделирования / К.А. Хайдаров. – Текст: электронный – Боровское исследовательское учреждение, Bourabai Research Institution. – URL: <http://bourabai.kz/cm/index.htm> (дата обращения: 02.02.2023).

1.6. САПР/Электроника (Electronic CAD / Electronic Design Automation)

САПР/ Электроника (ECAD / EDA) – тип систем автоматизированного проектирования (САПР) для проектирования электронных устройств, печатных узлов (плат), микросхем, радиоэлектронных средств, интегральных схем и т. п. [1].

Примечание 1

Примерами ECAD могут служить такие программные комплексы, как Altium Designer, OrCAD.

Использованные источники:

1. **Birnbaum, M.** Essential Electronic Design Automation (EDA) / M. Birnbaum. – Prentice Hall PTR/Pearson Education, 2003. – 234 с.

1.7. САПР / архитектурное проектирование и строительство (Architecture, engineering and construction computer-aided design / computer-aided architectural design)

САПР/ архитектурное проектирование и строительство (AEC CAD / CAAD) –используется для проектирования зданий, промышленных объектов, дорог, мостов и др. Архитектурно-строительные САПР используются также для проектирования зданий и дизайна интерьеров) [1].

Примечание 1

В контексте цифрового производства и управления производственными процессами, которое является важной частью концепции управления жизненным циклом изделия, AEC CAD используется для проектирования не самих изделий, а средств их производства, включая целые производственные цеха или промышленные зоны [2].

Примечание 2

Примерами AEC CAD могут служить такие программные комплексы, как Autodesk Architectural Desktop, AutoCAD Revit Architecture Suite, Bentley MicroStation, Bentley AECOSim Building Designer, Piranesi, ArchiCAD, Renga.

Использованные источники:

1. **Опарин, С.Г.** Здания и сооружения. Архитектурно-строительное проектирование: учебник и практикум для среднего профессионального образования / С. Г. Опарин, А. А. Леонтьев / Профессиональное образование. – Москва: Издательство Юрайт, 2023 – 283 с.

2. Архитектурно-строительное проектирование [Электронный ресурс] // Электронная энциклопедия PLM. URL: <http://plmpedia.ru/wiki/> (дата обращения: 02.02.2023).

1.8. Технология автоматизированного проектирования и черчения (Computer-aided design and drafting)

Технология автоматизированного проектирования и черчения (CADD) – одна из разновидностей САПР в области инженерии, занимающаяся проектированием и черчением объектов и материалов с помощью специализированного программного обеспечения, которое визуализирует проекты в виде модульных 3D-моделей. Отличие от САПР заключается в том, что САПР (CAD) используется для создания 3D-моделей с подробной документацией, такой как размеры, используемые материалы и даже детали процесса проектирования [1–2].

Примечание 1

Часто CADD рассматривается как синоним САПР и не рассматривается отдельно [1].

Примечание 2

CADD охватывает все области и отрасли, в которых САПР используется для проектирования и создания продуктов, таких как авиационная промышленность, архитектурная промышленность, гражданская промышленность, электронная промышленность и практически любая отрасль или область, требующая детального проектирования оборудования и конструкций [2].

Примечание 3

CADD также является общим названием академических курсов и сертификационных программ, которые готовят студентов и специалистов к использованию систем и программного обеспечения САПР для проектирования в различных областях.

Использованные источники:

1. **Duggal, V.** Cadd Primer: A General Guide to Computer Aided Design and Drafting-Cadd, CAD / V. Duggal. – Mailmax Pub, 2000. – 210 с.

2. Автоматизированное проектирование [Электронный ресурс] // Электронная энциклопедия PLM. URL: <http://plmpedia.ru/wiki/> (дата обращения: 02.02.2023).

1.9. Технология автоматизированного геометрического проектирования (Computer-aided geometric design)

Технология автоматизированного геометрического проектирования (CAGD) – одна из разновидностей САПР, информатика которой сосредоточена конкретно на создании геометрических фигур, которые часто используются в анимации и графическом дизайне, а также, в меньшей степени, в 3D-производстве [1].

Использованные источники:

1. **Farin, G.** Curves and Surfaces for CAGD: A Practical Guide (Morgan-Kaufmann) / G. Farin. – Elsevier Science. – 499 с.

1.10. Компьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering)

Компьютерный инжиниринг (CAE) или **наукоемкий компьютерный инжиниринг**, основанный на эффективном применении мультидисциплинарных надотраслевых инженерных систем, основанных на FEA, CFD и других современных вычислительных методах. В рамках **CAE-систем** разрабатывают и применяют рациональные математические модели, обладающие высоким уровнем адекватности реальных объектов и реальных физико-механических процессов, выполняют эффективное решение многомерных исследовательских и промышленных задач, описываемых нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных [1].

Компьютерный инжиниринг – совокупность всех компонентов, предназначенных для эффективного решения сложных научно-технических проблем путем математического и компьютерного моделирования [2].

Примечание 1

Часто FEA, CFD и MBD (Multi Body Dynamics) считают взаимодополняющими компонентами компьютерного инжиниринга

(CAE), а терминами уточняют специализацию, например, MCAE (Mechanical CAE), ECAE (Electrical CAE), AEC (Architecture, Engineering and Construction).

Использованные источники:

1. **Черепашков, А.А.** Носов Н.В. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении: Учеб. для студ. высш. учеб. Заведений / А.А. Черепашков, Н.В. Носов. – Волгоград: Издательский Дом «Ин-Фолио», 2009. – 640 с.

2. Высокотехнологичный компьютерный инжиниринг: обзор рынков и технологий / Э.Р. Абдулбариева, Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков [и др.] – СПб., Издательство Политехнического университета, 2014. – 57 с.

1.11. Автоматизированное и компьютеризированное производство (Computer Aided Manufacturing)

Автоматизированное и компьютеризированное производство (САМ) – это прикладная технология, использующая компьютерное программное обеспечение и механизмы для упрощения и автоматизации производственных процессов [1].

Примечание 1

САМ является преемником компьютерного проектирования (CAE) и часто используется в тандеме с компьютерным проектированием (CAD).

Использованные источники:

1. САМ – системы автоматизации технологической подготовки производства [Электронный ресурс] // ROI4CIO: Портал для покупателей, поставщиков и производителей ИТ. URL: <https://roi4cio.com/categories/category/cam-sistemy-avtomatizaciiitkhnologicheskoi-podgotovki-proizvodstva/> (дата обращения: 02.02.2023).

1.12. Компьютерный анализ (Computer-Aided analysis)

Компьютерный анализ (САА) – это название, данное системам анализа и оптимизации процесса проектирования, которые вместе с САПР и САМ образуют полный пакет проектирования. Применение САА в задачах приводит к сокращению времени выполнения заказа и снижению производственных затрат [1].

Использованные источники:

1. **Meguid, S.A.** Computer-Aided Analysis, Integrated Computer-Aided Design of Mechanical Systems / S. A. Meguid. – Springer Netherlands, 2011. – С. 126–161.

1.13. Система автоматизированного технологического планирования (Computer-aided process planning)

Система автоматизированного технологического планирования (САПП) – это использование компьютерных технологий для помощи в планировании процесса изготовления детали или продукта в производстве. Под планированием процесса подразумевается определение последовательности отдельных производственных операций, необходимых для производства данной детали или продукта [1].

ПРИМЕЧАНИЕ 1

САПП является связующим звеном между САД и САМ, поскольку он обеспечивает планирование процесса, который будет использоваться при производстве проектируемой детали.

Использованные источники:

1. Автоматизированное планирование технологических процессов [Электронный ресурс] // Электронная энциклопедия PLM. URL: <http://plmpedia.ru/wiki/> (дата обращения: 02.02.2023).

1.14. Компьютерная оптимизация (Computer-Aided Optimization)

Компьютерная оптимизация (САО) – система для проведения многопараметрической, многокритериальной, междисциплинарной, топологической, топографической, оптимизации размеров и формы и т. д. Применяется совместно с САПП и другими системами.

1.15. Компьютерное зрение (Computer vision)

Компьютерное зрение (или техническое зрение) – теория и технология создания машин, которые могут производить обнаружение, отслеживание и классификацию объектов [1–3].

Примечание 1

Примерами применения компьютерного зрения являются: системы управления процессами (промышленные роботы, автономные транспортные средства), системы видеонаблюдения, системы организации информации (например, для индексации баз данных изображений), системы моделирования объектов или окружающей среды (анализ медицинских изображений, топографическое моделирование), системы взаимодействия (например, устройства ввода для системы человеко-машинного взаимодействия), системы дополненной реальности [4].

Примечание 2

Наиболее распространенными задачами компьютерного зрения являются задачи распознавания, идентификации и обнаружения, а также модификации данных задач под конкретные условия.

Использованные источники:

1. **Klette, R.** Concise Computer Vision An Introduction Into Theory and Algorithms / R. Klette. – Springer London, 2014. – 429 с.
2. **Шапиро, Л.** Компьютерное зрение (Computer Vision) / Л. Шапиро, Дж. Стокман / – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
3. **Форсайт, Д.** Компьютерное зрение. Современный подход (Computer Vision: A Modern Approach.) / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: «Вильямс», 2004. – 928 с.
4. Компьютерное зрение: технологии, рынок, перспективы [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 02.02.2023).

1.16. Гибкая автоматизация производства (Flexible manufacturing systems (FMS))

Гибкая автоматизация производства (ГАП) – особенность предприятия, позволяющая оперативно и с минимальными затратами переориентировать производство на выпуск нового вида изделия, применяя средства АСУ ТП [1].

Примечание 1

Понятия и номенклатура основных показателей разъяснена в ГОСТ [2]. ГОСТ [3] подробно объясняет требования к АСУ ТП.

Примечание 2

Характеристики гибкого автоматизированного производства [1]:

- производительность – показатель, характеризующий количество или объем продукции, выпускаемой в единицу времени;
- гибкость – возможность изменения номенклатуры и выпуска нового изделия в оперативный срок с минимальными затратами;
- эффективность – показатели производства, отражающие полученный результат к использованным ресурсам.

Примечание 3

Гибкая производственная система (ГПС) – управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, которое состоит из разных сочетаний гибких производственных модулей и (или) гибких производственных ячеек, автоматизированной системы технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования [2].

Гибкая производственная ячейка (ГПЯ) (Flexible Manufacturing Cell (FMC)) – управляемая средствами вычислительной техники совокупность нескольких гибких производственных модулей и системы обеспечения функционирования, осуществляющая комплекс технологических операций, способная работать автономно и в составе гибких производственных систем при изготовлении изделий в пределах подготовленного запаса заготовок и инструмента [2].

Использованные источники:

1. Основные понятия гибкой автоматизации производства [Электронный ресурс] // ALLICS. Системы автоматизации. Поставка и внедрение. URL: <https://allics.ru/articles/basic-concepts-production-automation/> (дата обращения: 02.02.2023).

2. ГОСТ 26228-90. Системы производственные гибкие. Термины и определения. Дата введения: 01.01.1991. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294828/4294828253.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

3. ГОСТ 24.104-85. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования. Дата введения: 01.01.1987. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294848/4294848907.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

1.17. Автоматизированная система управления (Industrial Control System (ICS))

Автоматизированная система управления (АСУ) – совокупность математических методов, технических средств (ЭВМ, средств связи, устройств отображения информации и т. д.) и организационных комплексов, обеспечивающих рациональное управление сложным объектом (процессом) в соответствии с заданной целью [1].

Примечание 1

В отличие от систем автоматического управления (САУ) в автоматизированных системах управления (АСУ) в контуре управления участвует человек.

Примечание 2

АСУ состоит из основы и функциональной части. В основу входят информационное, техническое и математическое обеспечение. К функциональной части относят набор взаимосвязанных программ, автоматизирующих конкретные функции управления (планирование, финансово-бухгалтерскую деятельность и др.).

Примечание 3

Различают АСУ объектами (технологическими процессами – АСУ ТП, предприятием – АСУП, отраслью – ОАСУ) и функциональными автоматизированными системами, например, проектирования, расчетов, материально-технического и другого обеспечения.

Использованные источники:

1. **Глушков, В.М.** Введение в АСУ / В. М. Глушков. – 2 изд. – Киев: Техника, 1975. – 320 с.

1.18. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (Automated process control systems)

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) – это комплекс программных и технических средств, предназначенных для создания систем автоматизации управления технологическим оборудованием и производствен-

ными процессами на предприятиях (автоматизация производства) [1].

Примечание 1

АСУ ТП – комплексное решение, обеспечивающее автоматизацию основных технологических операций на производстве в целом или каком-то его участке, выпускающем относительно законченный продукт (промышленная автоматизация).

Примечание 2

АСУ ТП может состоять из отдельных систем автоматического управления (САУ) и комплексных устройств, объединенных единым решением для автоматизации технологических процессов с целью обеспечения максимальной эффективности решения производственных задач.

Использованные источники:

1. Что такое АСУ ТП? [Электронный ресурс] // Оптиматик – системы промышленной автоматизации. URL: <https://www.o-matic.ru/about/41-about-asu/> (дата обращения: 02.02.2023).

1.19. Система автоматического управления (Automatic control systems (ACS))

Система автоматического управления (САУ) представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для обеспечения автоматического управления отдельными агрегатами или группой оборудования, связанных единым техническим процессом [1].

Примечание 1

В отличие от автоматизированных систем управления (АСУ), в системах автоматического управления (САУ), в контуре управления не участвует человек.

Примечание 2

В зависимости от природы управляемых объектов можно выделить *биологические, экологические, экономические и технические САУ* [2].

Примечание 2

Примерами технических САУ можно назвать:

- Системы дискретного действия или автоматы (торговые, игровые, музыкальные);
- Системы стабилизации напряжения, температуры, уровня жидкости, оборотов, уровня звука, изображения или магнитной записи и др.

Использованные источники:

1. Системы автоматического управления [Электронный ресурс] // Группа компаний КОМИТА. URL: <http://comitagroup.ru/produkty-i-resheniya/avtomatizacziya/sistemy-avtomaticheskogo-upravleniya/> (дата обращения: 02.02.2023).

2. **Мирошник, И.В.** Теория управления: анализ линейных систем / И.В. Мирошник, А.А. Бобцов. – СПбГУ ИТМО, кафедра автоматике и телемеханики, 2005. – 337 с.

1.20. Компьютерно-интегрированное производство (Computer-Integrated Manufacturing)

Компьютерно-интегрированное производство (СІМ) – модель архитектуры информационных систем, в соответствии с которой все производственные процессы контролируются посредством САD- и САМ-систем [1].

СІМ реализует подход к построению производства с использованием компьютеров, управляющих всеми производственными процессами. Такая интеграция позволяет обмениваться информацией о состояниях отдельных процессов и инициировать управляющее воздействие [2].

Примечание 1

В рамках СІМ информационные системы образуют пирамиду, где системы верхнего уровня оперируют данными на относительно больших временных промежутках (объем данных минимален), а нижнего – имеют дело с большим потоком данных реального времени (объем данных максимален). Для связи систем верхнего и нижнего уровней используются промежуточные системы цехового уровня, (Production Control, или Manufacturing Execution Systems – MES) [1].

Нижний уровень модели представляют элементы сбора данных (датчики), средний – устройства с программным управлением (например, контроллеры станков с ЧПУ), затем идут автоматизированные системы диспетчерского управления SCADA, взаимодействующие с оборудованием. Над ними находятся MES-системы, собирающие данные о технологических процессах и предоставляющие информацию для ERP-систем.

Примечание 2

Задачами СИМ являются [1]:

- улучшение способа применения информационных технологий для сбора, обработки и использования информации на предприятиях с дискретным типом производства;
- устранение островков автоматизации, т.е. информационных систем, обслуживающих определенную группу пользователей, решающих локальную задачу и не взаимодействующих с иными информационными системами (например, геометрические модели, создаваемые в САПР);
- повышение производительности и конкурентоспособности предприятия.

Примечание 3

Недостатками СИМ являются:

- не учитывался человеческий фактор;
- не было четкой методологии внедрения модели;
- не удавалось правильно оценить трудозатраты на создание интеграционных решений.

Использованные источники:

1. СИМ [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 02.02.2023).

2. **Laplante, P.A.** Comprehensive dictionary of electrical engineering / P.A. Laplante. – 2nd ed. – FL: Taylor & Francis, 2005. – 758 с.

2. Системы и методы планирования на предприятиях

Планирование ресурсных потребностей производств и автоматизация системы управления и менеджмента являются неотъемлемой частью автоматизации и компьютеризации предприятий и, следовательно, практического применения цифрового инжиниринга в рамках модернизации предприятий и производств.

2.1. Логистика (Logistics)

Логистика – совокупность организационно-управленческих и производственно-технологических процессов по эффективному обеспечению организации движения материальных и иных ресурсов [1].

Примечание 1

С точки зрения практического применения, логистика – выбор наиболее эффективного варианта обеспечения товаром нужного качества, нужного количества, в нужное время, в нужном месте с минимальными затратами [2].

Примечание 2

В зависимости от специфики деятельности компании применяются различные логистические системы. Логистическая система – совокупность действий участников логистической цепи (предприятий-производителей, транспортных, торговых организаций, магазинов, и пр.), построенных таким образом, чтобы выполнялись основные задачи логистики.

Некоторые управленческие подходы и концепции, включающие логистическую составляющую или специфические логистические стратегии [3]:

- MRP (materials requirements planning),
- DRP (distribution requirements planning),
- MRP II (manufacturing resource planning),
- ERP (enterprise resource planning);
- CSRP (customer synchronized resource planning);
- EOQ-модель;
- модель с постоянной периодичностью заказа;

- ABC-анализ;
- нестационарные и стохастические модели управления запасами (Stock management).

Использованные источники:

1. **Венде, Ф.Д.** Основы логистики: Учебник / Ф.Д. Венде, Д.В. Шварц / – М.: КНОРУС, 2022. – 275 с.;
2. **Шумаев В. А.** Логистика в теории и практике управления современной экономикой / В. А. Шумаев / – М.: МУ им. С. Ю. Витте, 2014. – 212 с.;
3. **Альбеков, А.У.** Коммерческая логистика: Учебное пособие / А.У. Альбеков, О. А. Митько / – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. – 416 с.

2.2. Планирование потребностей в материалах (Manufacturing Resource Planning)

Система **планирования потребностей в материалах (MRP)**, одна из наиболее популярных в мире логистических концепций, на основе которой разработано и функционирует большое число микрологистических систем [1].

Примечание 1

MRP является предшественником более развитых систем MRP II и основой развития программных средств класса ERP. В настоящее время MRP используется в составе устаревших информационных систем предприятий.

Примечание 2

Цели MRP:

- удовлетворение потребности в материалах, компонентах и продукции для планирования производства и доставки потребителям;
- поддержка низких уровней запасов;
- планирование производственных операций, расписаний доставки, закупочных операций.

Система MRP позволяет определить, сколько и в какие сроки необходимо произвести конечной продукции. Затем система определяет время и необходимые количества материальных ресурсов для удовлетворения потребностей производственного расписания.

Примечание 3

Основные недостатки MRP-систем [2]:

- значительный объём вычислений и предварительной обработки данных;
- возрастание логистических затрат на обработку заказов и транспортировку при стремлении фирмы ещё больше уменьшить запасы МР или перейти на работу с малыми заказами с высокой частотой их выполнения;
- нечувствительность к кратковременным изменениям спроса;
- большое количество отказов из-за большой размерности системы и её сложности.

Использованные источники:

1. **Куликова, Т.А.** Производственный менеджмент: Учебник / Т.А. Куликова, С.В. Тактарова. Под ред. В. А. Козловского. – М.: Инфра-М., 2003. – 574 с.;
2. **Гаврилов, Д.А.** Управление производством на базе стандарта MRP II. / Д.А. Гаврилов. –2-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 416 с.

***2.3. Планирование потребностей в материалах
(Manufacturing Resource Planning)***

Стратегия производственного планирования, обеспечивающая как операционное, так и финансовое планирование производства. Обеспечивает более широкий охват ресурсов предприятия, нежели предшествующая ей идеологически стратегия MRP. **Планирование потребностей в материалах (MRP II)** задаёт принципы детального планирования производства предприятия, включая учёт заказов, планирование загрузки производственных мощностей, планирование потребности во всех ресурсах производства (материалы, сырьё, комплектующие, оборудование, персонал), планирование производственных затрат, моделирование хода производства, его учёт, планирование выпуска готовых изделий, оперативное корректирование плана и производственных заданий [1].

Примечание 1

В отличие от MRP, в системе MRP II производится планирование не только в материальном, но и в денежном выражении (MRP II // Gartner IT Glossary). MRP II реализуется не только внедрением

прикладных программных пакетов, но и внедрением управленческих практик, требующих поддержания точности информационных баз данных организации и достаточности вычислительных ресурсов. Развитием MRP II считается стратегия ERP.

Примечание 2

MRP II не привязана к конкретному проприетарному программному обеспечению и поэтому может при внедрении принимать различные формы. Внедрённая на предприятии система MRP II может быть основана на приобретенном лицензионном или собственном программном обеспечении или различных его комбинациях.

Примечание 3

Преимуществами MRP II являются:

- лучший контроль запасов;
- улучшенное планирование;
- продуктивные отношения с поставщиками.

Для проектирования / инжиниринга:

- улучшенный контроль дизайна;
- лучшее качество и контроль качества.

Использованные источники:

1. MRP II (manufacturing Resource Planning) [электронный ресурс] // Gartner IT Glossary. URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary> (дата доступа: 10.03.2023).

2.4. Планирование ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning)

Планирование ресурсов предприятия (ERP) – организационная стратегия интеграции производства и операций, управления трудовыми ресурсами, финансового менеджмента и управления активами, ориентированная на непрерывную балансировку и оптимизацию ресурсов предприятия посредством специализированного интегрированного пакета прикладного программного обеспечения, поддерживающего общую модель данных и процессов для всех сфер деятельности [1–2]. ERP-система – конкретный программный пакет, реализующий стратегию ERP.

Примечание 1

Модульный принцип организации позволяет внедрять ERP-системы поэтапно, последовательно переводя в эксплуатацию один или несколько функциональных модулей, а также выбирать только те из них, которые актуальны для организации. Кроме того, модульность ERP-систем позволяет строить решения на основе нескольких ERP-систем, выбирая из каждой лучшие в своём классе модули (best-of-breed). Разбивка по модулям и их группировка различная, но у большинства основных поставщиков выделяются группы модулей: финансы, персонал, операции [3].

Примечание 2

Модули операционного блока покрывают деятельность организации по созданию продуктов и услуг и необходимые функции по обеспечению этих процессов. Если кадровые и финансовые модули достаточно универсальны для различных организаций, то многие операционные модули более специфичны для различных отраслей, так как подходы к преобразованию ресурсов в разных отраслях существенно отличаются. В большинстве систем сформировались следующие группы операционных модулей [4]:

- Логистические: снабжение, управление взаимоотношениями с поставщиками, управление цепочками поставок и транспортировкой, управление запасами, складами, инвентаризацией.
- Производственные: управление спецификациями (Bill of materials; в дискретных производствах) и рецептурами (в процессных производствах (Process manufacturing; в химических, металлургических, пищевых и ряде других), производственное планирование, учёт продукции, управление производственными программами.
- Обеспечивающие: управление техническим обслуживанием и ремонтами оборудования, планирование мощностей, управление транспортом.
- Сбытовые: ценообразование, обработка и конфигурирование заказов, продажи, послепродажное обслуживание.

Отдельные функции операционного блока зачастую выносятся в специализированные программные продукты и фигурируют как выделенные классы прикладного программного обеспечения, таковыми являются ЕАМ для технического обслуживания и ремонтов,

CRM для продаж и дистрибуции, PLM для управления спецификациями, APS и MES для управления производством.

Использованные источники:

1. The Gartner Glossary of Information Technology Acronyms and Terms. [электронный ресурс]. URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary> (дата доступа: 10.03.2023).

2. Enterprise Resource Planning (ERP) [Электронный ресурс] // S-ERP. Industry 4.0. URL: <https://s-erp.ru/product/s-erp/> (дата обращения: 02.02.2023);

3. ERP-система [Электронный ресурс] // Systems Engineering Thinking Wiki. URL <http://sewiki.ru/> (дата обращения: 02.02.2023);

4. **Васильева, Ю.В.** Планирование производственных ресурсов (MRP II) и планирование потребностей предприятия (ERP) / Ю.В. Васильева // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. – 2015. – № 32. – С. 46–50.

2.5. Управление цепями поставок (Supply Chain Management)

Управление цепями поставок (SCM) – управленческая концепция и организационная стратегия, заключающаяся в интегрированном подходе к планированию и управлению всем потоком информации о сырье, материалах, продуктах, услугах, возникающих и преобразующихся в логистических и производственных процессах предприятия, нацеленном на измеримый совокупный экономический эффект (снижение издержек, удовлетворение спроса на конечную продукцию) [1].

Примечание 1

Система управления цепями поставок (SCM-система) – прикладное программное обеспечение, предназначенное для автоматизации и управления всеми этапами снабжения предприятия и для контроля всего товародвижения: закупку сырья и материалов, производство, распространение продукции. Существуют самостоятельные тиражируемые SCM-системы, решения, реализуемые как составная часть ERP-систем, а также уникальные системы, создаваемые для конкретного предприятия.

Использованные источники:

1. **Шапиро, Дж.** Моделирование цепи поставок / Дж. Шапиро. – СПб.: Питер, 2006. – 720 с.

2.6. Система управления складом (Warehouse Management System (WMS))

Система управления складом (СУС) – информационная система, обеспечивающая автоматизацию управления бизнес-процессами складской работы предприятия [1].

Примечание 1

Внедрение системы управления складом имеет экономический смысл везде, где осуществляется хранение, учет и перемещение любых единиц хранения. Внедрение СУС позволяет [1]:

- организовать эффективное размещение и хранение продукции;
- более эффективно управлять приемом и отгрузкой товаров, ускорить; формирование партий товаров, безошибочно подготавливать отгрузки;
- упростить выполнение всех функций, устранить малоэффективную бумажную рутину, повысить качество и контролируемость работы складского персонала;
- ускорить и упростить получение информации о количестве и расположении товара; минимизировать работы по инвентаризации склада;
- более эффективно использовать площадь склада.

Использованные источники:

1. WMS система управления складом, WMS логистика, внедрение [Электронный ресурс] // Logists. URL: <https://logists.by/logistics/warehouse-logistics/wms-sistema> (дата обращения: 02.02.2023).

2.7. Система диспетчерского управления и сбора данных (Supervisory Control And Data Acquisition)

Система диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) – программный пакет, предназначенный для разработки

или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления [1]. **Основное предназначение SCADA-систем** – непрерывный мониторинг работы автоматизированных объектов и создание возможности своевременно реагировать на неполадки прямо с диспетчерского кресла [2].

Примечание 1

Иногда SCADA-системы комплектуются дополнительным ПО для программирования промышленных контроллеров. Такие SCADA-системы называются интегрированными и к ним добавляются термин *SoftLogic*.

Примечание 2

SCADA-системы решают следующие задачи [2]:

- обмен данными с «устройствами связи с объектом» (то есть с промышленными контроллерами и платами ввода-вывода) в реальном времени через драйверы;
- обработка информации в реальном времени;
- логическое управление;
- отображение информации на экране монитора в удобной и понятной для человека форме;
- ведение базы данных реального времени с технологической информацией;
- аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями;
- подготовка и генерирование отчетов о ходе технологического процесса;
- осуществление сетевого взаимодействия между SCADA ПК;
- обеспечение связи с внешними приложениями (СУБД, электронные таблицы, текстовые процессоры и т. д.).

В системе управления предприятием такими приложениями чаще всего являются приложения, относимые к уровню MES. SCADA-системы позволяют разрабатывать АСУ ТП как автономные приложения, а также в клиент-серверной или в распределённой архитектуре.

Примечание 3

Особенности процесса управления в SCADA-системах [2]:

- В системах SCADA обязательно наличие человека (оператора, диспетчера).
- Любое неправильное воздействие может привести к отказу объекта управления или даже катастрофическим последствиям.
- Диспетчер несет, как правило, общую ответственность за управление системой, которая при нормальных условиях только изредка требует подстройки параметров для достижения оптимального функционирования.
- Большую часть времени диспетчер пассивно наблюдает за отображаемой информацией. Активное участие диспетчера в процессе управления происходит нечасто, обычно в случае наступления критических событий – отказов, аварийных и нестандартных ситуаций и пр.
- Действия оператора в критических ситуациях могут быть жестко ограничены по времени (несколькими минутами или даже секундами).

Использованные источники:

1. **Реймген, Ю.Э.** Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Scada система / Ю.Э. Реймген // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 8. – С. 386–393.
2. SCADA Supervisory Control And Data Acquisition [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 02.02.2023).

2.8. Система управления производством (Manufacturing Execution System)

Система управления производством (MES) – Специализированное прикладное программное обеспечение, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства [1]. **MES-системы** относятся к классу систем управления уровня цеха, но могут использоваться и для интегрированного управления производством на предприятии в целом. Формируя функциональный уровень между системой планирования ресурсов предприятия

(ERP) и системой управления процессами, **MES** предоставляет лицам, принимающим решения, необходимые данные для повышения эффективности работы цехов и оптимизации производства [2].

Примечание 1

Среди основных задач MES выделяются [2]:

- активация производственных мощностей на основе детального пооперационного планирования производства;
- отслеживание производственных мощностей;
- сбор информации, связанной с производством, от систем автоматизации производственного процесса, датчиков, оборудования, персонала, программных систем;
- отслеживание и контроль параметров качества;
- обеспечение персонала и оборудования информацией, необходимой для начала процесса производства;
- установление связей между персоналом и оборудованием в рамках производства;
- установление связей между производством и поставщиками, потребителями, инженерным отделом, отделом продаж и менеджментом;
- реагирование на требования по номенклатуре производства, изменение компонентов, сырья и полуфабрикатов, применяемых в процессе производства, изменение спецификации продуктов, доступность персонала и производственных мощностей;
- гарантирование соответствия применимым юридическим актам (например нормам FDA в США);
- соответствие вышеперечисленным индустриальным стандартам.

Примечание 2

В 1997 году Международная ассоциация производителей и пользователей решений для производственных предприятий (MESA) определила 11 основных функций системы управления производством. Хотя модель MESA-11 со временем претерпела изменения, эти 11 функций служат основой для управления предприятием практически любого типа и являются неотъемлемой частью современных систем управления производством [3]. К ним относятся следующие.

- Распределение и состояние ресурсов. Используются данные реального времени для отслеживания и анализа состояния ресурсов, включая оборудование, материалы и персонал, и вносите нужные корректировки в распределение.

- Планирование операций и точное календарное планирование. Оптимизируется производительность путем составления расписания, определения сроков и последовательности действий на основе приоритетов и доступности ресурсов.

- Диспетчеризация производственных единиц. Управляют потоком производственных данных в режиме реального времени, оперативно внося просчитанные корректировки в диспетчеризацию производственного процесса;

- Управление документами. Управление документацией и распространение документов, включая рабочие инструкции, чертежи, стандартные операционные процедуры, записи о партиях и многое другое, обеспечение их доступности и возможности редактирования.

- Сбор и получение данных. Отслеживание и сбор в реальном времени данных о процессах, материалах и операциях – и использование их для принятия более взвешенных решений и повышения эффективности.

- Управление трудовыми ресурсами. Контроль графиков, квалификации и полномочий работников, оптимизация управления трудовыми ресурсами при меньших затратах времени и сил со стороны руководства.

- Управление качеством. Отслеживание отклонений по качеству и исключительных ситуаций для более эффективного управления контролем качества и ведения документации.

- Управление процессом. Управление всем производственным процессом, от выпуска заказа до готовой продукции. Получение представления о узких местах и факторах, влияющих на качество обеспечения полной отслеживаемости производства.

- Управление техническим обслуживанием. Использование данных из MES для выявления потенциальных проблем с оборудованием до их возникновения, а также для корректировки графиков технического обслуживания оборудования, инструментов и станков с целью сокращения времени простоя и повышения эффективности.

- Отслеживание продукции и генеалогия. Отслеживание динамики продуктов и их генеалогию для принятия информированных решений. Наличие данных о полной истории продукта чрезвычайно полезно для производителей, которые должны соблюдать государственные или отраслевые предписания.

- Анализ производительности. Сравняются результаты с целями для выявления сильных и слабых сторон всего процесса и используются эти данные для повышения производительности систем.

Использованные источники:

1. MES – система управления производственными процессами [Электронный ресурс] // ROI4CIO: Портал для покупателей, поставщиков и производителей ИТ. URL: <https://roi4cio.com/categories/category/mes-sistema-upravlenija-proizvodstvennymi-processami/> (дата обращения: 02.02.2023).

2. Загидуллин, Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP./ Р.Р. Загидуллин. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 372 с.

3. Что такое система управления производством (MES)? [Электронный ресурс] // SAP Discrete.Meetup. URL: <https://www.sap.com/cis/insights/what-is-mes-manufacturing-execution-system.html> (дата обращения: 02.02.2023).

2.9. Collaborative Manufacturing Execution System

Разработка модели **Collaborative Manufacturing Execution System (c-MES)** была вызвана тем фактом, что при управлении процессными производствами и цепочками поставок надёжный обмен информацией между несколькими системами необходим гораздо чаще, чем обмен между несколькими уровнями одной системы [1]. В предыдущем поколении MES основное внимание уделялось обеспечению информацией пользователей из числа оперативного персонала, таких как диспетчеры, операторы или менеджеры [2]. Для совместного использования информации с другими была разработана модель c-MES. Она дает возможность получить полную картину происходящего, необходимую для принятия решений. В частности, при управлении цепочками поставок и принятии решений c-MES предоставляет информацию о возможностях производ-

ства («что»), производительности («сколько»), расписании («когда») и качестве («доступный уровень»).

Примечание 1

Функции c-MES [2]:

- RAS (Resource Allocation and Status) – контроль состояния и распределение ресурсов;
- DPU (Dispatching Production Units) – диспетчеризация производства (координация изготовления продукции);
- DCA (Data Collection/Acquisition) – сбор и хранение данных;
- LUM (Labor/User Management) – управление людскими ресурсами;
- QM (Quality Management) – управление качеством;
- PM (Process Management) – управление процессами производства;
- PTG (Product Tracking & Genealogy) – отслеживание и генеалогия продукции;
- PA (Performance Analysis) – анализ эффективности.

Использованные источники:

1. C-MES – Collaborative Manufacturing Execution System – Одна из моделей системы оперативного управления производством [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 02.02.2023).

2. Кратко о том, что такое MES-системы. [Электронный ресурс] // MEScenter. MES-Конференция 2011 года. URL: <http://www.mescenter.ru/index.php/home/30-whatismes> (дата обращения: 02.02.2023).

2.10. Ведомость материалов (Bill of Materials)

Ведомость материалов (BM / BOM) – номенклатурный перечень материалов и их количества для производства некоторого узла или конечного изделия [1]. Самые сложные варианты **BOM**, которые обычно создаются с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР), включают в себя технические чертежи изделия и описания местоположения деталей.

Примечание 1

Цели использования ВОМ зависят от отрасли применения [2]:

- На производстве ведомости обычно отражают процесс сборки деталей или компонентов. Расходные материалы, такие как клейкая лента, краска, масло или чернила, обычно не отражаются в ВОМ на производстве. Ведомости используются в первую очередь для обеспечения стабильной работы производственных потоков от сырья и заготовок до конечного продукта.

- В розничной торговле ВОМ часто соответствуют пакетам, наборам или упаковкам. Они являются отражением механизма ценообразования, который призван увеличить размеры покупок путем предоставления клиентам скидок, когда они приобретают много товаров. Иногда пакеты применяются исключительно для удобства: например, игрушки продаются вместе с батарейками. В таких ситуациях ведомости материалов могут оставаться совершенно абстрактным явлением.

- При восстановлении или обслуживании оборудования в ведомости содержатся материалы, которые могут понадобиться для проведения ремонтных работ. В подобных ситуациях в ВОМ указывается максимальное количество материалов, которое может понадобиться. Как правило, для ремонта компонентов требуется лишь часть материалов, указанных в ведомости (в зависимости от состояния детали), однако точное количество обычно становится известно лишь по окончании работ.

Примечание 2

Многоуровневая ведомость материалов – это ВОМ, в которой элементы списка могут иметь собственные ведомости. Многоуровневые ВОМ, по сути, являются рекурсивными. Может показаться, что многоуровневые ведомости сложнее, но, на самом деле, обычно ПО, где используются ВОМ, поддерживает и многоуровневые ведомости, хоть иногда и «случайным образом». Если ведомости уже используются в цифровой системе, то, как правило, ничто не мешает сотрудникам, занимающимся цепями поставок, создавать в системе виртуальные компоненты, у которых будут собственные ведомости. Виртуальные компоненты могут использоваться исключительно для представления многоуровневых ВОМ, если система не позволяет работать с ними иным образом [2].

Использованные источники:

1. BOM [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 02.02.2023).

2. Ведомость материалов (BOM) [Электронный ресурс] // LOKAD Quantitative Supply Chain. URL: <https://www.lokad.com/> (дата обращения: 02.02.2023).

2.11. Спецификация процедур (Bill of Services)

Спецификация процедур (BOS) – документ, описывающий последовательность действий при выполнении процедуры [1].

Примечание 1

BOS предназначен для поддержки сервисных организаций в развитии своих услуг и планировании ресурсов для удовлетворения целевого уровня обслуживания, установленного руководством. BOS позволяет руководству рассчитать уровень затрат ресурсов, необходимых для удовлетворения спроса на любую категорию услуг в организации. BOS также может поддерживать руководство на этапе переговоров с потенциальными клиентами путем тестирования различных вариантов обслуживания [1].

Использованные источники:

1. **Gad, V.** Bill of Services (BOS): A Managing Tool for Service Organizations / V. Gad // International Journal of Information Systems in the Service Sector. – №7(2). – 2015. –19 с. – DOI: 10.4018/ijiss.2015040102.

2.12. Спецификация процессов (Bill of Process)

Спецификация процессов (СП / BOP) используется для описания функционирования процесса и, фактически, представляют собой алгоритмы описания задач, выполняемых процессами [1].

Примечание 1

Множество всех спецификаций процессов образуют полную спецификацию системы.

Использованные источники:

1. Методы задания спецификация процессов [Электронный ресурс] // Энциклопедия по машиностроению XXL. Оборудование, материаловедение, механика и ... Технологии. URL: <https://mash-xxl.info/article/433896/> (дата обращения: 02.02.2023).

2.13. Управление процессами (Process Control)

Функция поддержания процесса в рабочем состоянии в рамках данного уровня способностей и производственных возможностей [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р ИСО 15531-1-2008. Промышленные автоматизированные системы и интеграция. Данные по управлению промышленным производством. Дата введения 01.01.2010. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/483/48372.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

3. Модели и моделирование

С учетом возрастания требований к точности моделирования процессов целых организаций, возникает потребность в модернизации методов создания подобных моделей. Такое требование справедливо не только по отношению к моделям предприятий и систем управления, но и к моделированию отдельных изделий и продуктов.

3.1. Модель (Model)

Сущность, воспроизводящая явление, объект или свойство объекта реального мира [1].

Примечание 1

Термином моделирование обозначают как построение (создание) моделей, так и их исследование. Одним и тем же системам могут быть сопоставлены несколько моделей разных видов.

Примечание 2

Моделирование всегда предполагает принятие допущений той или иной степени важности. При этом должны удовлетворяться следующие требования к моделям [2]:

- адекватность, т.е. соответствие модели исходной реальной системе и учёт, прежде всего, наиболее важных качеств, связей и характеристик;
- точность, т.е. степень совпадения полученных в процессе моделирования результатов с заранее установленными, желаемыми;
- универсальность, т.е. применимость модели к анализу ряда однотипных систем в одном или нескольких режимах функционирования;
- целесообразная экономичность, т.е. точность получаемых результатов и общность решения задачи должны увязываться с затратами на моделирование.

Выбор модели и обеспечение точности моделирования считается одной из самых важных задач моделирования.

Примечание 3

По способу отображения действительности различают три основных вида моделей – эвристические (описание ведётся словами естественного языка), натурные (отличительной чертой этих моделей является их подобие реальным системам) и математические (представляют собой совокупность взаимосвязанных математических и формально-логических выражений, как правило, отображающих реальные процессы и явления).

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57188–2016. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. Термины и определения. Дата введения: 01.05.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750870.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

2. **Майер, Р.В.** Компьютерное моделирование: моделирование как метод научного познания. Компьютерные модели и их виды / Р.В. Майер. – Научный электронный архив. URL: <http://econf.rae.ru/article/6722> (дата обращения: 02.02.2023).

3.2. Объект моделирования (*Simulation object*)

Объектом моделирования считают любой предмет, процесс или явление, которые изучаются с помощью методов моделирования. При изучении объекта учитывают только те свойства, которые необходимы для достижения цели. Выбор необходимых свойств объекта при построении модели является наиболее важным моментом на первых этапах моделирования.

3.3. Адекватность модели (*Goodness of fit*)

Совпадение свойств (функций/параметров/характеристик и т. п.) модели и соответствующих свойств моделируемого объекта. Адекватностью называется совпадение модели моделируемой системы в отношении цели моделирования.

Соответствие модели моделируемому изделию (процессу, явлению) по обоснованному перечню характеристик [1].

Примечание 1

Оценка адекватности модели – проверка соответствия модели реальной системе. Оценка адекватности модели реальному объекту оценивается по близости результатов расчетов экспериментальным данным [2].

Два основных подхода к оценке адекватности:

1) по средним значениям откликов модели и системы (проверяется гипотеза о близости средних значений каждого n -ого компонента откликов модели Y_n известным средним значениям n -го компонента откликов реальной системы);

2) по дисперсиям отклонений откликов модели от среднего значения откликов систем. Сравнение дисперсии проводят с помощью критерия F , критерия Колмогорова-Смирнова (при малых выборках, известны средняя и дисперсия совокупности), Кохрена и др.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57412-2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. Дата введения: 01.07.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293747/4293747283.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

2. **Huber-Carol C.** Goodness-of-Fit Tests and Model Validity / C. Huber-Carol, N. Balakrishnan, M. S. Nikulin, M. Mesbah [и др.]. – Birkhäuser Boston, 2012. – 507 с.

3.4. Аспект моделирования (*Modeling aspect*)

Отдельное свойство или совокупность свойств объекта моделирования, являющихся предметом исследования с помощью моделирования [1].

Примечание 1

Аспектами моделирования могут быть внешний вид, структура, поведение объекта моделирования, а также все их возможные комбинации.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

3.5. Математическая модель (*Mathematical model*)

Математическая модель – это приближённое описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное математическими символами [1]. Модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений [2].

Примечание 1

Математическим моделированием называют как саму деятельность, так и совокупность принятых приёмов и техник построения и изучения математических моделей [3].

Примечание 2

Формальная классификация моделей основывается на классификации используемых математических средств [4]:

- линейные или нелинейные модели;
- сосредоточенные или распределённые системы;
- детерминированные или стохастические;
- статические или динамические;
- дискретные или непрерывные.

Наряду с формальной классификацией модели различают по способу представления объекта:

- структурные модели;
- функциональные модели.

По содержательности математические модели классифицируют на следующие типы [5]:

- гипотеза;
- феноменологическая модель;
- приближение;
- упрощение;
- эвристическая модель;
- аналогия;
- мысленный эксперимент;
- демонстрация возможности.

Примечание 3

Традиционно выделяют два основных класса задач, связанные с математическими моделями: прямые и обратные.

Прямая задача: структура модели и все её параметры считаются известными, главная задача – провести исследование модели для извлечения полезного знания об объекте.

Обратная задача: известно множество возможных моделей, надо выбрать конкретную модель на основании дополнительных данных об объекте.

Примечание 4

Примерами математических моделей являются:

- модель Мальтуса (согласно модели, предложенной Мальтусом, скорость роста пропорциональна текущему размеру популяции, т.е. описывается предложенным дифференциальным уравнением);
- модель Бонхёффера – ван дер Поля;
- система хищник–жертва.

Использованные источники:

1. **Прохоров, Ю.В.** Математический энциклопедический словарь / Ю.В. Прохоров. Под ред. Прохорова Ю.В. – М.: Сов. энциклопедия, 1988. – 847 с.
2. ГОСТ Р 57412-2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. Дата введения: 01.07.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293747/4293747283.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).
3. A mathematical representation of reality / Encyclopaedia Britannica. – Encyclopaedia Britannica, 1973.
4. **Gorban, A.N.** Model Reduction and Coarse-Graining Approaches for Multiscale Phenomena / Alexander N. Gorban, Nikolas Kazantzis, I.G. Kevrekidis, Hans Christian Öttinger, Konstantinos Theodoropoulos. – Springer Science & Business Media, 2006. – 562 с.
5. **Горбань, А.Н.** Демон Дарвина: Идея оптимальности и естественный отбор / А. Н. Горбань, Р. Г. Хлебопрос. – М: Наука. Гл ред. физ.-мат. лит., 1988. – 207 с.

3.6. Математическое моделирование

Mathematical modeling

Исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей [1].

Математическим моделированием называют как саму деятельность, так и совокупность принятых приёмов и техник построения и изучения математических моделей [2].

Примечание 1

Процесс математического моделирования можно разделить на пять этапов [1]:

- первый – формулирование законов, связывающих основные объекты модели;
- второй – исследование математических задач, к которым приводит математическая модель;
- третий – верификация модели;
- четвертый – валидация модели;
- пятый – последующий анализ модели в связи с накоплением данных об изучаемых явлениях и модернизация модели.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57188— 2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. Дата введения: 01.05.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750870.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).
2. A mathematical representation of reality. / Encyclopaedia Britannica. – Encyclopaedia Britannica, 1973.

3.7. Чувствительность математической модели (Sensitivity of mathematical model)

Чувствительность математической модели – степень зависимости решения математической модели от начальных условий и определяющих параметров [1]. Ее можно определить как способность модели реагировать определенным образом на определенное малое воздействие, а также количественная характеристика этой способности [2].

Примечание 1

Если при незначительном изменении начальных условий и/или определяющих параметров решение меняется существенно, то чувствительность модели велика. Большая чувствительность математической модели в общем случае вызывает сомнения в соответствии математической модели исследуемому явлению [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57188–2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. Дата введения: 01.05.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750870.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

2. **Досымова, М.В.** Анализ чувствительности и устойчивости линейной математической модели процесса обучения / М.В. Досымова. Известия Алтайского гос. ун-та. – 2014. – № 1(81).

3.8. 3D-моделирование (3D Simulation / 3D Modelling)

Процесс создания трёхмерной модели объекта. При этом модель может как соответствовать объектам из реального мира, так и быть полностью абстрактной [1].

Примечание 1

Задача 3D-моделирования – разработать зрительный объёмный образ желаемого объекта [1].

Примечание 2

Результат 3D-моделирования (трёхмерная графика) активно применяется для создания изображений на плоскости экрана или листа печатной продукции в науке и промышленности, например, в системах автоматизации проектных работ (САПР; для создания твердотельных элементов: зданий, деталей машин, механизмов), архитектурной визуализации (сюда относится и так называемая «виртуальная археология»), в современных системах медицинской визуализации и др.

Примечание 3

Для получения трёхмерного изображения на плоскости требуются следующие шаги:

- моделирование – создание трёхмерной математической модели сцены и объектов в ней;

- текстурирование – назначение поверхностям моделей растровых или процедурных текстур (подразумевает также настройку свойств материалов – прозрачность, отражения, шероховатость и пр.);
- освещение – установка и настройка источников света;
- анимация (в некоторых случаях) – придание движения объектам;
- динамическая симуляция (в некоторых случаях) – автоматический расчёт взаимодействия частиц, твёрдых/мягких тел и пр. с моделируемыми силами гравитации, ветра, выталкивания и др., а также друг с другом;
- рендеринг (визуализация) – построение проекции в соответствии с выбранной физической моделью;
- композитинг (компоновка) – доработка изображения;
- вывод полученного изображения на устройство вывода – дисплей или специальный принтер.

Примечание 4

Наиболее популярными пакетами сугубо для моделирования являются:

- Pixologic Zbrush;
- Autodesk Mudbox, Autodesk 3Ds Max;
- Robert McNeel & Assoc. Rhinoceros 3D;
- Trimble SketchUp;
- Blender;
- Компас (САПР);
- Cinema4D.

Примечание 5

Понятие «Multi-D проектирование» – инновационная технология планирования и управления сооружением АЭС, развиваемая в ОАО НИАЭП Госкорпорации «Росатом». К 3D модели объекта добавляются: временная составляющая проектирования и строительства, документооборот, материалы и логистика [2].

Использованные источники:

1. **Ли, Дж.** Трёхмерная графика и анимация / Дж. Ли, Б. Уэр. – 2-е изд. М.: Вильямс, 2002. – 640 с.

2. Высокотехнологичный компьютерный инжиниринг: обзор рынков и технологий / Э.Р. Абдулбариева, Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков [и др.] – Санкт-Петербург, Издательство Политехнического университета, 2014. – 57 с.

3.9. Геометрические размеры и допуски (Geometric Dimensioning and Tolerancing)

Геометрические размеры и допуски (GD&T) представляют собой язык символов, используемый в инженерном черчении и компьютерных трехмерных моделях для явного описания номинальных геометрических размеров и допустимых отклонений от них [1].

Примечание 1

Система GD&T используется для сообщения производственному персоналу и машинам, какая степень точности требуется для каждой контролируемой функции детали. GD&T используется для определения номинальной (теоретически идеальной) геометрии деталей и сборок, для определения допустимого отклонения формы и возможного размера отдельных элементов, а также для определения допустимого отклонения между элементами [2].

Спецификации размеров определяют номинальную, смоделированную или предполагаемую геометрию.

Примечание 2

Одним из стандартов **GD&T** является Американское общество инженеров-механиков (ASME) Y14.5. Другие стандарты, например, стандарты Международной организации по стандартизации (ISO), описывают другую систему с совершенно другими правилами интерпретации (GPS&V) [2].

Использованные источники:

1. Геометрические размеры и допуски [Электронный ресурс] // PLM-pedia Электронная энциклопедия PLM. URL: <http://plmpedia.ru/wiki> (дата обращения: 02.02.2023).

2. **Henzold, G.** Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection (2nd ed.) / Georg Henzold. – UK: Elsevier Science, 2006. – 416 с.

3.10. Цифровая модель изделия (Digital product model)

Система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний по ГОСТ [1] выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям.

Цифровая модель должна описывать структуру, функциональность и поведение разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на тех стадиях жизненного цикла, которые установлены в соответствующих технических заданиях [2].

Примечание 1

Цифровая модель организации (*Digital model of organization*) – система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов, описывающая деятельность организации, включая её бизнес-архитектуру и ИТ-архитектуру.

Использованные источники:

1. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. Дата введения: 01.01.1982. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294851/4294851950.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).
2. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).
3. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration. Digital twin framework for manufacturing. Part 1: Overview and general principles. Дата введения: 01.10.2021. URL: <https://cdn.standards.itech.ai/samples/75066/ec0a1c59176e488887873acda6b7ecd9/ISO-23247-1-2021.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

3.11. Численная расчетная модель (Numerical simulation model)

Численная расчетная модель (ЧРМ) – численная модель, воспроизводящая реальный объект и позволяющая провести расчет процесса его ударного нагружения [1].

Примечание 1

ЧРМ должна включать в себя математическую модель объекта моделирования, начальные и граничные условия, дискретизацию математической модели и модели поведения материала (МПМ) [1].

Использованные источники:

1) ГОСТ Р 57700.7 – 2018. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ Процессы ударного взаимодействия. Термины и определения. Дата введения: 01.01.2019. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293738/4293738992.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

3.12. Численное моделирование
(Numerical simulation, Simulation)

Моделирование поведения динамических рабочих процессов в заданных условиях путем получения численного решения уравнений математической модели с целью решения задачи оптимизации по заданным критериям существующего или планируемого процессного управления социотехнической системы [1].

Моделирование поведения объекта, процесса, явления путем получения численного решения уравнений математической модели [2].

Примечание 1

Численное моделирование подразумевает создание математической модели движения изучаемой системы и дальнейшее её исследование с использованием численных методов, которые реализуются на компьютере.

Примечание 2

Прямое численное моделирование (*Direct Numerical Simulation (DNS)*) – один из методов численного моделирования течений жидкости или газа. Метод основан на численном решении системы уравнений Навье–Стокса и позволяет моделировать в общем случае движение вязких сжимаемых газов с учётом химических реакций, притом как для ламинарных, так и, несмотря на многочисленные споры, турбулентных случаев.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.3–2017. Численное моделирование динамических рабочих процессов в социотехнических системах. Термины и определе-

ния. Дата введения: 01.05.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/645/64515.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

2. ГОСТ Р 57188–2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. Дата введения: 01.05.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750870.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

3.13. Численное решение (Numerical solution)

Результат решения уравнений математической модели численным методом [1].

Примечание 1

Численное решение уравнений и их систем состоит в приближённом определении корней уравнения или системы уравнений и применяется в случаях, когда точный метод решения неизвестен или трудоёмок [2].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57188–2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. Дата введения: 01.05.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750870.pdf> (дата обращения: 10.03.2023);

2. **Амосов, А.А.** Вычислительные методы для инженеров / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.П. Копченова. – М.: Мир, 1998. – 575 с.

3.14. Численный метод (Numerical method)

Представление математической модели в форме алгоритма, который может быть реализован в виде компьютерной программы [1].

ПРИМЕЧАНИЕ 1

Основами для вычислительных методов являются [2]:

- решение систем линейных уравнений;
- интерполирование и приближённое вычисление функций;
- численное интегрирование;
- численное решение системы нелинейных уравнений;
- численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений;

- численное решение уравнений в частных производных (уравнений математической физики);
- решение задач оптимизации.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57188–2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. Дата введения: 01.05.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750870.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

2. Березин, И.С. Методы вычислений (2 тома). Том 1. / И.С. Березин, Н.П. Жидков. – М.: Наука, 1962. – 464 с.

3.15. Информационная модель (Information model)

Информационная модель – модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде совокупности элементов данных и отношений между ними [1]. Модель объекта, представленная в виде информации, описывающей существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины объекта, связи между ними, входы и выходы объекта и позволяющая путём подачи на модель информации об изменениях входных величин моделировать возможные состояния объекта [2].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57412–2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. Дата введения: 01.07.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293747/4293747283.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

2. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Дата введения: 01.01.1992. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/106/10673.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

3.16. Информационная модель строительного объекта (Building Information Model)

Информационная модель строительного объекта (BIM) – это объектно-ориентированная модель строительного объекта или комплекса строительных объектов, как правило, в трёхмерном ви-

де, с элементами которой связаны данные геометрических, физических и функциональных характеристик строительного объекта [1].

Примечание 1

BIM может также обозначаться, как «информационная модель стройки» и «информационная модель здания». Также в российской практике используется термин-аналог «цифровая информационная модель».

Примечание 2

Цель создания такой модели – принятие решений в строительном проекте, как на этапе создания такой модели, так и на последующих этапах жизненного цикла объекта.

Примечание 3

Информационное моделирование строительных объектов – это процесс создания и изменения информации о строительных объектах. Одним из ключевых результатов этого процесса является информационная модель строительного объекта, или цифровое описание особенностей построенного объекта. Модель используется для совместной работы и обновляется на ключевых этапах проекта [2].

Использованные источники:

1. Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States [Электронный ресурс] National BIM Standard – United States. URL: <https://nationalbimstandard.org/faqs#faq1> (дата обращения: 02.02.2023).

2. **Eastman Chuck** BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (2nd ed.) / Chuck Eastman, Paul Tiecholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston. – Hoboken, New Jersey: John Wiley. – 2011. – С. 36–37.

3.17. Компьютерная модель (Computer model)

Компьютерная модель – модель, выполненная в компьютерной (вычислительной) среде и представляющая собой совокупность данных и программного кода, необходимого для работы с данными [1]. Компьютерная программа, которая работает на отдельном компьютере, суперкомпьютере или множестве взаимодействующих

компьютеров (вычислительных узлов), реализующая абстрактную, т.е. информационную модель некоторой системы.

Примечание 1

Также распространён термин-аналог «электронная модель».

Примечание 2

На данный момент компьютерные модели являются широко используемым инструментом численно-математического моделирования и применяются в физике, астрофизике, механике, химии, биологии, экономике, социологии, метеорологии, других науках и прикладных задачах в различных областях радиоэлектроники, машиностроения, автомобилестроения и прочих направлениях промышленности. Компьютерные модели используются для получения новых знаний о моделируемом объекте или для приближенной оценки поведения систем, слишком сложных для логико-аналитического исследования.

Примечание 3

Компьютерные модели и компьютерное моделирование применяются для решения широкого круга задач, таких как:

- анализ распространения загрязняющих веществ в атмосфере;
- проектирование шумовых барьеров для борьбы с шумовым загрязнением;
- конструирование транспортных средств;
- симуляция полёта на авиационном тренажёре для тренировки лётчиков;
- прогнозирование погоды;
- эмуляция работы других электронных устройств;
- прогнозирование цен на финансовых рынках;
- исследование поведения зданий, конструкций и деталей под механической нагрузкой;
- прогнозирование прочности конструкций и механизмов их разрушения;
- проектирование производственных процессов, например химических;
- стратегическое управление организацией;

- исследование поведения гидравлических систем: нефтепроводов, водопровода;
- моделирование роботов и автоматических манипуляторов;
- моделирование сценарных вариантов развития городов;
- моделирование транспортных систем;
- конечно-элементное моделирование краш-тестов;
- моделирование результатов пластических операций.

Примечание 4

Компьютерная модель изделия (*computer model of the product*) – компьютерная модель, в которой объектом моделирования является изделие(ия). При этом компьютерную модель разрабатывают при помощи соответствующих программных средств (*ГОСТ Р 57412–2017*).

Компьютерное моделирование изделия (*computer modeling of the product*) – моделирование, выполненное с использованием компьютерной модели изделия. Компьютерное моделирование изделия выполняют с целью получения данных, необходимых для принятия решений в процессах разработки, проектирования, производства, сопровождения эксплуатации и других задач в ходе жизненного цикла изделия (*ГОСТ Р 57412— 2017*).

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.22–2020. Компьютерные модели и моделирование. Классификация. Дата введения: 01.06.2021. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/741/74105.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).
2. **Eastman, C.** BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (2nd ed.) / Chuck Eastman, Paul Tiecholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston. – Hoboken, New Jersey: John Wiley. – 2011. – С. 36–37.

3.18. Проектирование (Design)

Проектирование – процесс определения архитектуры, компонентов, интерфейсов и других характеристик системы или её части [1].

Проектирование – это процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще несуществующего объекта, на основе первичного описания этого объекта и/или алго-

ритма его функционирования с оптимизацией заданных характеристик объекта, устранением некорректности первичного описания и последующим представлением описания на различных языках (заданном языке) [2].

Примечание 1

Результатом проектирования является проект – целостная совокупность моделей, свойств или характеристик, описанных в форме, пригодной для реализации системы [3].

Примечание 2

Можно привести следующие примеры видов проектирования по отраслям деятельности:

- проектирование инженерных систем (вентиляции, газопроводов, электросетей и др. инфраструктуры);
- архитектурно-строительное проектирование;
- градостроительное проектирование;
- проектирование интерьера;
- ландшафтное проектирование;
- проектирование программного обеспечения;
- и т.д.

Примечание 3

Функциональное проектирование представляет наиболее общий подход к описанию систем. Определяются граничные условия и желательные входы и выходы, составляется подробный перечень функций или операций, которые должны выполняться [1].

Проектирование, целью которого является не только поиск функционально эффективных решений, но и удовлетворение разных, порой противоречивых потребностей, обоснованный выбор окончательного варианта, стали называть оптимальным проектированием (критериальным проектированием, вариантным проектированием).

Системное проектирование комплексно решает поставленные задачи, принимает во внимание взаимодействие и взаимосвязь отдельных объектов-систем и их частей как между собой, так и с внешней средой, учитывает социально-экономические и экологические последствия их функционирования. Системное проектиро-

вание основывается на тщательном совместном рассмотрении объекта проектирования и процесса проектирования, которые в свою очередь включают ещё ряд важных частей [1].

Примечание 4

Стадии проектирования регламентированы стандартами [4] и [5]. Последовательность выполнения всех стадий образует официальную структуру процесса разработки проектной документации, которая, как правило, используется при официальных взаимоотношениях между заказчиком и исполнителем или между соисполнителями работ. Сама документация необходима для отчёта перед заказчиком о проделанной работе, возможности проверки или повторения разработок другими исполнителями, подготовки производства и обслуживания изделия в период эксплуатации. Стадии создания других систем регламентируются своими стандартами, например, для автоматизированных систем – стандартом [6].

Использованные источники:

1. ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and software engineering – Vocabulary. Дата введения: 01.09.2017. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/71952/6289cd982a154c1d8fa0b10b52e0f8a8/ISO-IEC-IEEE-24765-2017.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

2. ГОСТ 23501.101-87. Система автоматизированного проектирования. Основные положения. Дата введения: 01.07.1988. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/287/28792.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

3. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK). Version 2.2. – 2019. – 1063 с. – URL: https://edisciplinas.usp.br/plugin-file.php/5043768/mod_resource/content/2/SEBoK_v2.2.pdf (дата обращения: 10.03.2023).

4. ГОСТ 2.103-2013. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. Дата введения: 01.07.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/588/58835.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

5. ГОСТ Р 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. Дата введения: 01.07.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750620.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

6. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. Дата введения: 01.01.1992. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/106/10698.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

3.19. Сертификация программного обеспечения компьютерного моделирования (Computer simulation software certification)

Сертификация программного обеспечения компьютерного моделирования (сертификация ПО КМ) – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия программного обеспечения компьютерного моделирования заявленной области применения [1].

Регламентированная процедура признания возможности использования ПО КМ в заявленной области/границах применения, завершающаяся выдачей сертификата [2].

Примечание 1

Стандарт [2] определяет общие положения сертификации программного обеспечения компьютерного моделирования, применяемого при разработке продукции и проведении приемочных, приемосдаточных, квалификационных, серийных и иных испытаний, а также на дальнейших этапах жизненного цикла продукции.

Примечание 2

Сертифицируемая версия ПО КМ: представленная в орган по сертификации версия ПО КМ, с помощью которой проводились расчеты, включенные в отчет о верификации и валидации [3].

Примечание 3

Сертификацию ПО КМ осуществляют органы по сертификации и испытательными лабораториями в соответствии с принципами и нормами, установленными ГОСТ ISO/IEC Guide 65 и ГОСТ Р 53603 и стандартом организации на ПО КМ [4].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

2. ГОСТ Р 57700.2-2017 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Общие положения. Дата вве-

дения: 01.05.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/645/64529.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

3. ГОСТ Р 57700.1-2017. Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Требования. Дата введения: 01.05.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/645/64520.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

4. ГОСТ ISO/IEC Guide 65-2012 Общие требования к органам по сертификации продукции. Дата введения: 01.05.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293781/4293781955.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

3.20. Многомасштабное моделирование (Multiscale simulation)

Многомасштабное моделирование – это моделирование объекта-системы, при котором для каждого масштаба или уровня иерархии используется свой метод или формулируется своя система уравнений, описывающая процессы для каждого масштаба в отдельности [2]. Другими словами, это реализация математической модели, являющейся иерархией различных математических моделей, описывающих процессы разного масштаба по переменным фазового пространства (временного, пространственного и т.п.).

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023);

2. ГОСТ Р 57269–2016. Интегрированный подход к управлению информацией жизненного цикла антропогенных объектов и сред. Дата введения: 01.01.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/631/63173.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

3.21. Динамика систем многих тел (Multi Body Dynamics)

Методы **динамики систем многих тел (MBD)** или **динамика многотельных систем** используются для моделирования динамики совокупности взаимодействующих твёрдых и/или гибких тел, которые могут совершать значительные поступательные и/или вращательные движения [1].

Примечание 1

Систематическое изучение динамики поведения взаимосвязанных тел привело к возникновению в механике большого количества важных «многотельных» формализмов. Самые простые тела или элементы системы многих тел были уже изучены Ньютоном (свободное разделение) и Эйлером (твердые тела). Эйлер ввел силы реакции между телами. Позднее была введена серия формализмов, например, формализмы Лагранжа, основанные на минимальных координатах и второй формулировке, которая вводит напряженное состояние.

В своей основе движение тел описывается их кинематическим поведением. Динамическое поведение является результатом баланса приложенных к телу сил и величины изменения моментов. В настоящее время термин «многотельная система» можно отнести к большому количеству инженерных областей науки, особенно робототехнике и динамике автомобилей [2].

Использованные источники:

1. **Wittenburg, J.** Dynamics of Multibody Systems / J. Wittenburg. – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – 223 с.
2. **Haug, E.J.** Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems (том 1) / E.J. Haug. – Allyn and Bacon, Boston, 1989. – 498 с.

3.22. Дискретно-событийное моделирование (Discrete Event Simulation)

Дискретно-событийное моделирование (DES) – это вид имитационного моделирования, в котором функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий. Событие происходит в определенный момент времени и знаменует собой изменение состояния системы [1].

Примечание 1

Компоненты системы дискретно-событийного моделирования следующие.

- Переменные (определяют состояние системы).
- Логика (определяет, что произойдет в ответ на какое-то событие).

- Часы (Основной компонент системы, синхронизирующий изменения системы).
- Список событий (система моделирования поддерживает по крайней мере один список событий моделирования).
- Генераторы случайных чисел (дискретно-событийные модели делятся на детерминированные и стохастические, в зависимости от того, каким образом генерируются события и основные характеристики очередей: время наступления событий, длительность обслуживания, количество клиентов, поступающих в очередь в единицу времени. Стохастические дискретно-событийные модели отличаются от моделей Монте-Карло наличием часов).
- Статистика (основные данные, которые собираются в системах дискретно-событийного моделирования).
- Условие завершения (условием завершения могут выступать возникновение заданного события или прохождение заданного числа циклов по часам системы моделирования).

Примечание 2

Системы дискретно-событийного моделирования – это, чаще всего, проблемно-ориентированные языки программирования или библиотеки для высокоуровневых языков [2]. Наиболее известными примерами таких систем являются: Arena, AnyLogic, SIMSCRIPT, SLAM, SIMAN, AweSim, GPSS.

Использованные источники:

1. **Robinson, S.** Simulation – The practice of model development and use / S. Robinson. – Palgrave Macmillan, 2004. – 392 с.
2. **Eamonn, L.** Introduction to Agent-Based Simulation in Flexsim / L. Eamonn. – Flexsim Corporation, 2008.

4. Работа с данными

Одной из особенностей цифрового инжиниринга является плотная и качественная работа с данными для их дальнейшего использования в рамках организаций, производств и эксплуатации оборудования. Применение современных методов сбора, обработки и передачи данных является одним из этапов автоматизации и требует применения новых технологий, современного программного обеспечения и моделей взаимодействия с данными.

4.1. Синхронизация (*Synchronization*)

Синхронизация – приведение двух или нескольких процессов к такому их протеканию, когда одинаковые или соответствующие элементы процессов совершаются с неизменным сдвигом во времени либо одновременно (напр., речь оратора и переводчика при синхронном переводе, производственные операции) [1].

Примечание 1

Синхронизация процессов – это механизм, позволяющий обеспечить целостность какого-либо ресурса (файл, данные в памяти), когда он используется несколькими процессами или потоками в случайном порядке [2].

Синхронизация данных – ликвидация различий между двумя копиями данных. Предполагается, что ранее эти копии были одинаковы, а затем одна из них, либо обе были независимо изменены.

Синхронизация передачи данных – процесс, при котором приёмник синхронизируется с передатчиком в процессе передачи цифровых данных.

Использованные источники:

1. **Прохоров, А.М.** Большой энциклопедический словарь / А.М. Прохоров; под редакцией А. М. Прохорова. – 1-е изд. – Москва: Большая российская энциклопедия, 2000.
2. **Гольдштейн, Б.С.** Системы коммутации / Б.С. Гольдштейн. – БХВ-Петербург, 2004. – 400 с.

4.2. Данные (Data)

Данные – информация, обработанная и представленная в формализованном виде для дальнейшей обработки [1].

Данные – зарегистрированная информация, представление фактов, понятий или инструкций в форме, приемлемой для общения, интерпретации, или обработки человеком или с помощью автоматических средств [2].

Примечание 1

В информатике и информационных технологиях:

данные – поддающееся многократной интерпретации представление информации в формализованном виде, пригодном для передачи, связи или обработки [3].

данные – формы представления информации, с которыми имеют дело информационные системы и их пользователи [4].

Примечание 2

В метрологии:

данные – совокупность значений, сопоставленных основным или производным мерам и/или показателям [5, 6].

Использованные источники:

1. ГОСТ 7.0-99. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информационно-библиотечная деятельность, библиография Термины и определения. Дата введения: 01.07.2000. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294822/4294822777.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

2. ISO/IEC/IEEE 24765-2010. Systems and software engineering – Vocabulary. Дата введения: 15.12.2010. URL: <https://www.cse.msu.edu/~cse435/Handouts/Standards/IEEE24765.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

3. ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015). Информационные технологии. Словарь. Дата введения: 01.09.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/634/63428.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

4. ISO/IEC 10746-2:1996. Information technology – Open Distributed Processing – Reference Model: Foundations.

5. ISO/IEC 15939:2007. Systems and software engineering – Measurement process. Дата введения: 01.08.2007. URL: https://lists.oasis-open.org/archives/oslc-promcode/201409/msg00015/ISO_IEC_15939-2007.PDF (дата обращения: 11.03.2023).

6. ISO/IEC 25000:2005. Software Engineering – Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Guide to SQuaRE. Дата введения: 01.08.2005. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/35683/917c6ad92a6e4c6c9326547e53f2dd7a/ISO-IEC-25000-2005.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

4.3. База данных (Database)

База данных (БД) – совокупность данных, хранимых в соответствии со схемой данных, манипулирование которыми выполняют в соответствии с правилами средств моделирования данных [1].

Примечание 1

Ниже даны определения из нормативных документов, в том числе ГОСТ.

База данных – представленная в объективной форме совокупность самостоятельных материалов (статей, расчётов, нормативных актов, судебных решений и иных подобных материалов), систематизированных таким образом, чтобы эти материалы могли быть найдены и обработаны с помощью электронной вычислительной машины (ЭВМ) [2].

База данных – совокупность данных, организованных в соответствии с концептуальной структурой, описывающей характеристики этих данных и взаимоотношения между ними, которая поддерживает одну или более областей применения [3].

Примечание 2

В классификацию по модели данных обычно включают **следующие типы баз данных [4]**:

- иерархические;
- объектные или объектно-ориентированные;
- объектно-реляционные;
- реляционные;
- сетевые;
- функциональные.

По степени распределённости базы данных подразделяют на централизованные (сосредоточенные – *centralized database*) – пол-

ностью поддерживаемые на одном оборудовании, и распределённые (*distributed database*).

По способам организации хранения могут выделяться циклические базы данных (записывают новые данные вместо устаревших), потоковые базы данных.

Использованные источники:

1. ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015). Информационные технологии. Словарь. Дата введения: 01.09.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/634/63428.pdf> (дата обращения: 11.03.2023);

2. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18.12.2006 № 230-ФЗ, ст. 1260. —Прспект, 2023. —768 С.;

3. ISO/IEC 2382:2015 – Information technology – Vocabulary. Дата введения: 01.09.2017. URL: <http://centerekspert.ru/public/uploads/docs/4293751722.pdf> (дата обращения: 11.03.2023);

4. **Codd, E.F.** A relational model of data for large shared data banks / E.F. Codd. – 1970. – 11 с. – Текст: электронный // Penn Engineering. University of Pennsylvania. – URL: <https://www.seas.upenn.edu/~zives/03f/cis550/codd.pdf> (дата обращения: 03.02.2023).

4.4. Сверхбольшая база данных (Very Large Database)

Сверхбольшая база данных (VLDB) – это база данных, которая занимает чрезвычайно большой объём на устройстве физического хранения. Термин подразумевает максимально возможные объёмы БД, которые определяются последними достижениями в технологиях физического хранения данных и в технологиях программного оперирования данными [1].

Примечание 1

Количественное определение понятия «чрезвычайно большой объём» меняется во времени. Так, в 1997 году самой большой в мире была текстовая база данных Knight Ridder’s DIALOG объёмом 7 терабайт. К 2014 году по косвенным оценкам компания Google хранила на своих серверах до 10–15 эксабайт данных в совокупности [2].

Использованные источники:

1. Oracle Database Online Documentation 11g Release 1 (11.1). – Текст: электронный // Oracle Database Administration. Database Concepts. – URL:

https://docs.oracle.com/cd/E10123_01/doc/index.htm (дата обращения: 11.03.2023).

2. **Carson, C.** How Much Data Does Google Store? / C. Carson. – Текст: электронный // <https://web.archive.org/web/20160915053508/https://www.cirrusinsight.com/blog/how-much-data-does-google-store>.

4.5. Большие данные (Big data)

Обозначение структурированных и неструктурированных данных огромных объёмов и значительного многообразия, поступающих с высокой скоростью [1].

Примечание 1

Три основных свойства больших данных (набор признаков VVV (volume, velocity, variety))— это разнообразие, высокая скорость поступления и большой объём.

Примечание 2

Технологии обработки больших данных. Наиболее часто указывают в качестве базового принципа обработки больших данных горизонтальную масштабируемость, обеспечивающую обработку данных, распределённых на сотни и тысячи вычислительных узлов, без деградации производительности; в частности, этот принцип включён в определение больших данных от NIST [2].

Существует ряд аппаратно-программных комплексов, представляющих предконфигурированные решения для обработки больших данных: Aster MapReduce appliance (корпорации Teradata), Oracle Big Data appliance, Greenplum appliance (корпорации EMC, на основе решений поглощённой компании Greenplum).

Использованные источники:

1. **Chen, M.** Big Data. Related Technologies, Challenges, and Future Prospects / M. Chen, S. Mao, Y. Zhang, V.C.M. Leung. – Springer, 2014. – 89 с.

2. **Черняк, Л.** Большие Данные – новая теория и практика / Л. Черняк // Открытые системы. СУБД. – 2011. – № 10. – ISSN 1028-7493.

4.6. Аналитика больших данных (Big data analytics)

Аналитика больших данных – это методы, инструменты и приложения, которые используются для сбора и обработки боль-

ших наборов разнородных, быстро создаваемых данных и извлечения из них ценной информации [1].

Примечание 1

Анализ больших данных проводится с использованием подготовительных этапов обработки больших данных.

- Сбор данных. Для сбора структурированных, частично структурированных и неструктурированных данных используется множество источников в Интернете, на мобильных платформах и в облаке. На данном этапе используются такие технологии, как Hadoop, БД NoSQL.

- Обработка. На этапе обработки хранимые данные проверяются, сортируются и фильтруются в рамках подготовки к дальнейшему использованию. На данном этапе используются такие технологии, как программное обеспечение для интеграции данных и обработка данных в памяти.

- Очистка. После обработки данные подвергаются очистке, где проводится отсев конфликтующих и избыточных элементов, непустых или незаполненных полей, ошибок форматирования в наборе данных.

- Анализ. Для анализа больших данных используются такие инструменты и технологии, как интеллектуальный анализ данных, ИИ, предиктивная аналитика, машинное обучение и статистический анализ. Все они позволяют выявить и спрогнозировать закономерности и поведение на основе данных. На данном этапе используются такие технологии, как интеллектуальный анализ данных, предиктивная аналитика и аналитика в реальном времени.

Примечание 2

Приведены примеры использования аналитики больших данных в различных сферах [1].

- Разработка продуктов. Путем аналитики больших объемов бизнес-данных организации четко определяют потребности клиентов и намечают дальнейшие направления разработки и стратегический план действий.

- Персонализация. Платформы потоковой передачи данных и розничные онлайн-магазины анализируют данные о том, к чему пользователи проявляют интерес, чтобы разрабатывать более пер-

сонализированные рекомендации, адресную рекламу, предложения дополнительных товаров и программы лояльности.

- Управление логистическими цепочками. Предиктивная аналитика помогает определить все аспекты цепочки поставок, включая инвентаризацию, закупки, доставку и возвраты, и получить по ним прогнозы.

- Здоровоохранение. Аналитика больших данных позволяет извлекать ключевые сведения из данных пациентов, помогая поставщикам медицинских услуг ставить новые диагнозы и находить новые схемы лечения.

- Ценообразование. Анализ данных о продажах и транзакциях позволяет создать оптимизированные модели ценообразования, которые помогают компаниям принимать решение о стоимости, чтобы максимально повысить свой доход.

- Предупреждение мошенничества. Финансовые учреждения используют интеллектуальный анализ данных и машинное обучение для снижения рисков. Они отслеживают и прогнозируют последовательности, свидетельствующие о мошеннической деятельности.

- Операции. Анализ финансовых данных помогает организациям выявить и сократить скрытые операционные затраты и тем самым сберечь средства и повысить продуктивность.

- Привлечение и удержание клиентов. Онлайн-магазины используют историю заказов, данные поиска, онлайн-отзывы и другие источники данных, чтобы прогнозировать поведение клиентов и на основе этих данных принимать меры для их удержания.

Использованные источники:

1. Что такое аналитика больших данных? [Электронный ресурс] // Microsoft Azure. URL: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-big-data-analytics> / (дата обращения: 03.02.2023).

4.7. Управление данными (*Data management*)

Управление данными – процесс, связанный с созданием, изменением и удалением данных, организацией их хранения и поиска [1].

Управление данными – деятельность, направленная на определение, создание, хранение, поддержку данных, а также на обеспечение доступа к данным и процессам манипулирования в одной или более информационной системе [2].

Примечание 1

Наиболее распространенными процессами управления данными являются [3]:

- анализ данных;
- архитектура данных;
- добыча данных;
- защита данных;
- извлечение, преобразование и загрузка данных;
- моделирование данных;
- обеспечение качества данных;
- работа с хранилищами данных;
- управление базами данных;
- управление метаданными (репозиториями данных);
- шифрование данных.

Примечание 2

Известными методологиями управления данными являются MIKE2.0 и DAMA-DMBoK (свод знаний по управлению данными, выпущенный Data Management Association).

Использованные источники:

1. Управление данными [Электронный ресурс] // Финансовый словарь Финам. URL: <https://www.finam.ru/dictionary> (дата обращения: 03.02.2023).

2. ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015). Информационные технологии. Словарь. Дата введения: 01.09.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/634/63428.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

3. Управление данными [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 03.02.2023).

4.8. Слияние данных (Data fusion)

Слияние данных является процессом объединения источников данных для получения более согласующейся, точной и по-

лезной информации, чем информация от одного отдельного источника [1].

Примечание 1

Процессы слияния данных часто группируются как низкое, среднее или высокое слияние, в зависимости от стадии обработки, на котором слияние производится [2]. Низкоуровневое слияние данных комбинирует некоторые источники сырых данных для получения других сырых данных.

Примечание 2

В приложениях вне геопространственных областей использование терминов интеграция данных и слияние данных различается. В таких областях, как бизнес-аналитика, например, термин «интеграция данных» используется для описания комбинирования данных, в то время как термин «слияние данных» является интеграцией с последующим уплотнением и заменой данных. Интеграцию данных можно рассматривать как комбинацию множеств, при которой большее множество сохраняется, в то время как слияние является техникой сокращения множества с улучшением надёжности.

Использованные источники:

1. **Haghighat, M.** Discriminant Correlation Analysis: Real-Time Feature Level Fusion for Multimodal Biometric Recognition / M. Haghighat, M. Abdel-Mottaleb, W. Alhalabi // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2016. – № 11(9). – С. 1–13. – DOI: 10.1109/TIFS.2016.2569061.
2. **Klein, L.A.** Sensor and Data Fusion. A Tool for Information Assessment and Decision Making / L.A. Klein. – Society of Photo Optical, 2004. – 317 с.

4.9. Конвергенция (Convergence)

Термин «**конвергенция**» используется при описании интегрирующих процессов (сближения, схождения).

Примечание 1

Конвергенция телекоммуникационных сетей – объединение нескольких, бывших ранее отдельными, услуг в рамках одной услуги.

Конвергенция в экономике – сближение экономик различных регионов.

Примечание 2

Конвергентная база данных – база данных, в которой объединены не несколько, а все виды нагрузок и все типы данных, которые используют современные приложения, управляемые данными [1].

Использованные источники:

1. What is a Converged Database? [Электронный ресурс] // Oracle Database Insider. URL: <https://blogs.oracle.com/database/post/what-is-a-converged-database> (дата обращения: 03.02.2023).

4.10. Онтология (Ontology)

Онтология (в информатике) – это попытка всеобъемлющей и подробной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы. Обычно такая схема состоит из структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила (теоремы, ограничения), принятые в этой области [1].

Примечание 1

Современные онтологии строятся по большей части одинаково, независимо от языка написания. Обычно они состоят из экземпляров, понятий, атрибутов и отношений.

Примечание 2

Специализированные (предметно-ориентированные) онтологии – это представление какой-либо области знаний или части реального мира. В такой онтологии содержатся специальные для этой области значения терминов. К примеру, слово «поле» в сельском хозяйстве означает участок земли, в физике – один из видов материи, в математике – класс алгебраических систем [2].

Общие онтологии используются для представления понятий, общих для большого числа областей. Такие онтологии содержат базовый набор терминов, глоссарий или тезаурус, используемый для описания терминов предметных областей.

Если использующая специализированные онтологии система развивается, то может потребоваться их объединение.

Использованные источники:

1. **Лапшин, В. А.** Онтологии в компьютерных системах. Роль онтологий в современной компьютерной науке / В.А. Лапшин // RSDN Magazine. – 2009. – № 4. – с. 61–67.

2. **Добров, Б. В.** Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения / Б.В. Добров, В.В. Иванов, Н.В. Лукашевич, В.Д. Соловьев. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 173 с.

4.11. Умные данные, Большие умные данные (Smart Data, Smart Big Data)

Умные данные – это модель данных, имеющая смысл и/или ценность. В отличие от больших и малых данных, умные данные представляются следующим этапом постобработки собранной информации и содержат в себе отобранную полезную информацию из всего массива обрабатываемых данных. Также, **Smart Data** – это технология, которая позволяет собирать и обрабатывать данные таким образом, что на выходе получается информация о целевой аудитории в сегментированном виде [1].

Использованные источники:

1. ЧТО ТАКОЕ SMART DATA? [Электронный ресурс] // NT Programmatic Platform. URL: <https://nt.technology/ru/faqs/smart-data> (дата обращения: 03.02.2023).

4.12. Предиктивная аналитика (Predictive analytics)

Предиктивная аналитика (РА) – класс методов анализа данных, концентрирующийся на прогнозировании будущего поведения объектов и субъектов с целью принятия оптимальных решений [1].

Предиктивная аналитика – это совокупность методов анализа данных с их интерпретацией, которая позволяет на основе накопленной информации определять тренды исследуемых показателей и прогнозировать будущие события. Используется для формирования цифровой тени посредством выявления связей и зависимостей [2].

Примечание 1

Также используются термины-синонимы «Предсказательная аналитика» и «Прогнозная аналитика».

Примечание 2

Предиктивная аналитика использует статистические методы, методы интеллектуального анализа данных, теории игр, анализирует текущие и исторические факты для составления предсказаний о будущих событиях [3]. В бизнесе прогнозные модели используют паттерны, найденные в исторических и выполняемых данных, чтобы идентифицировать риски и возможности. Модели фиксируют связи среди многих факторов, чтобы сделать возможной оценку рисков или потенциала, связанного с конкретным набором условий, руководя принятием решений о возможных сделках.

Примечание 3

Один из недостатков предиктивной аналитики – слабый учёт качественных сдвигов, изменений после точек бифуркации, так как они построены на количественных, вероятностных методах.

Использованные источники:

1. **Сигель, Э.** Просчитать будущее: Кто кликнет, купит, соврёт или умрёт / Э. Сигель. – М.: Альпина Пабlishер, 2014. – 374 с.;
2. Что такое предиктивная аналитика? [Электронный ресурс] // SmartAnalytics. Умные решения. URL: <https://www.sm-analytics.com.ru/blog/what-predictive-analytics> (дата обращения: 03.02.2023);
3. **Людвиницкий, Г. Д.** Предиктивная аналитика. / Г. Д. Людвиницкий // Материалы XV Всероссийской молодежной научной конференции: в 7 т. – Том 2. – Уфа, 2021. – С. 186–187.

4.13. Дисперсионный анализ (Analysis of Variations)

Дисперсионный анализ (ANOVA) – метод в математической статистике, направленный на поиск зависимостей в экспериментальных данных путём исследования значимости различий в средних значениях [1].

Примечание 1

Суть дисперсионного анализа сводится к изучению влияния одной или нескольких независимых переменных, обычно именуемых

факторами, на зависимую переменную. Зависимые переменные представлены значениями абсолютных шкал (шкала отношений). Независимые переменные являются номинативными (шкала наименований), т.е. отражают групповую принадлежность, и могут иметь два или более значения (типа, градации или уровня) [2].

Примечание 2

В отличие от t -критерия (критерий Стьюдента), дисперсионный анализ позволяет сравнивать средние значения трёх и более групп.

Примечание 3

Метод дисперсионного анализа разработан Р.Фишером для анализа результатов экспериментальных исследований.

Примечание 4

В зависимости от типа и количества переменных различают следующие типы дисперсионного анализа [2]:

- однофакторный и многофакторный дисперсионный анализ (одна или несколько независимых переменных);
- одномерный и многомерный дисперсионный анализ (одна или несколько зависимых переменных);
- дисперсионный анализ с повторными измерениями (для зависимых выборок);
- дисперсионный анализ с постоянными факторами, случайными факторами, и смешанные модели с факторами обоих типов.

Использованные источники:

1. **Шеффе, Г.** Дисперсионный анализ (пер. с англ.) / Г. Шеффе. – Москва «Наука», 1963. – 511 с.
2. **Смирнов Н.В.** Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский – 2 изд. – М.: Наука, 1969. – 512 с.

4.14. Метод конечных элементов (Finite element method (FEM))

Метод конечных элементов (МКЭ) – это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач

прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики твёрдого деформируемого тела, теплообмена, гидродинамики, электродинамики и топологической оптимизации [1].

Метод конечных элементов – сеточный метод численного решения задач математической физики, в котором дискретизация исходных краевых задач производится на основе вариационных или проекционных методов при использовании специальных конечномерных подпространств функций, определяемых выбранной сеткой [2].

Примечание 1

С развитием вычислительных средств возможности метода постоянно расширяются, также расширяется и класс решаемых задач. В настоящее время предложено большое количество реализаций метода конечных элементов при моделировании процессов диффузии, теплопроводности, гидродинамики, механики, электродинамики и др.

Примечание 2

Метод конечных элементов сложнее метода конечных разностей в реализации. У МКЭ, однако, есть ряд преимуществ, проявляющихся на реальных задачах: произвольная форма обрабатываемой области; сетку можно сделать более редкой в тех местах, где особая точность не нужна.

Долгое время широкому распространению МКЭ мешало отсутствие алгоритмов автоматического разбиения области на «почти равносторонние» треугольники (погрешность, в зависимости от вариации метода, обратно пропорциональна синусу или самого острого, или самого тупого угла в разбиении). Впрочем, эту задачу удалось успешно решить (алгоритмы основаны на триангуляции Делоне), что дало возможность создавать полностью автоматические конечноэлементные САПР.

Примечание 3

Приведем связанные методы.

Метод дискретного элемента (*Discrete element method (DEM)*) – это семейство численных методов, предназначенных для расчёта движения большого количества частиц, таких как молекулы, песчинки, гравий, галька и прочих гранулированных сред.

Метод конечных разностей – численный метод решения дифференциальных уравнений, основанный на замене производных разностными схемами. Является сеточным методом.

Метод конечных объёмов (метод контрольных объёмов) – численный метод интегрирования систем дифференциальных уравнений в частных производных.

Метод граничных элементов (Метод потенциала, метод граничных интегральных уравнений) – метод решения краевой задачи, в котором благодаря использованию формул Грина она сводится к интегральному уравнению на границе расчетной области (чаще всего к (обобщенному) интегральному уравнению Фредгольма второго рода).

Использованные источники:

1. **Боровков, А.И.** Учебное пособие «Современное инженерное образование» / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.

2. ГОСТ Р 57188-2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. Дата введения: 01.05.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750870.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

4.15. Конечно-элементная модель (Finite element model)

Конечно-элементная модель (КЭМ) – совокупность элементов достаточно простой геометрической формы и конечных размеров, на которые сплошно разбита конструкция, для которой численно моделируется НДС [1].

Примечание 1

Для управления конечно-элементным моделированием изделия разработана и применяется *система управления моделированием изделия (Product Simulation Management (PSM))*, которая является частью системы *Research Knowledge Management*.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.10-2018. Численное моделирование физических процессов. Определение напряженно-деформированного состояния. Верификация и валидация численных моделей сложных элементов конструкций в упругой области. Дата введения: 01.01.2019. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/663/66353.pdf> (дата обращения: 01.01.2019).

4.16. Конечно-элементный анализ (Finite Element Analysis)

Конечно-элементный анализ (FEA) широко применяется при решении задач механики деформируемого твердого тела, теплообмена, гидро- и газодинамики, электро- и магнитостатики, а также других областей физики. Потребность в решении подобных задач возникает в системах автоматизированного конструирования (САЕ) для моделирования поведения изделия в цифровом виде (не прибегая к изготовлению самого изделия или его макета) [1].

Примечание 1

Конечно-элементный анализ основан на использовании математического метода конечных элементов (МКЭ). Входными параметрами для конечно-элементного анализа являются результаты, полученные методом конечных элементов (МКЭ).

Примечание 2

Примерами процессов, моделирование которых на компьютере позволяет значительно сократить расходы на испытания, являются продувка в аэродинамической трубе и аварийные испытания (крэш-тесты).

Использованные источники:

1. Конечно-элементный анализ [Электронный ресурс] // Электронная энциклопедия PLM. URL: <http://plmpedia.ru/wiki/> (дата обращения: 02.02.2023).

5. Верификация и валидация программ

Увеличение требований к методам обработки данных и моделирования привело к росту требований к качеству и функционалу программного обеспечения и инструментария. Модернизация методов разработки, тестирования, верификации, валидации и сертификации программ является одним из этапов развития и внедрения технологий цифрового инжиниринга в производство и промышленность.

5.1. Инструментальное программное средство (*Software tool*)

Инструментальное программное средство – программное обеспечение для разработки, проверки, анализа или эксплуатации программы, или документации к ней [1].

Инструментальное программное средство – это программы, которые используются в ходе разработки, корректировки или развития других прикладных или системных программ.

Примечание 1

Примерами инструментальных программных средств являются [2]: генератор перекрестных ссылок, декомпилятор, драйвер, редактор, графические пакеты программ, программа составления блок-схем, монитор, генератор контрольных примеров, анализатор временных диаграмм.

Использованные источники:

1. ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015). Информационные технологии. Словарь. Дата введения: 01.09.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/634/63428.pdf> (дата обращения 11.03.2023).
2. ГОСТ Р 57700.37-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.2. Программа для ЭВМ (*Computer program*)

Программой для ЭВМ является представленная в объективной форме совокупность данных и команд, предназначенных для функ-

ционирования ЭВМ и других компьютерных устройств в целях получения определенного результата, включая подготовительные материалы, полученные в ходе разработки программы для ЭВМ, и порождаемые ею аудиовизуальные отображения [1,2].

Программа ЭВМ – описание алгоритма решения задачи на языке программирования (на машинный язык конкретной электронной вычислительной машины переводится при помощи транслятора). Процесс составления программы электронной вычислительной машины называется программированием [3].

Использованные источники:

1. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18.12.2006 № 230-ФЗ, ст. 1261. – Проспект, 2023. – 768 с.

2. Закон Российской Федерации от 23.09.1992 N 3523-1 (ред. от 02.02.2006) «О правовой охране программ для электронных вычислительных машин и баз данных». – Текст: электронный / Законы, кодексы и нормативно-правовые акты российской федерации. – URL: <https://legalacts.ru/doc/zakon-rf-ot-23091992-n-3523-1-o/> (дата обращения 11.03.2023).

3. **Гусев, И.Е.** Современная энциклопедия. / И.Е. Гусев (Авт.-сост.). – Минск.: Харвест, 1999. – 349 с.

5.3. Программное обеспечение (Software)

Программное обеспечение (ПО) – программа или множество программ, используемых для управления компьютером [1].

Программное обеспечение – совокупность программ системы обработки информации и программных документов, необходимых для эксплуатации этих программ [2].

Примечание 1

Подходы к классификации ПО достаточно подробно формализованы в международном стандарте [3]:

- по режиму эксплуатации;
- по масштабу;
- по стабильности;
- по функции;
- по требованию защиты;
- по требованию надёжности;
- по требуемым рабочим характеристикам;

- по исходному языку;
- по прикладной области;
- по вычислительной системе и среде;
- по классу пользователя;
- по требованию к вычислительным ресурсам;
- по критичности;
- по готовности;
- по представлению данных;
- по использованию программных данных.

Примечание 2

По видам программы делят на [4]:

- компонент – программа, рассматриваемая как единое целое, выполняющая законченную функцию и применяемая самостоятельно или в составе комплекса;
- комплекс – программа, состоящая из двух или более компонентов и (или) комплексов, выполняющих взаимосвязанные функции, и применяемая самостоятельно или в составе другого комплекса.

Использованные источники:

1. ISO/IEC 26514:2008 Systems and software engineering – Requirements for designers and developers of user documentation. Дата введения: 15.06.2008. URL: https://www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/iso/updates2008/wk24/ISO-IEC_26514-2008.PDF (дата обращения: 11.03.2023).
2. ГОСТ 19781-90. Обеспечение систем обработки информации программное. Термины и определения. Дата введения: 01.01.1992. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/192/19239.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 12182-2002. Информационная технология. Классификация программных средств. Дата введения: 01.07.2007. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817041.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).
4. ГОСТ 19.101-77. Единая система программной документации (ЕСПД). Виды программ и программных документов. Дата введения: 01.01.1980. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/156/15681.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.4. Программная инженерия (*Engineering software*)

Программная инженерия – приложение систематического, дисциплинированного, измеримого подхода к разработке, функци-

онированию и сопровождению программного обеспечения, а также исследованию этих подходов; т.е., приложение дисциплины инженерии к программному обеспечению [1].

Примечание 1

Для обозначения отдельных элементов программной инженерии и их совокупности в русскоязычных источниках могут также использовать термин «Инженерное программное обеспечение (инженерное ПО)».

Использованные источники:

1. ISO/IEC/IEEE 24765:2017 Systems and software engineering – Vocabulary. Дата введения: 01.09.2017. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/71952/6289cd982a154c1d8fa0b10b52e0f8a8/ISO-IEC-IEEE-24765-2017.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.5. Программное обеспечение компьютерного моделирования (Computer simulation software)

Программное обеспечение компьютерного моделирования (ПО КМ) – программы, выполняющие математические расчеты, и программы, предназначенные для подготовки исходных данных, обработки результатов расчета, а также другие вспомогательные программы [1, 2].

Примечание 1

Программное обеспечение компьютерного моделирования не является программным обеспечением средств измерений согласно стандарту [3].

Примечание 2

Примерами известного и широко распространенного ПО КМ являются:

- Solidworks;
- Teamcenter;
- Wings 3D;
- Компас 3D;
- AutoCAD.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023);

2. ГОСТ Р 57700.2-2017 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Общие положения. Дата введения: 01.05.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/645/64529.pdf> (дата обращения: 11.03.2023);

3. ГОСТ Р 8.654-2015. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения. Дата введения: 01.03.2016. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293763/4293763494.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.6. Верификация и валидация (Verification & Validation)

Верификация и валидация (V&V) – это процесс оценки соответствия разработанного ПО спецификациям и работоспособности заложенных функции [1].

Примечание 1

В некоторых источниках, может использоваться синонимичный термин «Проверка и приемка».

Примечание 2

Верификация и валидация может относиться не только к разработке ПО, но и к контролю качества в целом.

Использованные источники:

1. **Ноjo, Т.** Quality Management Systems – Process Validation Guidance (Edition 2) / Т. Ноjo. – Global Harmonization Task Force, 2004. – 36 с. – Текст: электронный / International medical Device Regulators Forum. – URL: <https://www.imdrf.org/sites/default/files/docs/ghtf/final/sg3/technical-docs/ghtf-sg3-n99-10-2004-qms-process-guidance-04010.pdf>.

5.7. Валидация (Validation)

Валидация – подтверждение на основе объективных данных, что установленные требования в условиях намеченного использования или применения выполнены [1].

Валидация – подтверждение посредством представления объективных свидетельств того, что требования для конкретного предназначения или применения выполнены [2].

Примечание 1

Данный термин часто используют совместно с термином «верификация» и оба термина составляют аббревиатуру "V&V" (верификация и валидация).

Использованные источники:

1. ГОСТ Р ИСО 11064-7-2016. Эргономическое проектирование центров управления. Часть 7. Принципы верификации и валидации. Дата введения: 01.12.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750667.pdf> (дата обращения: 11.03.2023);

2. ISO 9000:2005(ru) Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Дата введения: 15.09.2005. URL: https://www.istu.edu/docs/education/fgos_14/ISO_9000-2005rus.pdf (дата обращения: 11.03.2023).

5.8. Валидация модели изделия (Product model validation)

Валидация модели изделия – подтверждение адекватности модели моделируемому изделию (определение распространяется на математические, компьютерные, цифровые модели) [1].

Примечание 1

Валидация модели изделия выполняется для выбранного множества характеристик и заданной степени точности [1].

Примечание 2

Определение распространяется на математические, компьютерные, цифровые модели [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.9. Валидация программного обеспечения компьютерного моделирования (Validation of computer simulation software)

Валидация программного обеспечения компьютерного моделирования – подтверждение того, что программное обеспечение компьютерного моделирования в заявленной области применения адекватно с заданной степенью точности выполняет подготовку исходных данных, расчеты и обработку результатов таких расчетов [1].

Примечание 1

Если в состав программного обеспечения входит компьютерное моделирование методического обеспечения, то необходимо выполнить его валидацию совместно с программами компьютерного моделирования [1].

Примечание 2

Валидацию методического и программного обеспечения необходимо проводить на основе анализа результатов испытаний изделия [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.10. Валидация модели поведения материала (Validation of material behavior model)

Валидация модели поведения материала (ВМПМ) – подтверждение соответствия модели поведения материала реальному поведению материала при ударном нагружении [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.7-2018. Численное моделирование физических процессов. Процессы ударного взаимодействия. Термины и определения. Дата введения: 01.01.2019. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293738/4293738992.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.11. Валидация численной расчетной модели (Validation of numerical simulation model)

Валидация численной расчетной модели (ВЛЧРМ) – процедура подтверждения адекватности ЧРМ поведению моделируемого объекта при ударном нагружении [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.7-2018. Численное моделирование физических процессов. Процессы ударного взаимодействия. Термины и определения. Дата введения: 01.01.2019. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293738/4293738992.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.12. Материальный валидационный эксперимент (Material verification experiment)

Материальный валидационный эксперимент (МABЭ) – натурный эксперимент (или система экспериментов), позволяющий получить экспериментальные данные, необходимые для валидации модели поведения материала. [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.7-2018. Численное моделирование физических процессов. Процессы ударного взаимодействия. Термины и определения. Дата введения: 01.01.2019. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293738/4293738992.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.13. Модельный валидационный эксперимент (Model validation experiment)

Модельный валидационный эксперимент (МОВЭ) – натурный эксперимент (или система экспериментов), позволяющий получить экспериментальные данные, необходимые для валидации численной расчетной модели [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.7-2018. Численное моделирование физических процессов. Процессы ударного взаимодействия. Термины и определения. Дата введения: 01.01.2019. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293738/4293738992.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.14. Верификация (Verification)

Верификация – подтверждение на основе объективных данных, что установленные требования выполнены [1].

Верификация – подтверждение посредством представления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены [2].

Примечание 1

Данный термин часто используют совместно с термином «валидация» и оба термина составляют аббревиатуру «V&V» (верификация и валидация).

Использованные источники:

1. ГОСТ Р ИСО 11064-7-2016. Эргономическое проектирование центров управления. Часть 7. Принципы верификации и валидации. Дата введения: 01.12.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750667.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

2. ISO 9000:2005(ru) Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Дата введения: 15.09.2005. URL: https://www.istu.edu/docs/education/fgos_14/ISO_9000-2005rus.pdf (дата обращения: 11.03.2023).

5.15. Валидация программного обеспечения компьютерного моделирования (Verification of computer simulation software)

Валидация программного обеспечения компьютерного моделирования – подтверждение того, что программное обеспечение компьютерного моделирования в заявленной области применения адекватно с заданной степенью точности выполняет подготовку исходных данных, расчеты и обработку результатов таких расчетов [1].

Примечание 1

Верификация программного обеспечения компьютерного моделирования является необходимым условием для его последующей валидации [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения:

01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.16. Матрица верификации (валидации) ПО (Software verification (validation) matrix)

Матрица верификации (валидации) ПО – формат для проведения верификации (валидации) ПО, который применяется для каждого моделируемого объекта и/или его элемента [1].

Примечание 1

Матрица верификации (валидации) представляется в виде таблицы и является иллюстрацией того, в какой области проведена верификация (валидация).

Примечание 2

В матрице верификации (валидации) указываются параметры, например, определенные в соответствии с стандартом [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.1-2017. Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Требования. Дата введения: 01.05.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/645/64520.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.17. Испытания (Tests)

Испытания – экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий [1].

Примечание 1

Определение включает оценивание и (или) контроль.

Использованные источники:

1. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. Дата введения: 01.01.1982. URL:

<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294851/4294851950.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

5.18. Цифровые испытания (Digital tests)

Цифровые испытания – определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) этого объекта.

Примечание 1

В некоторых источниках используется синонимичный термин «Виртуальные испытания».

Примечание 2

В зависимости от вида цифровых (виртуальных) испытаний [2] может быть использован как сам объект испытаний, так и его составные части [1].

Примечание 3

Для проведения цифровых (виртуальных) испытаний рекомендуется использовать программно-технологические платформы видов испытаний, определенных стандартом [2].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023);

2. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. Дата введения: 01.01.1982. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294851/4294851950.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

5.19. Испытательный полигон (Testing ground)

Испытательный полигон – территория и испытательные сооружения на ней, оснащенные средствами испытаний и обеспечивающие испытания объекта в условиях, близких к условиям эксплуатации объекта [1, 2].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

2. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. Дата введения: 01.01.1982. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294851/4294851950.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).

5.20. Цифровой испытательный полигон (Testing ground)

Цифровой испытательный полигон – система, в общем случае состоящая из технических средств, программного, методического и организационного обеспечения и квалифицированного персонала, предназначенная для проведения полигонных испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) объекта испытаний [1].

Примечание 1

В некоторых источниках используются синонимичные термины «цифровой испытательный стенд» и «виртуальный испытательный полигон».

Примечание 2

Цифровая модель для проведения полигонных испытаний должна обеспечивать испытания объекта в условиях, близких к условиям эксплуатации объекта.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.21. Цифровой макет (Digital mock-up)

Цифровой макет (DMU) – цифровая полноразмерная структурная, но не обязательно функциональная, модель, построенная в точном масштабе, используемая в основном в исследованиях, испытаниях или демонстрациях [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57269–2016. Интегрированный подход к управлению информацией жизненного цикла антропогенных объектов и сред. Термины и определения. Дата введения: 01.01.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/631/63173.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.22. Элементарный образец (*Elementary sample*)

Элементарный образец – образец, применяемый при проведении базового эксперимента (БЭ) [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.7-2018. Численное моделирование физических процессов. Процессы ударного взаимодействия. Термины и определения. Дата введения: 01.01.2019. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293738/4293738992.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.23. Функциональность (*Functionality*)

Функциональность – свойства процесса, которые дают возможность достичь целей процессов [1].

Примечание 1

Функциональность (программного средства) – совокупность свойств программного средства, определяемая наличием и конкретными особенностями набора функций, способных удовлетворять заданные или подразумеваемые потребности.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 54136-2010. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Руководство по применению стандартов, структура и словарь. Дата введения: 01.09.2011. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/514/51439.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.24. Итерация (*Iteration*)

Итерация – математическая операция, повторяемая многократно, при этом результат одной операции используется для выполнения последующей операции [1].

Примечание 1

Операции повторяются многократно, не приводя при этом к вызовам самих себя (в отличие от рекурсии).

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57188-2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. Дата введения: 01.05.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750870.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.25. Качество (Quality)

Качество – степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта-системы требованиям [1].

Примечание 1

Организация, ориентированная на качество, поощряет культуру, отражающуюся в поведении, отношении, действиях и процессах, которые создают ценность посредством выполнения потребностей и ожиданий потребителей и других соответствующих заинтересованных сторон.

Качество продукции и услуг организации определяется способностью удовлетворять потребителей и преднамеренным или непреднамеренным влиянием на соответствующие заинтересованные стороны.

Качество продукции и услуг включает не только выполнение функций в соответствии с назначением и их характеристики, но также воспринимаемую ценность и выгоду для потребителя.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р ИСО 9000 – 2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Дата введения: 01.11.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293759/4293759339.htm> (дата обращения: 11.03.2023).

5.26. Менеджмент (Management)

Менеджмент – скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией [1].

Примечание 1

Менеджмент может включать установление политик, целей и процессов для достижения этих целей.

Примечание 2

Термин «менеджмент» иногда относится к людям, т.е. лицу или группе лиц, наделенных полномочиями и ответственностью для руководства и управления организацией. Когда термин «менеджмент» используется в этом смысле, его следует всегда применять с определяющими словами во избежание путаницы с понятием «менеджмент», как комплекс действий, определенный выше.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Дата введения: 01.11.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293759/4293759339.htm> (дата обращения: 11.03.2023).

5.27. Менеджмент качества (*Quality management*)

Менеджмент качества – менеджмент применительно к качеству [1].

Примечание 1

Менеджмент может включать установление политик, целей и процессов для достижения этих целей.

Примечание 2

Менеджмент качества может включать разработку политик в области качества, целей в области качества и процессов для достижения этих целей в области качества посредством планирования качества, обеспечения качества, управления качеством и улучшения качества.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р ИСО 9000 – 2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Дата введения: 01.11.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293759/4293759339.htm> (дата обращения: 11.03.2023).

5.28. Обеспечение качества (*Quality assurance*)

Обеспечение качества (QA) – часть менеджмента качества, направленная на создание уверенности, что требования к качеству будут выполнены [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Дата введения: 01.11.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293759/4293759339.htm> (дата обращения: 11.03.2023).

5.29. Требование (*Requirement*)

Требование – потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным [1].

Требование – требуемая (ожидаемая) количественная или качественная характеристика, или свойство объекта, а также связанные ограничения и условия [2].

Примечание 1

Требование может быть сформировано разными заинтересованными сторонами или самой организацией.

Примечание 2

Для обозначения конкретного вида требования могут применяться определяющие слова, например, такие как требование к продукции, требование к менеджменту качества, требование потребителя, требование к качеству.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Дата введения: 01.11.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293759/4293759339.htm> (дата обращения: 11.03.2023).

2. ГОСТ Р 59194–2020. Управление требованиями. Основные положения. Дата введения: 01.06.2021. URL: <http://tk482.ru/sites/default/files/downloads/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%20%D0%A0%2059194-2020%201.0482-1.022.20.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.30. Многоуровневая система требований (Multi-level requirements system)

Многоуровневая система требований – иерархическая система взаимосвязанных структур данных, содержащих формализованные требования к изделию и его составным частям [1].

Примечание 1

В процессе создания цифрового двойника требования верхних уровней декомпозируются, в том числе на целевые показатели и ресурсные ограничения для нижних уровней. Достижение целевых показателей и (или) удовлетворение ресурсным ограничениям всех нижних уровней должно обеспечивать удовлетворение требований более высокого уровня [1].

Примечание 2

Частным случаем многоуровневой системы требований является многоуровневая матрица требований [1].

Примечание 3

Данные, поступающие от эксплуатируемого изделия, используются для уточнения многоуровневой системы требований, доработки цифровых моделей с целью прогнозирования поведения изделия в различных условиях эксплуатации, оптимизации затрат на техническое обслуживание, ремонт, а также для модернизации изделия [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

5.31. Требование к качеству (Quality requirement)

Требование к качеству – это условия и особенности, которым изделия должны соответствовать, чтобы их можно было использовать по назначению при определенных условиях и в течение определенного времени.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р ИСО 9000 – 2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Дата введения: 01.11.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293759/4293759339.htm> (дата обращения: 11.03.2023).

5.32. Разрешительные процедуры (Licensing procedures)

Разрешительные процедуры – процедуры проверки ПО (обязательные и добровольные) на соответствие требованиям, установленным для различного вида и назначения ПО, и оформления ее результатов (выдачи документа) в соответствии с действующими нормативными правовыми актами.

5.33. Качество конечно-элементной модели (Quality of the finite element model)

Качество конечно-элементной модели (КЭМ) – количественные оценки конечно-элементной модели, характеризующие как геометрическое совершенство элементов (априорные оценки до проведения численного моделирования), так и точность рассчитанного напряженно-деформированного состояния (НДС) (апостериорные оценки после проведения [1]).

Примечание 1

Для данных оценок разработчиком программного обеспечения компьютерного моделирования (ПО КМ) по результатам валидации должны быть сформированы как предельно допустимые, так и недопустимые уровни величин, характеризующих качество КЭМ.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57700.10-2018. Численное моделирование физических процессов. Определение напряженно-деформированного состояния. Верификация и валидация численных моделей сложных элементов конструкций в упругой области. Дата введения: 01.01.2019. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/663/66353.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

5.34. Модель зрелости возможностей (Capability Maturity Model)

Модель зрелости возможностей (СММ) – эволюционная модель развития способности компании разрабатывать программное обеспечение. [1].

Примечание 1

В некоторых источниках может также использоваться синонимичный термин «модель полноты потенциала».

Примечание 2

Уровни модели [1] следующие:

- **Начальный.** Самый примитивный статус организации. Организация способна разрабатывать ПО. Организация не имеет явно осознанного процесса, и качество продукта целиком определяется индивидуальными способностями разработчиков.
- **Повторяемый.** В некоторой степени отслеживается процесс. Делаются записи о трудозатратах и планах.
- **Установленный.** Имеется определённый, документированный и установленный процесс работы, не зависящий от отдельных личностей. Вводятся согласованные профессиональные стандарты, а разработчики их выполняют.
- **Управляемый.** Могут точно предсказать сроки и стоимость работ. Есть база данных накопленных измерений, но нет изменений при появлении новых технологий и парадигм.
- **Оптимизированный.** Есть постоянно действующая процедура поиска и освоения новых и улучшенных методов и инструментов.

Примечание 3

Использование модели на практике выявило неоднозначность в подходах к достижению более высоких уровней организации процессов разработки ПО. Поэтому были сформированы рекомендации по улучшению процесса разработки, которые получили название **Capability Maturity Model Integration (CMMI)**.

Использованные источники:

1. **Паулк, М.** Модель зрелости процессов разработки программного обеспечения / М. Паулк, Б. Куртис, М.Б. Хриссис [и др.]. – М.: Богородский печатник, 2002. – 256 с.

5.35. Меры сложности Холстеда (Halstead Complexity Metric)

Меры сложности Холстеда (НСМ) были разработаны для измерения сложности программного модуля непосредственно из исходного кода с упором на вычислительную сложность. Меры были разработаны Морисом Холстедом как средство определения количественной меры сложности непосредственно из операторов и операндов в модуле [1].

Использованные источники:

1. **Halstead, М.Н.** Elements of Software Science / М.Н. Halstead. – Amsterdam: Elsevier North-Holland Inc., 1977. – 127 с.

5.36. Индекс Холстеда зрелости программного обеспечения (Halstead Index of Software Maturity)

Индекс Холстеда зрелости программного обеспечения (НСМ) – один из видов индексов зрелости ПО (Software maturity index (SMI)), разработанный Морисом Холстедом. Индексы зрелости ПО можно использовать для определения готовности программной системы к выпуску [1].

Использованные источники:

1. **Halstead, М.Н.** Elements of Software Science / М.Н. Halstead. – Amsterdam: Elsevier North-Holland Inc., 1977. – 127 с.

5.37. Уровень готовности технологии (Technology Readiness Level)

Уровень готовности технологии (TRL) – метод оценки зрелости технологий для принятия решений, касающихся разработки и перехода на новые технологии [1].

Примечание 1

Среди преимуществ TRL:

- обеспечение общего понимания статуса технологии;
- управление рисками;

- использование для принятия решений, касающихся финансирования технологий;
- использование для принятия решений, касающихся перехода технологии.

Использованные источники:

1. **Heder, M.** From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation / M. Heder // The Innovation Journal. – Том 22. – С. 1–23. – URL: https://www.innovation.cc/discussion-papers/2017_22_2_3_heder_nasa-to-eu-trl-scale.pdf.

5.38. Методика определения уровня готовности производства (Manufacturing Readiness Levels)

Методика определения уровня готовности производства (MRL) позволяет произвести оценку готовности производственно-го процесса к внедрению и использованию новых технологий. [1].

Использованные источники:

1. **Wheeler, D.** Manufacturing Readiness Assessment for Fuel Cell Stacks and Systems for the Back-up Power and Material Handling Equipment Emerging Markets – Technical Report NREL/TP-560-45406 / D. Wheeler, M. Ulsh. – National Renewable Energy Laboratory, 2010. – 92 с. – URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/45406.pdf>.

5.39. Функционально-стоимостный анализ систем (Value Analysis)

Функционально-стоимостный анализ систем (ФСА) – метод системного исследования функций объекта с целью поиска баланса между себестоимостью и полезностью [1]. Используется как методология непрерывного совершенствования продукции, услуг, производственных технологий, организационных структур.

Примечание 1

Классический ФСА имеет три англоязычных названия-синонима – *Value Engineering*, *Value Management*, *Value Analysis*.

Не следует путать метод ФСА, как это имеет место у некоторых авторов, с методом ABC (Activity Based Costing).

Примечание 2

Начало методу положили наработки советского инженера Ю.М. Соболева (поэлементный экономический анализ, ПЭА) и американца Л.Д. Майлса (value analysis/value engineering, VA/VE).

Примечание 3

Суть метода ФСА – поэлементная отработка конструкции. Ю. М. Соболев предложил рассматривать каждый элемент конструкции в отдельности, разделив элементы по принципу функционирования на основные и вспомогательные. Из анализа становилось ясно, где «спрятаны» излишние затраты [2].

Задачей ФСА является достижение наивысших потребительских свойств продукции при одновременном снижении всех видов производственных затрат.

Примечание 4

Сегодня в экономически развитых странах практически каждое предприятие или компания используют методологию функционально-стоимостного анализа как практическую часть системы менеджмента качества, наиболее полно удовлетворяющую принципам стандартов серии ИСО 9000 [3].

Примечание 5

Основные идеи ФСА.

- Потребителя интересует не продукция как таковая, а польза, которую он получит от её использования.
- Потребитель стремится сократить свои затраты.
- Интересующие потребителя функции можно выполнить различными способами, а, следовательно, с различной эффективностью и затратами.

- Среди возможных альтернатив реализации функций существуют такие, в которых соотношение качества и цены является оптимальным для потребителя.

Использованные источники:

1. **Шатунова, Г.А.** Историко-логический генезис и периодизация этапов развития функционально-стоимостного анализа / Г.А. Шатунова, О.Н. Кузьмина // Вестник Самарского государственного экономического университета: журнал. – Самара, 2012. – № 4 (90). – С. 91–96.

2. **Сосновский, Я.Ш.** Функционально-стоимостной анализ / Я.Ш. Сосновский, П.Г. Ткаченко. – Киев: Техника, 1986. – 143 с.

3. **Карпунин, М.Г.** Справочник по функционально-стоимостному анализу / Под ред. М. Г. Карпунина, Б. И. Майданчика. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 430 с.

6. Модернизация и совершенствование инженерии

Применение технологий автоматизации и компьютеризации производств, а также современных технологий является одним из направлений технической и инструментальной модернизации всей инженерной области. Совместно с этими изменениями методы и инженерные подходы к решению задач также модернизируются и совершенствуются.

6.1. Системная инженерия / системный инжиниринг (System engineering (SE))

Системная инженерия или **системный инжиниринг (СИ)** – междисциплинарный подход к созданию успешных систем, определяющий полный набор технических и управленческих усилий, необходимых для преобразования совокупности потребностей клиента, ожиданий и ограничений в решении и для поддержки этих решений на протяжении их жизненного цикла. [1].

Примечание 1

Системный инжиниринг представляет собой деятельность по внутренней работе над проектированием нового изделия. Особенностью подхода является системное рассмотрение всех дальнейших вопросов и аспектов задач на начальном этапе проектирования для обеспечения наиболее полной готовности изделия до его фактического создания.

Использованные источники:

1) ГОСТ Р 57269–2016. Интегрированный подход к управлению информацией жизненного цикла антропогенных объектов и сред. Термины и определения. Дата введения: 01.01.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/631/63173.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

6.2. Подсистема (Subsystem)

Подсистема – часть системы, которая изучается самостоятельно и соответствует определению объекта (системы). Каждая подсистема является, в свою очередь, системой, которая может делиться на более частные подсистемы. Когда рассматривается одна подси-

стема, то другие подсистемы являются для нее средой (или внешней средой) [1].

Примечание 1

Связи подсистемы со средой осуществляются через входы и выходы. Разделение систем на подсистемы (соответственно моделей на подмодели, автономные модели) осуществляется в соответствии с системным подходом [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57269–2016. Интегрированный подход к управлению информацией жизненного цикла антропогенных объектов и сред. Термины и определения. Дата введения: 01.01.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/631/63173.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

6.3. Элемент системы (System element)

Элемент системы – подсистема, дальше неделимая при исследовании и рассматриваемая как единое целое в соответствии с уровнем проработки и точкой зрения [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57269–2016. Интегрированный подход к управлению информацией жизненного цикла антропогенных объектов и сред. Термины и определения. Дата введения: 01.01.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/631/63173.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

6.4. Цели в области устойчивого развития (Sustainable Development Goals (SDGs))

Цели в области устойчивого развития (ЦУР) – набор из 17 взаимосвязанных целей, разработанных в 2015 году Генеральной Ассамблеей ООН в качестве «плана достижения лучшего и более устойчивого будущего для всех» [1].

Примечание 1

Эти цели были названы в резолюции Генассамблеи «Повесткой дня на период до 2030 года» и они заменили собой *Цели развития тысячелетия*. Итоговый документ Генассамблеи «Преобразование

нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» содержит 17 глобальных целей и 169 соответствующих задач [2].

Примечание 2

Под *устойчивым развитием*, в данном контексте подразумевается принятие мер, направленных на оптимальное использование ограниченных ресурсов и использование экологических – природо-, энерго-, и материало-сберегающих технологий, на сохранение стабильности социальных и культурных систем, на обеспечение целостности биологических и физических природных систем.

Использованные источники:

1. Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017, Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development / UN. General Assembly, 2017. – 25 с. – URL: <https://digitallibrary.un.org/record/1291226>;

2. Technical report by the Bureau of the United Nations Statistical Commission (UNSC) on the process of the development of an indicator framework for the goals and targets of the post-2015 development agenda (Working draft) / UN. General Assembly, 2015. – 44 с. – URL: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/6754Technical%20report%20of%20the%20UNSC%20Bureau%20\(final\).pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/6754Technical%20report%20of%20the%20UNSC%20Bureau%20(final).pdf).

6.5. Высокопроизводительные вычисления (High Performance Computing)

Высокопроизводительные вычисления (HPC) – практика объединения вычислительных мощностей с целью обеспечения более высоких рабочих характеристик, чем у обычных компьютеров или серверов [1].

Примечание 1

Среды высокопроизводительных вычислений или вычислений на суперкомпьютере решают задачи с высокой нагрузкой, используя отдельные узлы (компьютеры) в кластере (связанной группе) для выполнения огромных объемов вычислений за короткий период времени. Для снижения затрат создание и удаление этих кластеров в облаке часто автоматизируется. HPC можно использовать для

нагрузок многих типов, но два наиболее распространенных – это нагрузки с массовым параллелизмом и сильносвязанные нагрузки [1].

Примечание 2

Примерами применения НРС являются:

- создание сложных симуляций, таких как воздушный поток над крыльями самолетов для аэрокосмической промышленности;
- секвенирование ДНК, анализ взаимодействия лекарств и выполнение анализов белков для поддержки исследований происхождения в геномике;
- создание анимации, рендеринг спецэффектов для фильмов, перекодирование огромных медиафайлов и создание представлений с эффектом присутствия;
- выполнение пространственного анализа и тестирование моделей пласта для прогнозирования местоположения нефти и газа, а также выполнение моделирования, например, потока жидкости, и обработки сейсмических данных для нефтегазовой отрасли.

Примечание 3

Высокопроизводительные вычисления могут выполняться локально, в облаке или в гибридной модели, в которой задействованы как облачные, так и локальные компоненты.

Использованные источники:

1. Что такое высокопроизводительные вычисления (НРС)? [Электронный ресурс] // Oracle Cloud Infrastructure (OCI). URL: <https://www.oracle.com/cis/cloud/hpc/what-is-hpc> (дата обращения: 10.02.2023).

6.6. Высокопроизводительные вычисления для решения инженерных задач (High Performance Technical Computing)

Высокопроизводительные вычисления для решения инженерных задач (НРТС) или «суперкомпьютерный инжиниринг» представляет собой применение *высокопроизводительных вычислений (НРС)* для решения технических, а не деловых или научных задач.

Примечание 1

НРТС часто относится к применению *НРС* к инженерным задачам и включает в себя вычислительную гидродинамику, моделирование, сейсмическую томографию и др. [1].

Использованные источники:

1. **Collette, M.** High Performance Tools & Technologies / M. Collette, B. Corey, J. Johnson. Lawrence Livermore National Laboratory, U.S. Department of Energy, 2005. – URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/15014498>.

6.7. Меганаука (Mega-science)

Меганаука или **Мегасайенс** – крупные дорогостоящие международные научные и исследовательские комплексы, а также название класса уникальных научных установок в классификации Минобрнауки в Национальном проекте «Наука» [1].

Меганаука – научная деятельность, связанная с *мегапроектами* создания исследовательских установок, финансирование, создание и эксплуатация которых выходит за рамки возможностей отдельных государств (Международная Космическая Станция, Большой Адронный Коллайдер, Интернациональный Термоядерный Экспериментальный Реактор и др.) [2].

Примечание 1

Необходимым условием для того, чтобы проект отнесли к классу «**мегасайенс**», является наличие научной программы, позволяющей выйти за рамки современных знаний в области фундаментальных наук и открывающей новые возможности в развитии технологий. Это предусматривает создание и развитие сети исследовательских установок, превосходящих по техническим характеристикам, параметрам и достижимым возможностям существующие в мире. Создание и эксплуатация их может происходить на основе международного научно-технического сотрудничества [1].

Примечание 2

Участие России в международных исследовательских комплексах «Мегасайенс» [3]:

- Международный термоядерный экспериментальный реактор (ITER);

- Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах (XFEL);
- Большой адронный коллайдер (LHC) в ЦЕРН;
- Европейский центр синхротронного излучения (ESRF);
- Европейский центр по исследованию ионов и антипротонов (FAIR);
- Международный эксперимент (Borexino).

Возможные будущие научные установки класса «мегасайенс» [4]:

- Комплекс сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжёлых ионов NICA;
- Международный центр нейтронных исследований на базе высокопоточного исследовательского реактора ПИК;
- Токамак с сильным магнитным полем (Игнитор);
- Ускорительный комплекс со встречными электрон-позитронными пучками (Супер чарм-тау фабрика);
- Международный центр исследований экстремальных световых полей (ЦИЭС);
- Рентгеновский источник синхротронного излучения четвёртого поколения (ИССИ-4);
- Сибирский кольцевой источник фотонов (СКИФ).

Использованные источники:

1. Паспорт национального проекта «Наука». – Министерство науки и высшего образования РФ, 2021. – 10 с. – URL: <https://minobrnauki.gov.ru/upload/2021/09/%D0%9D%D0%B8%D0%A3.PDF>.
2. **Боровков, А.И.** Учебное пособие «Современное инженерное образование» / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.
3. Установки «Мегасайнс» – это международные исследовательские комплексы [Электронный ресурс] // Национальная контактная точка «исследовательские инфраструктуры». – URL: <http://h2020-infra.misis.ru/megasajns> (дата обращения: 10.02.2023).
4. Сбор предложений по созданию проектов класса «мегасайенс» [Электронный ресурс] // Информационно-новостной ресурс Интелика. – URL: http://rsci.ru/grants/grant_news/284/240919.php (дата обращения: 10.02.2023).

6.8. Машинное обучение (Machine Learning)

Машинное обучение (ML) – это область исследований, посвященная пониманию и созданию методов, которые «обучаются», то есть методов, которые используют данные для повышения производительности при выполнении определенного набора задач [1].

Машинное обучение – класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение за счёт применения решений множества сходных задач. Для построения таких методов используются средства математической статистики, численных методов, математического анализа, методов оптимизации, теории вероятностей, теории графов, различные техники работы с данными в цифровой форме [2].

Примечание 1

Алгоритмы машинного обучения строят модель на основе выборочных данных, известных как обучающие данные, чтобы делать прогнозы или принимать решения без явного предварительного программирования для выполнения данных задач [3].

Примечание 2

Подмножество машинного обучения тесно связано с вычислительной статистикой, которая фокусируется на прогнозировании с использованием компьютеров, но не все машинное обучение является статистическим обучением [4].

Примечание 3

Классические задачи, решаемые с помощью машинного обучения:

- классификация;
- кластеризация;
- регрессия;
- понижение размерности данных и их визуализация;
- восстановление плотности распределения вероятности по набору данных;
- одноклассовая классификация и выявление новизны;
- построение ранговых зависимостей;
- обнаружение аномалий.

Использованные источники:

1. **Mitchell, T.M.** Machine Learning / T.M. Mitchell. – New York: McGraw Hill, 2017. – 414 с.
2. **Айвазян, С.А.** Прикладная статистика: основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
3. **Koza, J.R.** Automated Design of Both the Topology and Sizing of Analog Electrical Circuits Using Genetic Programming / J.R. Koza, F.H. Bennett, David A., Martin A.K. // Artificial Intelligence in Design. – Springer, Dordrecht, 1996. – С. 151–170. – doi:10.1007/978-94-009-0279-4_9.
4. **Friedman, J.H.** Data Mining and Statistics: What's the connection? / J.H. Friedman // Computing Science and Statistics. – 1998. – № 29. – С. 3–9.

6.9. Вычислительная гидроаэродинамика (Computational Fluid Dynamics)

Вычислительная гидроаэродинамика (CFD) – область расчетов, где основным методом решения задач механики жидкости и газа выступает метод конечных объемов [1].

Вычислительная гидроаэродинамика – это раздел гидромеханики, который использует численный анализ и структуры данных для анализа и решения задач, связанных с потоками жидкости [2].

Примечание 1

CFD применяется для решения широкого круга исследовательских и инженерных задач во многих областях исследований и отраслях, включая аэродинамику и аэрокосмический анализ, гиперзвук, моделирование погоды, естественные науки и экологическую инженерию, проектирование и анализ промышленных систем, биологическую инженерию, потоки жидкости и теплопередача, а также визуальные эффекты для фильмов и игр.

Использованные источники:

1. **Боровков, А.И.** Учебное пособие «Современное инженерное образование» / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.
2. **Anderson, J.D.** Computational Fluid Dynamics: The Basics With Applications / J.D. Anderson. – McGraw-Hill Science, 1995. – 627 с.

7. Жизненный цикл изделия и его этапы

Автоматизация и компьютеризация в рамках цифровизации инженерии на производствах привела к значительному изменению жизненного цикла изделия на производстве. Применение современных технических и программных решений позволило оптимизировать и усовершенствовать как отдельные этапы, так и весь жизненный цикл в целом.

7.1. Изделие (*Item / Article*)

Изделие – любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии [1, 2].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

2. ГОСТ 2.101-68. Единая система конструкторской документации. Виды изделий. Дата введения: 01.01.1971. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/54/5481.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.2. Финальное изделие (*Final item / Product*)

Финальное изделие (ФИ) – сложное *изделие*, не нуждающееся в дальнейшей промышленной переработке, предназначенное для поставки (продажи) с целью его самостоятельного применения по назначению и состоящее из конструктивно, функционально и информационно связанных составных частей (изделий и материалов, в том числе систем, подсистем, программных и аппаратных средств) [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.3. Изделие комплектующее (Component)

Изделие комплектующее – составная часть *финального изделия* (образца), являющаяся конструктивно законченным стандартным или иным изделием (например, прибор, блок, модуль, узел и т. п.), необходимым для применения *финального изделия* по назначению и поставляемым по заказу лиц, осуществляющих создание, эксплуатацию и (или) ремонт *финального изделия*, либо самостоятельно создаваемым такими лицами [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.4. Изделие покупное комплектующее (Appliance)

Изделие покупное комплектующее – *комплектующее изделие*, поставляемое в готовом виде по заказу лиц, осуществляющих создание, эксплуатацию и (или) ремонт другого изделия, и используемое в этом изделии в качестве его составной части [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.5. Составная часть (Part)

Составная часть (СЧ) – самостоятельная часть *изделия* (образца), предназначенная для выполнения определенных технических функций в его составе [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.6. Жизненный цикл (*Life cycle*)

Жизненный цикл (ЖЦ) или **жизненный цикл изделия** – мера совершенства конструкции финального изделия (образца, комплекса) и системы их технической эксплуатации, отражающая соотношение характеристик готовности и стоимости владения [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.7. Стадия жизненного цикла (*Life cycle stage*)

Стадия жизненного цикла – часть *жизненного цикла*, выделяемая по признакам характерных для нее явлений, процессов (работ) и конечных результатов [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.8. Этап жизненного цикла (*Life cycle milestone*)

Этап жизненного цикла – часть стадии жизненного цикла, выделяемая по признакам моментов контроля (контрольных рубежей), где предусматривается проверка характеристик проектных решений типовой конструкции и (или) физических характеристик экземпляров изделий [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.9. Контрольный рубеж (Milestone gate)

Контрольный рубеж или **контрольный рубеж этапа жизненного цикла** – момент времени (как правило, момент завершения *этапа жизненного цикла*), в который предусматривается проверка характеристик проектных решений типовой конструкции и (или) физических характеристик экземпляров изделий [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.10. Разработка (Development)

Разработка – стадия жизненного цикла, на которой выполняются проектирование конструкции изделия, изготовление и испытания опытных образцов, технологическая подготовка производства [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.11. Производство (Manufacturing)

Производство – стадия жизненного цикла, на которой осуществляется изготовление изделий, предназначенных для поставки заказчиком (серийных изделий) [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.12. Эксплуатация (Operation)

Эксплуатация – стадия жизненного цикла, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается качество изделия, включающая в общем случае использование по назначению, транспортирование и техническую эксплуатацию: хранение, техническое обслуживание и все виды ремонта, кроме тех, которые выполняются на условиях временного вывода изделия из эксплуатации, например, капитальный ремонт [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.13. Утилизация (Disposal)

Утилизация – стадия жизненного цикла, на которой осуществляется изменение целевого назначения или уничтожение изделий по причине невозможности или нецелесообразности их дальнейшего применения по основному назначению с обеспечением возможности вторичного использования таких изделий, либо материалов, полученных при их уничтожении (разборке) [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.14. Модель жизненного цикла (Life cycle model)

Модель жизненного цикла – формальное описание, отражающее состав, содержание и взаимосвязи стадий, их этапов, явлений и процессов, имеющих место на разных стадиях жизненного цикла [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136–2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.15. Контракт жизненного цикла (Life cycle contract)

Контракт жизненного цикла – договор, предусматривающий создание и поставку изделия, создание объекта и (или) предоставление услуг по обеспечению эксплуатации и (или) ремонта изделия или объекта в течение всего срока их службы, а также последующую утилизацию такого изделия или объекта [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136–2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.16. Управление жизненным циклом (Life cycle management, Product Lifecycle Management)

Управление жизненным циклом (PLM) – часть деятельности в области разработки, производства, обеспечения эксплуатации, ремонта и утилизации продукции, связанная с обеспечением заданных требований к продукции на основе поэтапного планирования и контроля соответствия продукции заданным требованиям на стадиях разработки, производства и эксплуатации, а также поддержанием такого соответствия требованиям на стадии эксплуатации путем управляемого воздействия на конструкцию образцов продукции, производственную среду и систему технической эксплуатации [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/587/58768.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

7.17. Управление жизненным циклом моделирования (Simulation Lifecycle Management)

Управление жизненным циклом моделирования (SLM) позволяет специалистам в области моделирования управлять данными, фиксировать и применять лучшие практики компании, распределять модели по вычислительным мощностям и обмениваться результатами моделирования в целях улучшения коллективного принятия решений [1].

Использованные источники:

1. SLM Simulia [Электронный ресурс] // MOBIUS Information technology centre. URL: http://www.mebius.spb.ru/simulia_v6_sub1.html (дата обращения: 10.02.2023).

7.18. Управления жизненным циклом приложений (Application lifecycle management)

Управление жизненным циклом приложений (ALM) – это *управление жизненным циклом* (управление, разработка и обслуживание) компьютерных программ. Он включает в себя управление требованиями, архитектурой программного обеспечения, компьютерным программированием, тестированием программного обеспечения, обслуживанием программного обеспечения, а также управление изменениями, непрерывную интеграцию, управление проектами и управление выпуском продукции [1].

Использованные источники:

1. **Keuper, F.** Application Management: Challenges – Service Creation – Strategies / F. Keuper, C. Oecking, A. Degenhardt. – Gabler Verlag, 2011. – 338 с.

7.19. Информационная поддержка жизненного цикла изделий (Continuous Acquisition and Life cycle Support (CALSS))

Информационная поддержка жизненного цикла изделий (ИПИ) означает совокупность принципов и технологий информационной поддержки жизненного цикла продукции на всех его стадиях [1].

Примечание 1

В последнее время за рубежом наряду с CALS используют также термин Product Lifecycle Management (PLM) [1].

Примечание 2

Целью применения CALS-технологий как инструмента организации и информационной поддержки всех участников создания, производства и пользования продуктом является повышение эффективности их деятельности за счет ускорения процессов исследования и разработки продукции, придания изделию новых свойств, сокращения издержек в процессах производства и эксплуатации продукции, повышения уровня сервиса в процессах ее эксплуатации и технического обслуживания.

Использованные источники:

1. **Судов, Е.В.** Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / Е.В. Судов, А.И. Левин, Л.Н. Давыдов, В.В. Барабанов. – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002. –131 с. – URL: https://cals.ru/sites/default/files/downloads/mdocs/concept_ipi.pdf.

7.20. Экологически рациональное производство (Sustainable Manufacturing)

Экологически рациональное производство – это производство продукции с помощью экономически обоснованных процессов, сводящих к минимуму негативное воздействие на окружающую среду при сохранении энергии и природных ресурсов. Устойчивое производство также повышает безопасность сотрудников, общества и продукции. [1].

Использованные источники:

1. Sustainable Manufacturing [Электронный ресурс] // EPA United States Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/sustainability/sustainable-manufacturing> (дата обращения: 10.02.2023).

8. Цифровые двойники

8.1. Виртуализация (*Virtualization*)

Виртуализация – совокупность методов и средств представления числовой информации или физического явления в виде, удобном для зрительного наблюдения и анализа, а также результат такого представления [1].

Виртуализация – это технология, которую можно использовать для создания виртуальных представлений серверов, хранилища, сетей и других физических устройств [2].

Примечание 1

Преимущества виртуализации:

- эффективное использование ресурсов;
- автоматизированное управление ИТ;
- быстрое аварийное восстановление.

Примечание 2

Типы виртуализации:

- виртуализация серверов;
- виртуализация хранилища;
- виртуализация сети;
- виртуализация данных;
- виртуализация приложений;
- виртуализация рабочих столов.

Примечание 3

Примером использования виртуализации является возможность запуска нескольких операционных систем на одном компьютере, при этом каждый из экземпляров таких гостевых операционных систем работает со своим набором логических ресурсов (процессорных, оперативной памяти, устройств хранения), предоставлением которых из общего пула, доступного на уровне оборудования, управляет хостовая операционная система – гипервизор. Также могут быть подвергнуты виртуализации сети передачи данных, сети хранения данных, платформенное и прикладное программное обеспечение и другие объекты [1].

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57721 – 2017. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Эксперимент виртуальный. Общие положения. Дата введения: 01.09.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293743/4293743124.pdf> (дата обращения: 14.03.2023);

2. Что такое виртуализация? [Электронный ресурс] // AWS AMAZON. URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/virtualization/> (дата обращения: 10.02.2023).

8.2. Виртуальная реальность (Virtual Reality)

Виртуальная реальность (VR) – высокоразвитая форма виртуальной среды, обладающая высокой степенью достоверности визуализации, имитирующая как воздействие на изучаемый объект, так и реакции на это воздействие [1].

Примечание 1

Виртуальная реальность является интерактивной версией реальности, обогащенной цифровыми изображениями, звуками и другими сигналами с помощью специальных технологий. Имеет иммерсивные функции, которые позволяют работать в виртуальном мире с помощью специальной гарнитуры и наушников.

Примечание 2

Виртуальная среда – форма имитационного моделирования, использующая средства визуализации для формирования наглядных копий моделируемых систем (объектов, процессов, явлений).

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 57721 – 2017. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Эксперимент виртуальный. Общие положения. Дата введения: 01.09.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293743/4293743124.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

8.3. Смешанная реальность (Mixed Reality)

Смешанная реальность (MR) – результат объединения реального и виртуальных миров для созданий новых окружений и визуализаций, где физический и цифровой объекты сосуществуют и вза-

имодействуют в реальном времени. Существует не только в реальном или виртуальном виде, а как смесь реальной и виртуальной реальности, охватывает дополненную реальность и дополненную виртуальность [1, 2].

Примечание 1

В некоторых источниках, для обозначения смешанной реальности могут также использоваться синонимичные термины гибридная реальность или смешанная реальность.

Примечание 2

Примерами применения MR в бизнесе и образовании являются такие системы и ПО, как:

- IPCM (Interactive Product Content Management) – интерактивный менеджмент содержания продуктов;
- SBL (Simulation Based Learning) – симуляционное обучение.

Использованные источники:

1. **Milgram, P.** Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays / P. Milgram, A.F. Kishino // IEICE Transactions on Information and Systems. –1994. – Том E77-D. – №12. – С. 1321–1329;

2. **Осипов, И.В.** Технические средства человеко-компьютерного взаимодействия TUI. Обзор и анализ возможностей использования в игрофикации / И.В. Осипов // Cloud of science. – 2016. – № 4. – С. 572–602.

8.4. Дополненная реальность (Augmented Reality)

Дополненная реальность (AR) – интерактивная версия реальности, обогащенная цифровыми изображениями, звуками и другими сигналами с помощью специальных технологий. Предназначена для добавления цифровых элементов к объектам из реального мира, при этом взаимодействие с ними ограничено [1].

Примечание 1

Различают два основных типа дополненной реальности.

Маркерная AR создается с помощью технологии распознавания изображений. Эта технология определяет объекты, которые были предварительно добавлены в базу данных AR-устройства или приложения.

Безмаркерная AR – это более сложная технология, поскольку в ней нет якорного элемента. Устройство пользователя должно распознавать все объекты, которые появляются в поле зрения. Используя специальный алгоритм, устройство анализирует цвета, текстуру и схожие черты, чтобы определять, какой объект перед ним находится.

Использованные источники:

1. Что такое дополненная реальность, или AR? [Электронный ресурс] // Microsoft Dynamics 365 Guides. URL: <https://dynamics.microsoft.com/ru-ru/mixed-reality/guides/what-is-augmented-reality-ar/> (дата обращения: 10.02.2023).

8.5. Цифровизация (Digitalization)

Цифровизация – это повсеместное внедрение цифровых технологий в разные сферы жизни: промышленность, экономику, образование, культуру, обслуживание и т. п. [1].

Примечание 1

Понятие «цифровизация предприятия» связано с внедрением новых технологий, ставших доступными для бизнеса в последние годы: аналитика больших данных и машинное обучение, искусственный интеллект, роботизация, дополненная реальность, интернет вещей (IoT), 3D-печать, облачные вычисления [1].

Примечание 2

Предпосылками для развития и проникновения цифровизации стали: снижение стоимости технологий и вычислительных мощностей, а также рост доступности высокоскоростной передачи данных [1].

Использованные источники:

1. **Алехина, Т.А.** Цифровизация в промышленности / Т.А. Алехина // Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования. – 2020. – № 11. – С. 135–138.

8.6. Сквозные цифровые технологии (End-to-end digital technologies)

Сквозные цифровые технологии (СЦТ) – передовые научно-технические отрасли, обеспечивающие создание высокотехнологичных продуктов и сервисов и наиболее сильно влияющие на развитие экономики, радикально меняя ситуацию на существующих рынках и(или) способствуя формированию новых рынков.

Примечание 1

Сквозная технология – перспективная технология, радикально меняющая ситуацию на существующих рынках или способствующая формированию новых рынков. Приоритетность научных направлений в области сквозных технологий связана с тем, что они имеют ключевое значение для развития сразу нескольких перспективных рынков. Формирование в Российской Федерации научно-технологического задела по сквозным технологиям может напрямую способствовать созданию глобально конкурентоспособных высокотехнологичных продуктов и сервисов. При этом фокусирование исследовательской деятельности отечественных университетов и научных институтов на сквозных технологических направлениях позволит им быть востребованными со стороны новых секторов отечественной экономики в течение ближайших 20 лет [1].

Примечание 2

Перечень сквозных технологий постоянно пополняется, на данный момент в перечень входят такие технологии, как [1]:

- цифровое проектирование/моделирование;
- новые материалы;
- аддитивные технологии;
- технологии связи (в т.ч. квантовые);
- сенсорика;
- мехабиотроника;
- бионика;
- нейроинтерфейсы;
- BigData;
- ИИ и системы управления;

- элементная база (в том числе процессоры);
- новые источники энергии;
- биотехнологии.

Использованные источники:

1. Сквозные технологии [Электронный ресурс] / АСИ. – Екатеринбург: Издательские решения, 2017. – Т. 29. – (Серия 04 НТИ: большая ставка). – URL: https://ridero.ru/books/skvoznue_tekhnologii/freeText (дата обращения: 13.01.2023).

8.7. Цифровая экономика (*Digital Economy*)

Цифровая экономика – экономическая деятельность, основанная на цифровых технологиях, связанная с электронным бизнесом и электронной коммерцией, которые производят и сбывают цифровые товары и услуги [1, 2].

Примечание 1

В некоторых источниках могут также использоваться синонимичные термины «электронная экономика», «виртуальная экономика» и «сетевая экономика».

Примечание 2

Цифровая экономика отличается сверхнизкими транзакционными издержками и наличием таких характеристик, как прозрачность и прослеживаемость [2].

Примечание 3

Цифровая экономика является результатом миллиардов ежедневных онлайн-транзакций между людьми, организациями (предприятиями, образовательными учреждениями, некоммерческими организациями и т.д.) и распределенными вычислительными устройствами (серверами, ноутбуками, смартфонами и т.д.), осуществляемых с помощью интернета и технологии блокчейна. Таким образом, цифровая экономика быстро превращается в Интернет вещей (IoT) и не может существовать в своем нынешнем виде без Интернета [3].

Использованные источники:

1. **Bukht, R.** Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy / R. Bukht, R. Heeks // Development Informatics Working Paper. – 2019. – № 68. – 26 с. – DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3431732>.

2. **Golitsina, I.N.** Setevaya ekonomika [Network economy] / I.N. Golitsina. – Kazan, Kazan University, 2014. – 36 с.

3. **Carlsson, B.** The Digital Economy: what is new and what is not? / B. Carlsson // Structural Change and Economic Dynamics. Contains the special issue New and Old Economy: The Role of ICT in Structural Change and Economic Dynamics. – 2004. – №15 (3). – С. 245–264.

8.8. Искусственный интеллект (*Artificial Intelligence (AI)*)

Искусственный интеллект (ИскИИ / ИИ) – раздел информатики, изучающий методы, способы и приёмы моделирования и воспроизведения с помощью ЭВМ мыслительной деятельности человека, связанной с решением широкого круга задач [1].

Примечание 1

ИИ обладает большой памятью, быстродействием, способностью к самообучению и самоорганизации, умением распознавать образы, звуки и давать экспертные оценки. ИИ базируется на вычислительной технике, математической логике, программировании, психологии, физиологии, кибернетике, бионике, нейрофизиологии, лингвистике и других отраслях знания [1].

Использованные источники:

1. **Рязанцев, В.Д.** Большая политехническая энциклопедия / В.Д. Рязанцев. – М.: Мир и образование, 2011. – 704 с.;

8.9. Цифровая фабрика (*Digital Factory*)

Цифровая фабрика – системы комплексных технологических решений, обеспечивающие в кратчайшие сроки проектирование и производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения, начиная стадией исследования и планирования, когда закладываются базовые принципы изделия, и заканчивая созданием цифрового макета (*Digital Mock-Up, DMU*), «цифрового двойника» (*Smart Digital Twin*), опытного образца или мелкой серии («безбумажное производство», «всё в цифре») [1].

Примечание 1

Цифровая фабрика подразумевает наличие «умных» моделей продуктов или изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.) на основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования *Smart Digital Twin – [(Simulation & Optimization) Smart Big Data]-Driven Advanced (Design & Manufacturing)* [1].

Примечание 2

Цифровые фабрики играют важную роль в задаче реализации *цифровой экономики*, так как они являются определенным типом системы бизнес-процессов, способом комбинирования бизнес-процессов, который имеет следующие характеристики [1]:

- создание цифровых платформ, своеобразных экосистем передовых цифровых технологий; именно платформенный подход позволяет объединить территориально распределенных участников процессов проектирования и производства, повысить уровень гибкости и кастомизации с учетом требований потребителей, и всё это на основе предсказательной аналитики и больших данных;

- разработка системы цифровых моделей как новых проектируемых изделий, так и производственных процессов; здесь важно подчеркнуть, что цифровые модели должны обладать высоким уровнем адекватности реальным объектам и реальным процессам (здесь уместно говорить про конвергенцию материального и цифрового миров, порождающих синергетические эффекты);

- цифровизация всего жизненного цикла изделий (от концепции, проектирования, производства, эксплуатации, сервисного обслуживания и до утилизации); все понимают, что стоимость изменений тем больше, чем позже мы эти изменения вносим, а потому мировая практика показывает, что «центр тяжести» смещается в сторону процессов проектирования, в рамках которых и закладываются характеристики глобальной конкурентоспособности или высокие потребительские требования.

Использованные источники:

1. Национальная технологическая инициатива (НТИ) [Электронный ресурс] / CML (CompMechLab) Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых

двойников. URL: <https://fea.ru/compound/national-technology-initiative> (дата обращения: 13.01.2023).

8.10. Умные фабрики (Smart Factory)

Умные фабрики – системы комплексных технологических решений, обеспечивающие в кратчайшие сроки производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения от заготовки до готового изделия, отличительными чертами которого является высокий уровень автоматизации и роботизации, исключая человеческий фактор и связанные с этим ошибки, ведущие к потере качества («безлюдное производство»). В качестве входного продукта «Умных» фабрик, как правило, используются результаты работы *Цифровых фабрик* [1].

Примечание 1

Умная фабрика обычно подразумевает наличие оборудования для производства станков с числовым программным управлением, промышленных роботов и т.д., а также *автоматизированных систем управления технологическими процессами (Industrial Control System, ICS) и систем оперативного управления производственными процессами на уровне цеха (Manufacturing Execution System, MES)* [1].

Использованные источники:

1. Национальная технологическая инициатива (НТИ) [Электронный ресурс] / CML (CompMechLab) Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников. URL: <https://fea.ru/compound/national-technology-initiative> (дата обращения: 13.01.2023).

8.11. Виртуальная фабрика (Virtual Factory)

Виртуальная фабрика – системы комплексных технологических решений, обеспечивающие в кратчайшие сроки проектирование и производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения за счет объединения *Цифровых* и (или) «Умных» фабрик в распределенную сеть [1].

Примечание 1

Виртуальная фабрика подразумевает наличие *информационных систем управления предприятием (Enterprise Application Systems, EAS)*, позволяющих разрабатывать и использовать в виде единого объекта виртуальную модель всех организационных, технологических, логистических и прочих процессов на уровне глобальных цепочек поставок (поставки => производство => дистрибуция и логистика => сбыт => послепродажное обслуживание) и (или) на уровне распределенных производственных активов [1].

Использованные источники:

1. Национальная технологическая инициатива (НТИ) [Электронный ресурс] / CML (CompMechLab) Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников. URL: <https://fea.ru/compound/national-technology-initiative> (дата обращения: 13.01.2023).

8.12. Виртуальный ввод в эксплуатацию (Virtual commissioning)

Виртуальный ввод в эксплуатацию – практика использования *цифровых технологий* моделирования и цифровых двойников для «ввода в эксплуатацию» – проектирования, установки или тестирования модели виртуальной модели [1].

Примечание 1

Виртуальный ввод в эксплуатацию сочетает в себе три важные части: *цифровую модель (цифровой двойник)*, ПО контроля, которое управляет объектом и реагирует на обратную связь с датчиком, и среду разработки, которая позволяет им работать вместе [1].

Примечание 2

Реализация технологии виртуального ввода в эксплуатацию, позволяет:

- тестировать код и устранять ошибки в виртуальной среде;
- моделировать работу оборудования, выявлять возможные проблемы и быстро найти альтернативные решения;
- моделировать работу роботизированной ячейки;
- разрабатывать операционные процессы;
- обучать супервизоров и операторов оборудования;

- смоделировать, как новое оборудование работает на предприятии, чтобы определить узкие места и пространственные ограничения, и определить их до того, как оборудование будет установлено.

Использованные источники:

1. What is virtual commissioning? [Электронный ресурс] / Virtual commissioning by charlotte turnbull (waybackmachine). URL: <https://web.archive.org/web/20220519120437/https://virtualcommissioning.com/what-is-virtual-commissioning/> (дата обращения: 13.01.2023);

2. **Hoffmann, P.** Virtual Commissioning Of Manufacturing Systems A Review And New Approaches For Simplification / P/ Hoffmann, R. Schumann, G. Premier // European Conference on Modelling and Simulation, Kuala Lumpur, Malaysia, 01.06.2010. – С. 175–181.

8.13. Цифровое проектирование (Virtual Engineering)

Цифровое проектирование (VE) или **виртуальный инжиниринг** – интеграция геометрических моделей и связанных с ними инженерных инструментов, таких как инструменты анализа, моделирования, оптимизации, принятия решений и т. д., в компьютерной среде, которая облегчает междисциплинарную совместную разработку продукта [1].

Примечание 1

В разрезе сквозных цифровых технологий, цифровое проектирование и моделирование задействовано в следующих направлениях развития [2].

- Применение передовых цифровых технологий проектирования жизненного цикла продукта и приведение его в соответствие с многоуровневой матрицей целевых показателей и ограничений (требования / ограничения: технологические, технические, экономические и т. д.) на его разработку.

- Проектирование best-in-class оптимизированных конструкций на основе современной концепции (Simulation & Optimization) – Driven Advanced Design & Advanced Manufacturing;

- Конструкторские работы (CAD); компьютерный / суперкомпьютерный инжиниринг (CAE, HPC), все виды оптимизаций (CAO); многокритериальная, многопараметрическая, междисциплинар-

ная, топологическая, топографическая, оптимизация размеров и формы, робастная).

- Цифровой макет (Digital Mock-Up, DMU), цифровой двойник (Digital Twin) – полномасштабная цифровая 3D-модель изделия и всех его компонентов, позволяющая исключить из процесса разработки создание дорогостоящих натуральных прототипов, позволяющая «измерять» и моделировать любые характеристики объекта в любых условиях эксплуатации.

- Выбор технологии производства и подготовка к изготовлению опытного образца / мелкой серии (Computer-Aided Manufacturing, CAM; Computer-Aided Additive Manufacturing, CAAM).

Примечание 2

Примером успешного применения цифрового проектирования и моделирования является проект по разработке Единой модульной платформы (ЕМП-проект, широкоизвестный как проект «Кортеж», головной исполнитель – ФГУП НАМИ) и на её основе всей линейки автомобилей (лимузин, седан, внедорожники и микроавтобус), выполняемый при участии Инжинирингового центра СПбПУ и ГК CompMechLab. В июне 2016 года прототипы автомобилей, разработанные в рамках ЕМП-проекта, успешно прошли натурные испытания на безопасность по программе Euro NCAP и с первой попытки получили максимальные 5 звезд рейтинга (краш-тесты проводились на независимом полигоне в Германии) [2].

Примечание 2

Цифровое проектирование и моделирование является одним из аспектов реализации передовых производственных технологий (*Advanced Manufacturing Technologies, AMT*) – технологий и технологических процессов (включая необходимое для их реализации оборудование и программное обеспечение), управляемых с помощью компьютера [2].

Использованные источники:

1. **McCorkle, D.S.** Using the Semantic Web to Enable Integration with Virtual Engineering Tools / D.S. McCorkle, K.M. Bryden // Proceedings of the 1st International Virtual Manufacturing Workshop, Washington, DC, March 2006.

2. ПЛАН мероприятий («дорожная карта») «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс] / CML (CompMechLab) Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/02_february/15/Dorozhnaya_karta_TechNet.pdf (дата обращения: 13.01.2023).

8.14. Передовые производственные технологии (Advanced Manufacturing Technologies)

Цифровое проектирование (АМТ) или **виртуальный инжиниринг** – группа промышленных технологий, обеспечивающая прогресс в сфере производства и его соответствие ряду требований глобального технологического развития [1].

- Передовые технологии обеспечивают рост скорости, экономической эффективности производственных процессов.
- Передовые технологии обеспечивают новую функциональность выпускаемой продукции.
- Передовые технологии, а также основанные на них производственные процессы должны отвечать целому набору ценностных требований: экологичность, ресурсоэффективность, доступность и пр. В целом внедрение данных технологий возможно только в обществах и производственных системах, базирующихся на идеологии «устойчивого развития».
- Использование передовых производственных технологий предполагает обладание целым рядом различных квалификаций и компетенций и организационную готовность предприятия к управлению инженерными рисками, а также по подготовке и переподготовке кадров.

Использованные источники:

1. Высокотехнологичный компьютерный инжиниринг: обзор рынков и технологий / Э.Р. Абдулбариева, Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков [и др.] – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2014. – 57 с.

8.15. Цифровое производство (Digital manufacturing)

Цифровое производство (DM) – это многоуровневая система с электронными датчиками, собирающими точные данные и облада-

ющими аналитическими инструментами для анализа получаемой информации. Переход промышленности к такому виду деятельности повлечет за собой выпуск более качественной продукции и создаст новый мир производства, в котором будет наблюдаться более быстрое изготовление нестандартных вещей и высокая кастомизация массовых изделий. В конечном итоге эффективность будет максимальной, а труд людей минимальным [1].

Цифровое производство – концепция организации производства на основе интегрированных компьютерных технологий.

Примечание 1

Необходимым условием для организации на промышленном предприятии цифрового производства является создание единого информационного пространства, с помощью которого все автоматизированные системы управления предприятием, а также промышленное оборудование могут оперативно и своевременно обмениваться информацией.

Примечание 2

Цифровое производство – ключевой аспект перехода к *четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0»* и является её переходным этапом.

Использованные источники:

1. Цифровое производство методы, экосистемы, технологии. Рабочий доклад департамента корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО. [Электронный ресурс] / CML (CompMechLab) Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/04_april/09/cifrovoe-proizvodstvo0318.pdf (дата обращения: 13.01.2023).

8.16. Цифровой инжиниринг (Digital Engineering)

Цифровой инжиниринг (DE) или **компьютерный инжиниринг** – это комплекс услуг цифрового организационно-технологического дизайна и оптимизации производственно-логистических процессов и режимов работы оборудования [1].

Примечание 1

Услуги цифрового инжиниринга включают поставку, настройку, адаптацию и внедрение программного обеспечения, выполнение инженерных работ, которые используются при модернизации действующих или при создании новых умных производств, логистических центров, лабораторий, автоматизированного и роботизированного оборудования и мехатроники [1].

Использованные источники:

1. **Боровков, А.И.** Компьютерный инжиниринг: учебное пособие / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с.

8.17. Цифровой обратный инжиниринг (Digital Reverse Engineering)

Цифровой обратный инжиниринг (DRE) или цифровой реверс-инжиниринг – процесс получения цифровой 3D-модели реального изделия с использованием автоматизированных систем проектирования [1], а также комплекс технологий, аппаратных и программных средств, необходимых для получения данной модели готового изделия для последующего его усовершенствования, модернизации, улучшения или тиражирования.

Использованные источники:

1. Обратный инжиниринг [Электронный ресурс] / Журнал САПР и графика. 2018. № 1. URL: <https://sapr.ru/article/25559> (дата обращения: 13.01.2023).

8.18. Цифровой двойник (Digital Twin)

Цифровой двойник (DT) – комплексная технология, процесс проектирования, в основе которого лежит разработка и применение семейства сложных мультидисциплинарных математических моделей, описываемых 3D-нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных, с высоким уровнем адекватности как в поведении при различных условиях эксплуатации реальных материалов, объектов / систем / машин / конструкций, так и в разнообразных технологических процессах, с по-

мощью которых создаются реальные материалы и реальные объекты / изделия / продукты [1].

Digital Twin – цифровая модель конкретного физического элемента или процесса с подключениями к данным, которая обеспечивает конвергенцию между физическим и виртуальным состояниями с соответствующей скоростью синхронизации [2].

Цифровой двойник – программный аналог физического устройства, моделирующий внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта в условиях воздействий помех и окружающей среды. Важной особенностью цифрового двойника является то, что для задания на него входных воздействий используется информация с датчиков реального устройства, работающего параллельно. Работа возможна как в онлайн, так и в офлайн режимах. Далее возможно проведения сравнения информации виртуальных датчиков цифрового двойника с датчиками реального устройства, выявление аномалий и причин их возникновения [3].

Примечание 1

Цифровой двойник – это технология (процесс) создания глобально конкурентоспособной продукции, интегрирующая следующие необходимые ключевые компоненты [4].

- *Best-in-class («лучшие в своем классе»)* технологии мирового уровня (из них путем комплексирования формируется цепочка создания глобально конкурентоспособной продукции).

- *Системный инжиниринг*, отвечая за всю картину в целом, позволяет обеспечивать и контролировать выполнение требований к продукции на протяжении всего жизненного цикла изделия, системы и т. д.

- *Многоуровневая матрица MDT требований*, целевых показателей и ресурсных (временных, финансовых, технологических, производственных, экологических и т. д.) ограничений – ключевой элемент технологии разработки цифрового двойника.

- *Виртуальные испытания, виртуальные стенды и виртуальные полигоны.*

Примечание 2

Цифровой двойник характеризуется высоким уровнем адекватности [5]:

- поведению в различных условиях эксплуатации реальных материалов, объектов, систем, машин, конструкций и т. д.;
- разнообразным технологическим процессам, с помощью которых создаются реальные материалы и реальные объекты, изделия, продукты и т. д.

Примечание 3

По определению Майкла Гривза [6], концепция цифрового двойника состоит из реального и виртуального пространств. Виртуальное пространство содержит как всю информацию, собранную из реального пространства, так и подробное (обычно численное) описание физического устройства или процесса от микроскопического уровня до геометрического макроскопического уровня. Описание, предоставленное цифровым двойником, должно быть «практически неотличимо от своего физического аналога».

Примечание 4

За рубежом, термин «цифровой двойник» (digital twin) был введен Майклом Гривзом в Мичиганском университете в 2011 году [7]. Идея уже была сформулирована Гривзом в 2002 году, но тогда была названа моделью зеркальных пространств (*Mirrored Spaces Model*). Позже модель была доработана и в 2006-2010 годах, использовалось наименование «модель информационного зеркала» или «модель зеркального отображения информации» («*Information Mirroring Model*» or «*Information Mirroring Model*») [7].

Примечание 5

Цифровой двойник изделия (ЦД): система, состоящая из *цифровой модели изделия* и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями [8].

Цифровой двойник разрабатывается и применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия.

При создании и применении цифрового двойника изделия участникам процессов жизненного цикла (по стандарту [9]) реко-

мендуется применять программно-технологическую платформу цифровых двойников, включающую, как правило:

- средства управления программным обеспечением компьютерного моделирования;
- средства управления проектами;
- средства сбора, обработки, анализа, визуализации, каталогизации, хранения, передачи компьютерных моделей и результатов компьютерного моделирования;
- средства отслеживания всех изменений конструкторских, технологических решений и модификации компьютерных моделей и вариантов инженерных расчетов;
- средства оформления результатов;
- средства защиты данных и организации совместной работы участников проекта в соответствии с правами доступа;
- средства компьютерного моделирования для планирования применения изделия по назначению, поддержки его технического обслуживания и ремонта.

Примечание 6

Цифровой двойник 1-го типа (DT-1) описывает поведение в различных условиях эксплуатации реальных материалов, объектов, продуктов, изделий, систем, машин, конструкций, оборудования, киберфизических систем на основе семейства взаимосвязанных математических моделей высокого уровня адекватности реальным материалам, объектам и физико-механическим процессам, которые можно описать лишь нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных.

Цифровой двойник 2-го типа (DT-2) описывает поведение разнообразных технологических процессов, с помощью которых создаются реальные материалы и реальные объекты, изделия, продукты и т. д. (например, литейные процессы для металлических изделий, процессы вакуумной инфузии для композитных конструкций, процессы штамповки, металлообработки, сварки, сборки и т. д.), которые представляют собой нестационарные нелинейные процессы, описываемые, как и в случае DT-1, нелинейными нестационарными уравнениями в частных производных.

Примечание 7

ЦД-П – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии производства изделия [8].

ЦД-Р – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии разработки изделия [8].

ЦД-Э – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии эксплуатации изделия [8].

Решение о разработке, составе и функциональности ЦД-Р, ЦД-П и ЦД-Э изделия, в том числе двусторонних информационных связей в составе цифровых двойников, определяет заказчик по согласованию с разработчиком [8].

Использованные источники:

1. Новостная статья от 27 мая 2021 года «Применение цифровых двойников в вертолетостроении: специалисты Центра НТИ СПбПУ провели круглый стол на международной выставке HeliRussia» [Электронный ресурс] / CML (CompMechLab) Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников. URL: <https://nticenter.spbstu.ru/news/7740> (дата обращения: 13.01.2023).

2. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles. Дата введения: 01.10.2021. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/75066.html> (дата обращения: 14.03.2023).

3. Цифровой двойник [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 13.02.2023).

4. **Боровков, А.И.** Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад / А.И. Боровков, А.А. Гамзикова, К.В. Кушукин, Ю.А. Рябов. – СПб.: Политех-пресс, 2019. – 62 с.

5. Боровков, А.И. Определение, разработка и применение цифровых двойников: подход Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов // Цифровая подстанция. – 2019. – № 12. – С. 20–25.

6. **Grieves, M.** Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication / M. Grieves. Michael W. – Grieves, LLC, 2015. – 8 с.

7. **Grieves, M.** Origins of the Digital Twin Concept (working paper) / M. Grieves. – Florida Institute of Technology, 2016. – 7 с. – DOI: 10.13140/RG.2.2.26367.61609.

8. ГОСТ Р 57700.37—2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

9. ГОСТ Р 56135-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Общие положения. Дата введения: 01.09.2015. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293768/4293768307.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

8.19. Цифровой двойник организации (Digital Twin of Organization)

Цифровой двойник организации (ДТО) – модель, максимально точно описывающая реальные причинно-следственные зависимости между производственными, экономическими, финансовыми и организационными показателями Компании [1].

Примечание 1

Задачи цифрового двойника организации: поддержка принятия оптимальных управленческих решений на стадиях планирования, мониторинга и анализа как Компании в целом, так и отдельных областей деятельности (функциональных блоков, программ/проектов, активов и т.д.).

Примечание 2

Некоторые области применения цифровых двойников организации:

- управление экономической эффективностью цепочки создания стоимости;
- управление программой цифровой трансформации;
- управление развитием активов;
- интегрированное производственно-экономическое планирование на основе нормативов
 - инвестиционное планирование / управление портфелями проектов / управление инновациями;
 - управление рисками.

Использованные источники:

1. Цифровой двойник [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 02.02.2023).

8.20. Прототип цифрового двойника (Digital Twin Prototype)

Прототип цифрового двойника (ДТР) – это прототип, используемый для создания экземпляра *цифрового двойника*. Как правило, в состав такого прототипа входит подробная высокоточная модель. При этом прототип не включает в себя результаты измерений и отчеты, поступающие от специального физического устройства [1].

Примечание 1

В зависимости от области применения, типа изделия и стадии его жизненного цикла могут быть выделены следующие варианты реализации цифрового двойника: цифровой прототип изделия, цифровой двойник экземпляра изделия, цифровая тень изделия и др. Требования к вариантам реализации цифрового двойника, включая требования к его валидации, могут устанавливаться в рамках серии национальных стандартов и стандартов организаций по цифровым двойникам, разработанных в развитие данного стандарта [2].

Использованные источники:

1. **Grieves, M.** Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication / M. Grieves. Michael W. – Grieves, LLC, 2015. – 8 с.

2. ГОСТ Р 57700.37—2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения: 01.01.2022. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

8.21. Экземпляр цифрового двойника (Digital Twin Instance)

Экземпляр цифрового двойника (ДТИ) – *цифровой двойник*, содержащий информацию о настройках модели, управляющих параметрах, данные с датчиков и хронологические сведения для конкретного изделия, устройства или процесса [1].

Примечание 1

С помощью экземпляра цифрового двойника можно, например, спрогнозировать состояние конкретного двигателя в конкретном истребителе, как для примера указано выше [1].

Использованные источники:

1. **Grieves, M.** Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication / M. Grieves. Michael W. – Grieves, LLC, 2015. – 8 с.

8.22. Совокупность цифровых двойников (Digital Twin Aggregate)

Совокупность цифровых двойников (DTA) – группа *цифровых двойников*, у которых может не быть независимой уникальной структуры данных. Вместо этого составляющие экземпляры цифрового двойника (DTI) могут запрашивать и обмениваться данными друг с другом [1].

Использованные источники:

1. **Grieves, M.** Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication / M. Grieves. Michael W. – Grieves, LLC, 2015. – 8 с.

8.23. Среда цифровых двойников (Digital Twin Environment)

Среда цифровых двойников (DTE) – интегрированное мультифизическое и многомасштабное окружение для работы с цифровыми двойниками [1].

Примечание 1

Цели функционирования DT в среде цифровых двойников [1]:

- прогностическая: использование цифрового двойника для предсказания будущего поведения и производительности физического объекта;
- опросная: запрос прошлых данных за любой период функционирования изделия, запрос текущего состояния.

Использованные источники:

1. **Grieves, M.** Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication / M. Grieves. Michael W. – Grieves, LLC, 2015. – 8 с.

8.24. Умный цифровой двойник (*Smart Digital Twin*)

Комплексирование *цифрового двойника объекта/продукта (DT-1)* и *цифрового двойника технологических процессов (DT-2)* в рамках единой полномасштабной цифровой модели ведет к формированию «умного» **цифрового двойника (SDT)** первого уровня (SDT(1)) [1].

Примечание 1

Применение SDT(1) позволяет создать процесс «цифровой сертификации» – специализированный бизнес-процесс, основанный на тысячах виртуальных испытаний как отдельных компонентов, так и всей системы в целом, целью которого является прохождение с первого раза всего комплекса натуральных, сертификационных, рейтинговых и прочих испытаний. [1,2].

Примечание 2

Одним из достоинств умных цифровых двойников, является возможность увеличения скорости обработки данных и внесения необходимых изменений в SDT(1) для его трансформации в «умный» цифровой двойник второго уровня SDT(2). Пополнение и дополнение информации, полученной на этапе эксплуатации, а затем учтенная в *цифровом двойнике*, повышает уровень адекватности цифрового двойника, т.е. «обучает» его SDT(1), SDT(2), ..., SDT(Nsd) – и позволяет в дальнейшем моделировать с его помощью различные возможные и «непредвиденные» ситуации и эксплуатационные режимы [1].

Использованные источники:

1. Определение, разработка и применение цифровых двойников: подход центра компетенций НТИ СПбПУ [Электронный ресурс] // Цифровая подстанция. URL: <http://digitalsubstation.com/blog/2020/04/30/opredelenie-razrabotka-i-primeneniye-tsifrovyyh-dvoynikov-podhod-tsentra-kompetentsij-nti-spbpu-novye-proizvodstvennye-tehnologii/> (дата обращения: 14.02.2023).

2. **Боровков, А.И.** Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин [и др.] // Оборонная техника. – 2018. – № 1. – С. 6–33. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/05_may/17/oboronnaya-technika.pdf.

8.25. Цифровая тень (*Digital Shadow*)

Цифровые тени (DS) – это *цифровые двойники*, которые имеют возможность в режиме онлайн принимать цифровую информацию от соответствующих систем цифрового управления оборудованием и АСУТП (датчиков, контроллеров, сенсоров, систем технического зрения), собирая эти данные посредством промышленной сети или *промышленного интернета вещей (Industrial Internet of things)* [1].

Примечание 1

Применение умного цифрового двойника (SDT) позволяет сформировать умные большие данные (Smart Big Data) и умную цифровую тень (Smart Digital Shadow, SDS) в отличие от Big Data и цифровой тени (Digital Shadow, DS), которая, как правило, формируется по цепочке: датчики – промышленный интернет (IIoT) – Big Data [2, 3].

Примечание 2

Сравнение данных цифрового двойника – оптимизатора и его цифровой тени выявляет расхождения между производственными процессами «как должно быть» (As Mast Be) и процессами «как есть» (As Is), что позволяет проводить дальнейшую оптимизацию и непрерывное совершенствование (Continues Improvements) процессов [1].

Примечание 3

По данным цифровой тени можно производить оперативное управление производством, в том числе и в режиме онлайн. Для этой задачи используются *цифровые менеджеры*.

Цифровые менеджеры – это цифровые двойники, которые имеют возможность в режиме онлайн принимать цифровую информацию от цифровых двойников других типов (симуляторы, программаторы тени и пр.), оперативно ее интегрировать, анализировать и осуществлять модели-регулируемое управление, выбирая оптимальные производственные решения и выполняя их путём загрузки необходимых офлайн-программ непосредственно в системы цифрового управления соответствующим оборудованием. К такому подходу, собственно, и стремится современная парадигма Инду-

стрии 4.0, вплоть до создания полностью безлюдных производств [1].

Использованные источники:

1. **Кораблев, А.В.** Ключевые функциональность и преимущества цифровых двойников / А.В. Кораблев // Цифровая экономика. – 2019. – № 2(6). – С. 5–11.

2. Определение, разработка и применение цифровых двойников: подход центра компетенций НТИ СПбПУ [Электронный ресурс] // Цифровая подстанция. URL: <http://digitalsubstation.com/blog/2020/04/30/opredelenie-razrabotka-i-primenenie-tsifrovyh-dvojnikov-podhod-tsentra-kompetentsij-nti-spbpu-novye-proizvodstvennye-tehnologii/> (дата обращения: 14.02.2023).

3. **Боровков, А.И.** Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин [и др.] // Оборонная техника. – 2018. – № 1. – С. 6–33. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/05_may/17/oboronnaya-technika.pdf.

8.26. Цифровая нить (Digital Thread)

При создании *цифровых двойников* используется информация о том, как производился данный продукт – о применяемом оборудовании, материалах изготовления, сопутствующих производственных процессах. Цифровая модель вбирает все данные, начиная от стадии проектирования и заканчивая производством конечного продукта. Затем данные собираются уже в процессе эксплуатации, что позволяет хранить историю использования продукта, включая все производимые манипуляции (например, ремонт и техобслуживание). В результате создается **цифровая нить**, пронизывающая все стадии жизненного цикла продукта. Получаемый таким образом цифровой двойник дает возможность детально спрогнозировать дальнейшее поведение объекта при эксплуатации и использовать его возможности с максимальным КПД [1].

Примечание 1

В документе ВВС США «Глобальные горизонты. Глобальное научно-технологическое видение ВВС США» («Global Horizons. United States Air Force Global Science and Technology Vision») понятие *цифрового двойника* используется в тесной связи с понятием «цифровая нить» (Digital Thread). Согласно научно-технологи-

ческому видению военно-воздушных сил Digital Thread и Digital Twin состоят из программных систем передового моделирования, которые соединяют материалы, проектирование, производственные, технологические процессы и производство. Цифровой двойник и «цифровая нить» обеспечивают оперативность и кастомизацию под определённые задачи, необходимые для разработки и принятия самолетов на вооружение» [1, 2].

Использованные источники:

1. Экспертно-аналитический доклад «Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности». – НТИ СПбПУ. – 2019. – 58 с.
2. **Боровков, А.И.** Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин [и др.] // Оборонная техника. – 2018. – № 1. – С. 6–33. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/05_may/17/oboronnaya-technika.pdf.

9. Автоматизация управления данными

Одним из основных направлений автоматизации на предприятиях и в организациях, является автоматизация управления данными как отдельных машин и структур, так и всего предприятия или организации в целом.

Задачи сбора, сортировки, анализа, комбинации и перемещения данных для дальнейшего использования осуществляется с использованием современных систем и алгоритмов, позволяющих наиболее эффективно организовать работу предприятия.

9.1. Система управления данными о продукте (Product Data Management)

Система управления данными о продукте (PDM) – организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии. При этом в качестве изделий могут рассматриваться различные сложные технические объекты (корабли и автомобили, самолёты и ракеты, компьютерные сети и др.) [1, 2].

Примечание 1

В PDM систему входят следующие технологии [2]:

- управление инженерными данными (engineering data management – EDM);
- управление документами;
- управление информацией об изделии (product information management – PIM);
- управление техническими данными (technical data management – TDM);
- управление технической информацией (technical information management – TIM);
- управление изображениями и манипулирование информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие.

Примечание 2

Базовые функциональные возможности PDM-систем охватывают следующие основные направления [2]:

- управление хранением данных и документами;

- управление потоками работ и процессами;
- управление структурой продукта;
- автоматизация генерации выборок и отчетов;
- механизм авторизации.

Примечание 3

С помощью PDM-систем осуществляется отслеживание больших массивов данных и инженерно-технической информации, необходимых на этапах проектирования, производства или строительства, а также поддержка эксплуатации, сопровождения и утилизации технических изделий. Данные, относящиеся к одному изделию и организованные PDM-системой, называются *цифровым макетом* [2].

Примечание 4

Система для коллективной работы с инженерными данными (Collaborative PDM (cPDM)) – это бизнес-стратегия, рабочий процесс и набор программных приложений, которые помогают различным организациям совместно разрабатывать продукт.

В разрезе ПО, cPDM – это программное обеспечение, которое используется для управления и интеграции данных о продуктах в централизованную систему для лучшего отслеживания и расширения сотрудничества между бизнес-подразделениями. Программные решения cPDM помогают предприятиям оптимизировать производственные процессы, применяя согласованный набор бизнес-решений, которые совместно обеспечивают эффективные методы управления функциями *управления жизненным циклом продукта (PLM)* [3].

Использованные источники:

1. **Щеглов, Д.К.** Методы и средства выбора системы управления проектными данными конструкций летательных аппаратов / Д.К. Щеглов // Инновации. – 2011. – С. 107-114. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-vybora-pdm-sistemy-dlya-predpriyatiya-raketno-kosmicheskoy-otrasli>;

2. Product Data Management Управления данными об изделии. [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 02.02.2023);

3. Collaborative Product Data Management [Электронный ресурс] // ROI4CIO: Портал для покупателей, поставщиков и производителей

ИТ. URL: <https://roi4cio.com/categories/category/cam-sistemy-avtomatizacii-tehnologicheskoi-podgotovki-proizvodstva/> (дата обращения: 14.02.2023).

9.2. Системы управления моделированием изделия (Product Simulation Management)

Системы управления моделированием изделия (PSM) – управление данными симуляции и анализа – входными, промежуточными и выходными. Иногда подобные системы объединяют различные системы инженерного анализа от разных поставщиков. В частности, сложной задачей может оказаться сопоставление данных физических экспериментов с данными инженерного анализа и симуляции. Подобный процесс сопоставления поддерживается PSM-системой [1].

Примечание 1

Для обозначения PSM разные компании используют различные термины [1]:

- компания Dassault Systemes использует термин *управление жизненным циклом симуляции (Simulation Lifecycle Management – SLM)*;
- компания Siemens PLM Software использует термин *управление процессами симуляции (Simulation Process Management – SPM)*;
- компания MSC.Software использует термин *управление симуляцией на уровне предприятия (Enterprise Simulation Management – ESM)*;
- компания ANSYS использует термин *управление инженерными знаниями (Engineering Knowledge Management – EKM)*.

Наиболее точным термином можно назвать управление данными и процессами симуляции (*Simulation and Process Data Management – SPDM*), который фактически обобщает всё перечисленное выше.

Примечание 2

Средства управления процессом и данными моделирования (*Simulation Process & Data Management (SPDM, SDM)*) — технология, используемая высокопроизводительными промышленными организациями для создания и поддержки *цифровой нити*

используемых данных и принятых решений для прогнозирования производительности и срока службы инженерных продуктов. Данная технология реализует ряд решений для баз данных, позволяющих пользователям управлять структурами моделирования и обрабатывать данные на протяжении всего жизненного цикла продукта.

Использованные источники:

1. Павлов, С. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть 2. / С. Павлов, Ю. Береза / Машиностроение и смежные отрасли. CAD/CAM/CAE Observer. – 2009. № 2 (86). – С. 58-63.

9.3. Система автоматического сбора данных (Machine Data Collection)

Система автоматического сбора данных или **сбор машинных данных (MDC)** относится к процессу записи и хранения информации, связанной с процессами производства и предоставления этой информации соответствующим образом. **MDC** описывает интерфейс взаимодействия между техникой и системой обработки информации [1].

Примечание 1

Сбор машинных данных в цифровом виде – это первый шаг к цифровизации производства и обеспечивает прозрачность производственных процессов за счет автоматического сбора и хранения информации и обеспечения ее доступности. Решение MDC, в котором информация автоматически записывается, консолидируется и визуализируется в режиме реального времени, является основой эффективной системы управления производством, предусмотренной концепцией *Smart Factory* [1].

Использованные источники:

1. Machine data collection – the basics [Электронный ресурс] // BOHME & WEIHS. Software for Quality and Production Management. URL: <https://www.boehme-weihs.de/en/q-blog/machine-data-collection-the-basics/> (дата обращения: 16.02.2023).

9.4. Экологическая декларация продукции (Environmental Product Declaration)

Экологическая декларация продукции (EPD) – документ, содержащий информацию об экологических аспектах производимой продукции или оказываемых услуг с учетом ее жизненного цикла [1].

Примечание 1

Экологическая декларация представляет собой добровольное заявление о воздействии продукции или услуги на окружающую среду с учетом ее жизненного цикла. Экологическую декларацию разрабатывают в соответствии с *международным стандартом ISO 14025* и с учетом *правил групп однородной продукции (PCR)*. Срок действия декларации обычно составляет от 3 до 5 лет [1].

Использованные источники:

1. Что такое экологическая декларация? [Электронный ресурс] // EPD Россия. The International EPD System. URL: <https://epdrussia.org/> (дата обращения: 16.02.2023).

9.5. Протокол межмашинной коммуникации (OPC UA)

Протокол межмашинной коммуникации или унифицированная архитектура OPC – спецификация, определяющая передачу данных в промышленных сетях и взаимодействие устройств в них [1].

Примечание 1

Унифицированная архитектура OPC является *сервисно-ориентированной архитектурой (SOA)* и основана на различных логических уровнях.

Использованные источники:

1. IEC 62541-5:2020 OPC Unified Architecture – Part 5: Information Model. [электронный ресурс] / OPC foundation. – URL: <https://reference.opcfoundation.org/v104/Core/docs/Part5/> (дата обращения: 14.03.2023).

9.6. Системы «Продукт-сервис» (*Product-service systems*)

Системы «Продукт-сервис» (PSS) – это бизнес-модели, обеспечивающие согласованное предоставление продуктов и услуг [1].

Примечание 1

Модели PSS появляются как средство, обеспечивающее совместное потребление как продуктов, так и услуг с целью достижения экологических результатов [1].

Примечание 2

Существует три основных класса систем PSS [2].

- Ориентированные на продукт PSS (право собственности на материальный продукт передается потребителю, но предоставляются дополнительные услуги, такие как контракты на техническое обслуживание).

- Ориентированные на использование PSS (право собственности на материальный продукт сохраняется за поставщиком услуг, который продает функции продукта через модифицированные системы распределения и оплаты, такие как совместное использование, объединение и аренда).

- Ориентированные на результат PSS (продукты заменены услугами, такими как, например, голосовая почта, заменяющая автоответчики).

Использованные источники:

1. **Cooper, T.** (2015). The role of values in collaborative consumption: insights from a product-service system for lending and borrowing in the UK / T. Cooper, T. Fisher // *Journal of Cleaner Production*. – 2015. – № 97. – 21–29 с. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.07.032.

2. **Cook, M.** Understanding the potential opportunities provided by service-orientated concepts to improve resource productivity / M. Cook. – *Design and Manufacture for Sustainable Development 2004*. John Wiley and Sons. – С. 125.

9.7. Системно-ориентированная разработка продукта (System Driven Product Development)

Системно-ориентированная разработка продукта (SDPD) или **системно-ориентированное проектирование изделий (СО-ПИ)** представляет собой открытое модульное решение, которое включает инструменты совместной работы, моделирования и симуляции для прогнозирования характеристик работы изделия и выполнения процесса в широком диапазоне дисциплин и областей, включая механику, электронику, программное обеспечение и элементы управления [1].

Примечание 1

SDPD позволяет выполнять следующие действия [1]:

- управление требованиями;
- поддержка проектирования, производства и обслуживания;
- упрощение управления программой организации, изменениями и проблемами, а также управления конфигурацией;
- обеспечение соответствия данных и бизнес-процессов;
- интеграция и координация дисциплин проектирования;
- валидация и верификация требований.

Использованные источники:

1. **Щейников, С. П.** Системно-ориентированный подход к разработке продукции на базе продуктов Siemens PLM Software / С.П. Щейников / Автоматизация проектирования. Рациональное управление предприятием. – 2017. -№ 2. – С. 58–60.

9.8. Модельно-ориентированный подход к проектированию (Model-based systems engineering)

Модельно-ориентированный подход к проектированию (MBSE) или **системная инженерия на основе моделей** – методология *системно ориентированного проектирования*, сфокусированная на создании и использовании моделей разной степени детализации на различных стадиях проектирования [1].

Системная инженерия на основе моделей – подход, реализующий разработку комплекса моделей, находящихся в единой системе, и позволяющий провести документирование и проектирование фокус группы при разработке [2].

Примечание 1

Постепенное уточнение требований в рамках жизненного цикла изделия, осуществляемое благодаря SPDP, позволяет разработчикам перейти от требований верхнего уровня к пониманию общей архитектуры изделия, а затем архитектуры отдельных систем и подсистем. На основе сформированных требований проектировщики должны найти удовлетворяющие их решения. Для этих целей используется модельно-ориентированный подход к проектированию (MBSE) [1].

Примечание 2

Модели обеспечивают эффективный способ изучения, обновления аспектов системы и предоставления информации о них заинтересованным сторонам, при этом значительно сокращая или устраняя зависимость от необходимости использования традиционной документации.

Примечание 3

MBSE – это технический подход к системной инженерии, который фокусируется на создании и использовании моделей предметной области в качестве основного средства обмена информацией, а не на обмене информацией на основе документов.

Использованные источники:

1. **Щейников, С. П.** Системно-ориентированный подход к разработке продукции на базе продуктов Siemens PLM Software / С. П. Щейников / Автоматизация проектирования. Рациональное управление предприятием. – 2017. – № 2. – С. 58–60.

2. **Estefan, J.A.** Survey of model-based systems engineering (MBSE) methodologies / J.A. Estefan// IncoSE MBSE Initiative. –2008. – 70 с. – URL: https://www.omgsysml.org/MBSE_Methodology_Survey_RevB.pdf (дата обращения: 14.03.2023).

9.9. Интернет вещей (Internet of Things)

Интернет вещей (IoT) – концепция сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой [1].

Примечание 1

Индустриальный (промышленный) интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) является проекцией интернета вещей (IoT) на область корпоративного/отраслевого применения [2].

IIoT получает и анализирует данные от подключенного оборудования, операционных технологий (OT), местоположений и людей. В сочетании с устройствами мониторинга операционных технологий IIoT помогает регулировать и контролировать промышленные системы.

Создание систем индустриального интернета охватывает три аспекта [2]:

- цифровизация и интеграция вертикальных (внутри предприятия) и горизонтальных (от поставщиков компонентов до заказчиков) цепочек создания стоимости;
- цифровизация продуктов и сервисов;
- построение новых бизнес-моделей.

Использованные источники:

1. Internet Of Things [Электронный ресурс] / Gartner IT glossary. Gartner. URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/internet-of-things> (дата обращения: 16.02.2023).

2. ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО МЕТОДЫ, ЭКОСИСТЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ. Рабочий доклад департамента корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО. [Электронный ресурс] / CML (CompMechLab) Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/04_april/09/cifrovoe-proizvodstvo0318.pdf (дата обращения: 13.01.2023).

9.10. Информационно-коммуникационные технологии (Information and communications technology (ICT))

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) – совокупность методов, процессов и программно-технических средств, интегрированных с целью сбора, обработки, хранения, распространения, отображения и использования информации. **ИКТ** включают различные программно-аппаратные средства и устройства, функционирующие на базе компьютерной техники, а также современные средства и системы информационного обмена, обеспечивающие сбор, накопление, хранение, продуцирование и передачу информации [1].

Примечание 1

ИКТ используется для обозначения конвергенции аудиовизуальных и телефонных сетей с компьютерными сетями через единую кабельную или сетевую систему. Существуют большие экономические стимулы для объединения телефонных сетей с системой компьютерных сетей с использованием единой унифицированной системы кабелей, распределения сигналов и управления [2].

Примечание 2

ИКТ – это общий термин, который включает в себя любое устройство связи, включая радио, телевидение, сотовые телефоны, компьютерное и сетевое оборудование, спутниковые системы и т. д., а также различные услуги и связанные с ними устройства, такие как видеоконференции и дистанционное обучение. ИКТ также включает аналоговые технологии, такие как бумажная коммуникация, и любой способ передачи сообщений [2].

Использованные источники:

1. **Азимов, Э.Г.** Новый словарь методических терминов и понятий (теория и практика обучения языкам) / Э.Г. Азимов, А.Н. Шукин. – М.: Издательство ИКАР, 2009. – 448 с.;

2. **Ozdamli, F.** Life-long Learning Competence Perceptions of the Teachers and Abilities in Using Information-Communication. Technologies / F. Ozdamli, H. Ozdal // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2015. – № 182. С. 718–725. – DOI:10.1016/j.sbspro.2015.04.819.

9.11. Интерактивные электронные технические руководства (Interactive Electronic Technical Manual (IETM))

Интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР) – совокупность электронных документов, технических данных и программно-технических средств, предназначенная для информационного обеспечения процессов использования по назначению и технической эксплуатации изделия и (или) его составных частей и предоставляющая пользователям возможность прямой и обратной связи между пользователем и руководством в режиме реального времени с помощью интерфейса электронной системы отображения [1].

Примечание 1

Интерактивность отражает способность электронной системы отображения информации обеспечивать диалог с пользователем через пользовательский интерфейс системы путем генерации взаимных запросов пользователем и системой и выдачей ответов на эти запросы. Интерактивность обеспечивается наличием в электронной системе отображения необходимых элементов управления (кнопки, «флажки», поля для ввода данных и т.д.) [1].

Примечание 2

В зависимости от функциональности ИЭТР, их подразделяют на пять классов [2]:

- 1-й класс – электронные технические публикации, представляющие собой набор изображений страниц (в том числе полученных сканированием страниц бумажной документации);
- 2-й класс – линейно структурированные интерактивные электронные технические публикации (ИЭТП), составными элементами которых являются главы, разделы, абзацы, списки, таблицы, иллюстрации и т.п.;
- 3-й класс – ИЭТП, в которых технические данные представлены в виде совокупности взаимосвязанных информационных объектов, хранящихся в базе данных и имеющих иерархическую структуру (в соответствии с требованиями международных стандартов и производных от него спецификаций);

- 4-й класс – интегрированные ИЭТП, сочетающие функциональность предыдущих классов с возможностью прямого интерфейсного взаимодействия с программно-аппаратными средствами контроля и диагностики изделий, что позволяет оператору выполнять задачи более быстро и эффективно;

- 5-й класс – ИЭТП, обладающие основной функциональностью предыдущих классов и включающие в себя средства накопления полученных в процессе эксплуатации технических данных, их анализа и формирования рекомендаций пользователям ИЭТП о предпочтительном порядке обслуживания изделия и диагностики неисправностей (ИЭТП, включающие в себя элементы экспертных систем).

Использованные источники:

1. ГОСТ Р 54088-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Эксплуатационная и ремонтная документация в форме интерактивных электронных технических руководств. Основные положения и общие требования. Дата введения: 01.06.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/661/66181.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

2. ГОСТ Р 54088-2010. Интегрированная логистическая поддержка. Интерактивные электронные эксплуатационные и ремонтные документы. Основные положения и общие требования. Дата введения: 01.09.2011. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293790/4293790431.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

9.12. Automation Markup Language

Automation Markup Language (AutomationML) – это комплексный объектно-ориентированный язык моделирования данных на основе XML. **AutomationML** позволяет моделировать, хранить и обмениваться инженерными моделями, охватывающими множество важных аспектов проектирования [1].

Примечание 1

AutomationML описывает реальные компоненты предприятия как объекты, включающие в себя ряд различных параметров. Объект может состоять из других подобъектов и при этом быть частью другого объекта. Типичные объекты в автоматизации предприятия

содержат информацию о топологии, геометрии, кинематике и логике (включает в себя алгоритмы поведения и управления) [1].

Использованные источники:

1. What is AutomationML? [Электронный ресурс] / AutomationML. Engineering Data Solution. URL: <https://www.automationml.org/about-automationml/automationml/> (дата обращения: 16.02.2023).

9.13. Бизнес-аналитика (Business Intelligence)

Бизнес-аналитика (BI) или **BI-система** – это процесс анализа информации, выработки интуиции и понимания для улучшенного и неформального принятия решений бизнес-пользователями, а также инструменты для извлечения из данных значимой для бизнеса информации [1].

Согласно определению Gartner, Business intelligence – это «пользовательцентрический процесс, который включает доступ и исследование информации, ее анализ, выработку интуиции и понимания, которые ведут к улучшенному и неформальному принятию решений». В 1996 году появилось уточнение – «инструменты для анализа данных, построения отчетов и запросов могут помочь бизнес-пользователям преодолеть море данных для того, чтобы синтезировать из них значимую информацию, – сегодня эти инструменты в совокупности попадают в категорию, называемую бизнес-интеллект (Business Intelligence)» [1].

Примечание 1

BI-системы – универсальны, для них не имеет значение масштаб или отраслевая принадлежность организации. Главными показателями важности и нужности BI-инструментов выступают динамичный рост и изменения в бизнесе компании. Именно в таких компаниях руководству необходимо получать оперативную информацию по самым разным областям своей деятельности: экономика, бухгалтерия, кадры и т. д. [1].

Использованные источники:

1. Определение Business Intelligence [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 02.02.2023).

9.14. Инфраструктура виртуальных рабочих столов (Virtual Desktop Infrastructure)

Инфраструктура виртуальных рабочих столов (VDI) – это ИТ-инфраструктура, позволяющая получать доступ к корпоративным компьютерным системам практически с любого устройства (персонального компьютера, смартфона или планшета), т.е. операционная система рабочего стола, запускается и управляется в центре обработки данных [1].

Примечание 1

Модель VDI, позволяющая выполнять традиционные рабочие нагрузки настольных систем на централизованных серверах, стала стандартом в бизнесе для обеспечения возможности сотрудникам работать в филиалах и удаленно, а также для предоставления доступа подрядчикам и партнерам. VDI помогает защищать конфиденциальные корпоративные приложения и данные (которые могут запускаться из надежно защищенных центров обработки данных), позволяя пользователям использовать собственные устройства, не опасаясь смешения персональных и корпоративных данных [1].

Примечание 2

Рабочий стол в качестве службы или Рабочее место как услуга (Desktop as a Service, DaaS) является одной из разновидностей VDI и также позволяет доставить виртуальный рабочий стол и приложение пользователю [1].

В DaaS виртуальные рабочие столы (virtual desktop) размещаются в управляемой облачной инфраструктуре и удаленно доставляются клиентам. Эти услуги можно комбинировать с другими услугами облачных провайдеров, а счета оплачиваются на основе подписки.

Использованные источники:

1. Что такое инфраструктура виртуальных рабочих столов (VDI)? [Электронный ресурс] // Microsoft Azure. URL: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-virtual-desktop-infrastructure-vdi/#what-is-virtualization> / (дата обращения: 03.02.2023).

10. Индустрия 4.0 и управление производством

Одним из главных результатов массового перехода на автоматизированное и компьютеризированное производство является снижение задействованного персонала за счет использования технологий, интеллектуальных систем и оптимизации производственного процесса. Таким образом, совершается значительное изменение в действующей парадигме производственного процесса, которое можно обозначить, как новую концепцию производства.

Тем не менее, для полноценного перехода следует выполнить ряд требований к действующим на предприятии системам и технологиям. При модернизации предприятий необходим комплексный подход, включающий использование ряда современных технологий и систем, синергия которых приводит к значительному росту в эффективности предприятия.

10.1. Индустрия 4.0 (*Industry 4.0*)

Индустрия 4.0 или четвертая промышленная революция – переход на полностью автоматизированное цифровое производство, управляемое интеллектуальными системами в режиме реального времени в постоянном взаимодействии с внешней средой, выходящее за границы одного предприятия, с перспективой объединения в глобальную промышленную сеть вещей и услуг [1].

В широком смысле, Индустрия 4.0 характеризует текущий тренд развития автоматизации и обмена данными, который включает в себя *киберфизические системы, Интернет вещей и облачные вычисления*. Представляет собой новый уровень организации производства и управления цепочкой создания стоимости на протяжении всего жизненного цикла выпускаемой продукции.

Примечание 1

Компонентами четвертой промышленной революции можно назвать [1]:

- элементы *Интернета вещей*,
- *киберфизические системы*;
- *искусственный интеллект, машинное обучение и робототехника*;

- *облачные вычисления;*
- *Big Data;*
- *аддиктивное производство;*
- *дополненная реальность;*
- *интеграционная система;*
- *моделирование;*
- *кибербезопасность;*
- *адаптивные системы;*
- *зеленое производство;*
- *сетевые информационные системы.*

Примечание 2

Качество 4.0 определяет подход, который производители могут применять при внедрении новых технологий. Это включает в себя *машинное обучение, прогнозную аналитику, Интернет вещей, большие данные и облачные вычисления.*

Примечание 3

В то время как главная проблема в Индустрии 4.0 – это автоматизация, Индустрия 5.0 предполагает синергию между людьми и автономными машинами. Индустрия 5.0 изменит определение слова «робот». Роботы, которые к 2021 году воспринимаются исключительно в качестве программируемой машины, которая может выполнять повторяющиеся задачи, превратится в идеального человека-компаньона для выполнения задач в некоторых сценариях. Следующая промышленная революция представит новое поколение роботов, которых принято называть коботами, которые уже будут знать или смогут быстро обучаться тому, что делать совместно с человеком.

Использованные источники:

1. Четвертая промышленная революция [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 17.02.2023).

10.2. Производственные системы (*Production Systems*)

Производственная система – это система, использующая операционные ресурсы предприятия для преобразования вводимого фактора производства (входа) в избранную ею продукцию или услугу (выход). Где «вход» – это сырьё, или заказчик, или готовая продукция из другой производственной системы [1].

С технической точки зрения, **производственная система** – это системно-техническая реализация производственного процесса с учётом работ по подготовке запуска производства и технологических систем (систем изготовления и монтажа деталей), организации, персонала и соответствующей культуры производства [2].

С точки зрения экономики, **производственная система** – это совокупность бизнес-процессов производства изделий [2].

Примечание 1

Существует три типа производственных систем [3]:

- *система серийного производства (batch production system)*, где оборудование используется для производства небольших количеств продукции (товаров или услуг) со спецификациями, которые значительно варьируются от одной партии к другой;

- *система поточного производства (continuous production system)*, где обрабатываемые изделия проходят через ряд этапов или операций, общих для большинства других обрабатываемых изделий;

- *система единичного производства (project production system)* для единичного, единственного в своем роде продукта. Например, здания, корабля или прототипа продукта, такого как самолет или суперкомпьютер, ресурсы объединяются только один раз. Используются специальные методы управления, позволяющие удерживать издержки производства в разумных пределах.

Использованные источники:

1. **Чейз, Р.Б.** Производственный и операционный менеджмент / Р.Б. Чейз, Р.Ф. Джейкобз, Н.Дж. Аквилано. – СПб: Диалектика, 2019. – 1094 с.

2. **Мюллер, Э.** Планирование и эксплуатация промышленных предприятий: Рабочие методики для адаптивного, сетевого и ресурсосберега-

ющего предприятия / Э. Мюллер, М. Шенк, З. Вирт. – М.: Альпина Паблишер, 2019 – 978 с.

3. Production system [Электронный ресурс] // Encyclopædia Britannica Online. – URL: <https://www.britannica.com/technology/production-system> (дата обращения: 17.02.2023).

10.3. Аддитивное производство (Additive Manufacturing (AM))

Аддитивное производство (АП) или **аддитивные технологии** – класс перспективных технологий кастомизированного производства деталей сложной формы по трехмерной компьютерной модели путем последовательного нанесения материала (как правило, послойного) – в противоположность так называемому вычитающему производству (например, традиционной механической обработке) [1].

Примечание 1

Детали изготавливаются непосредственно по компьютерному файлу, содержащему 3D-модель, виртуально нарезанную на тонкие слои, который передается в АП-систему для послойного формирования конечного изделия.

АП-технологии обеспечивают гибкость, позволяющую быстрое производство сложной кастомизированной продукции и запасных частей, которые либо не могут быть изготовлены с помощью традиционных производственных технологий, либо требуются в малых объемах. Сложная конфигурация (например, наличие в детали внутренних каналов охлаждения), которую нельзя получить станочной обработкой, может быть легко воспроизведена селективным нанесением материала.

Примечание 2

АП-технологии обеспечивают следующие преимущества [1]:

- сокращение сроков и стоимости запуска изделия в производство благодаря отсутствию необходимости в специализированной инструментальной оснастке;
- возможность и экономическая целесообразность мелкосерийного производства;

- оперативные изменения в проекте на этапе производства;
- функциональная оптимизация продукции (например, реализация оптимальной формы каналов охлаждения);
- экономическая целесообразность производства кастомизированной продукции;
- сокращение потерь и отходов производства;
- возможности для упрощения логистики, сокращения времени поставок, уменьшения объемов складских запасов;
- персонализация дизайна.

Использованные источники:

1. Аддитивное производство (АП) [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 17.02.2023).

10.4. Интеллектуальная производственная система (Intelligent Manufacturing System)

Интеллектуальная производственная система (IMS) – это современная система производства, которая объединяет способности людей, машин и процессов для достижения высоких показателей производства. **IMS** предназначена для достижения оптимального использования производственных ресурсов, минимизации потерь и повышения ценности бизнеса [1].

Примечание 1

В зависимости от уровня информационных технологий и характеристик их интеграции с производственными системами IMS можно разделить на три парадигмы: цифровое производство, цифровое сетевое производство и интеллектуальное производство нового поколения.

Примечание 2

Интеллектуальное производство – это быстрый и безостановочный переход от потребности, возникшей у потребителя до поставки продукции, от принятия решения до его реализации, от постановки задачи до ее решения.

Использованные источники:

1. Intelligent Manufacturing System (IMS) [Электронный ресурс] // CFI. URL: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/intelligent-manufacturing-system-ims/> (дата обращения: 17.02.2023).

10.5. Киберфизические системы (Cyber-Physical Systems)

Киберфизические системы (CPS) – это системы, состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, позволяющих представить такое образование как единое целое. В **CPS** обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами. Компьютеры осуществляют мониторинг и управление физическими процессами с использованием такой петли обратной связи, где происходящее в физических системах оказывает влияние на вычисления и наоборот [1].

Примечание 1

С технической точки зрения, CPS имеют много общего со структурами типа *грид*, реализуемыми посредством *интернета вещей (Internet of Things, IoT)*, *Индустрии 4.0*, *промышленного интернета вещей (Industrial Internet)*, межмашинного взаимодействия (*Machine-to-Machine, M2M*), *туманного и облачного компьютеринга (fog и cloud computing)* [1].

Область применения CPS распространяется практически на все виды человеческой деятельности, включая все многообразие промышленных систем, транспортные, энергетические и военные системы, все виды систем жизнеобеспечения от медицины до умных домов и городов, а также многие экономические системы.

Немецкая академия Asatech уже говорит о перспективах национальных киберфизических платформ, которые складываются из трех типов сетей: *Интернет людей*, *Интернет вещей* и *Интернет сервисов* [1].

Использованные источники:

1. Киберфизические системы Cyber-Physical System, CPS [Электронный ресурс] // TADVISER: Государство. Бизнес. Технологии. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 17.02.2023).

10.6. Грид-технологии / грид-вычисления (Grid)

Грид-технологии – это форма распределённых вычислений, в которой «виртуальный суперкомпьютер» представлен в виде кластеров, соединённых с помощью сети, слабосвязанных, гетерогенных компьютеров, работающих вместе для выполнения огромного количества заданий (операций, работ). Эта технология применяется для решения научных, математических задач, требующих значительных вычислительных ресурсов [1].

Грид-вычисления используются также в коммерческой инфраструктуре для решения таких трудоёмких задач, как экономическое прогнозирование, сейсмоанализ, разработка и изучение свойств новых лекарств. Грид с точки зрения сетевой организации представляет собой согласованную, открытую и стандартизованную среду, которая обеспечивает гибкое, безопасное, скоординированное разделение вычислительных ресурсов и ресурсов хранения информации, которые являются частью этой среды, в рамках одной виртуальной организации [1].

Использованные источники:

1. Высокотехнологичный компьютерный инжиниринг: обзор рынков и технологий / Э.Р. Абдулбариева, Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков [и др.] – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2014. – 57 с.

10.7. Ключевые перспективные технологии (Key Enabling Technologies (KETs))

Ключевые перспективные технологии (КПТ) – группа из шести технологий: микро- и нанoeлектроника, нанотехнология, промышленная биотехнология, передовые материалы, фотоника и передовые производственные технологии. Данные технологии были отобраны Европейским Союзом для расширения и распространения промышленных инноваций с целью решения социальных проблем и создания передовой и устойчивой экономики [1].

Использованные источники:

1. Key Enabling Technologies (KETs) [Электронный ресурс] // European Commission. URL: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/accelerating-technological-change-hyperconnectivity/key-enabling-technologies-kets_en (дата обращения: 17.02.2023).

Словарь сокращений

2D – двухмерный (2-Dimensional)

3D – трехмерный (3-Dimensional)

AEC CAD – система автоматизированного проектирования / архитектурное проектирование и строительство (Architecture, Engineering and Construction Computer-Aided Design)

ALM – управления жизненным циклом приложений (Application Lifecycle Management)

AMT – передовые производственные технологии (Advanced Manufacturing Technologies)

ANOVA – дисперсионный анализ (Analysis of Variations)

APS – система синхронного планирования производства (Advanced Planning and Scheduling)

AR – дополненная реальность (Augmented Reality)

ASME – Американское общество инженеров-механиков (the American Society of Mechanical Engineers)

AutomationML – Automation Markup Language

BI – бизнес-аналитика (Business Intelligence)

BIM – информационная модель строительного объекта (Building Information Model)

BOS – спецификация процедур (Bill of Services)

CAA – средства автоматизации инженерных расчётов / компьютерный анализ (Computer-Aided Analysis)

CAAD – система автоматизированного проектирования / архитектурное проектирование и строительство (Computer-Aided Architectural Design)

CADD – система автоматизированного проектирования / проектирование и создание чертежей (Computer-Aided Design and Drafting)

CAE – средства автоматизации инженерных расчётов (Computer-Aided Engineering)

CAGD – система автоматизированного проектирования / геометрическое моделирование (computer-aided geometric design)

CALS – информационная поддержка жизненного цикла изделий (Continuous Acquisition and Life cycle Support)

CAM – подготовка технологического процесса производства с использованием ЭВМ (Computer-aided manufacturing)

CAMD – компьютерное молекулярное проектирование, автоматизированное молекулярное проектирование (Computer-aided molecular design)

CAO – компьютерная оптимизация (Computer-Aided Optimization)

CAPP – средства автоматизации планирования технологических процессов (computer-aided process planning)

CAx – совокупность технологий многофункционального проектирования (CAM, CAE, CAD и проч.), совокупность систем автоматизированного проектирования. (Computer-aided technologies)

CFD – вычислительная гидроаэродинамика (Computational Fluid Dynamics)

CIM – компьютерно-интегрированное производство (Computer-Integrated Manufacturing)

c-MES – совместная система управления производственными процессами (collaborative Manufacturing Execution System)

CMM – модель зрелости возможностей (Capability Maturity Model)

CMMI – дополнение в модель зрелости возможностей (Capability Maturity Model Integration)

cPDM – коллективная работа с инженерными данными (collaborative Product Data Management)

CPS – киберфизические системы (Cyber-Physical Systems)

CRM – система управления взаимоотношениями с клиентами (Customer Relationship Management)

CSRP – планирование ресурсов, синхронизированное с клиентом (customer synchronized resource planning)

Daas – рабочее место как услуга (Desktop as a Service)

DCA – сбор и хранение данных (Data Collection/Acquisition)

DE – цифровой инжиниринг (Digital Engineering)

DEM – метод дискретного элемента (discrete element method)

DES – дискретно-событийное моделирование (Discrete Event Simulation)

DM – цифровое производство (Digital Manufacturing)

DMU – цифровой макет (Digital Mock-Up)

DNS – прямое численное моделирование (Direct Numerical Simulation)

DPU – диспетчеризация производства (Dispatching Production Units)

DRE – цифровой обратный инжиниринг (Digital Reverse Engineering)

DRP – планирование потребностей при распределенных запасах (Distribution Requirements Planning)

DS – цифровая тень (Digital Shadow)

DTA – совокупность цифровых двойников (Digital Twin Aggregate)

DTE – среда цифровых двойников (Digital Twin Environment)

DTI – экземпляр цифрового двойника (Digital Twin Instance)

DTO – цифровой двойник организации (Digital Twin of Organization)

DTP – прототип цифрового двойника (Digital Twin Prototype)

EAM – управления активами предприятия (Enterprise asset management)

ECAD – система автоматизированного проектирования/ электроника (electronic computer-aided design)

EDA – система автоматизированного проектирования / электроника (electronic design automation)

EDM – управление инженерными данными (engineering data management)

EKM – управление инженерными знаниями (Engineering Knowledge Management)

EOQ – экономичный размер заказа (Economic Order Quantity)

EPD – экологическая декларация продукции (Environmental Product Declaration)

EPC/EPCM – комплексный контракт на управление с проектированием, закупками и строительством (Engineering – Procurement – Construction – Management)

EPICS – система управления для экспериментальной физики и промышленности (Experimental Physics and Industrial Control System)

ERP – планирование ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning)

ESM – управление симуляцией на уровне предприятия (Enterprise Simulation Management)

ES – инжиниринговые услуги (Engineering Services)

ESO – аутсорсинг инжиниринговых услуг, офшорный инжиниринг (Engineering Services Offshoring/Outsourcing)

FDA – управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (U.S. Food and Drug Administration)

FEA – конечно-элементный анализ (Finite Element Analysis)

FLOPS – внесистемная единица, используемая для измерения производительности компьютеров, показывающая, сколько операций с плавающей запятой в секунду выполняет вычислительная система (суперкомпьютер) (FLoating-point Operations Per Second)

GD&T – геометрические размеры и допуски (Geometric Dimensioning and Tolerancing)

HCM – Меры сложности Холстеда (Halstead Complexity Metric)

HISM – Индекс Холстеда зрелости программного обеспечения (Halstead Index of Software Maturity)

HPC – высокопроизводительные вычисления (High Performance Computing)

HPTC – высокопроизводительные вычисления для решения инженерных задач (High Performance Technical Computing)

IIoT / MIIoT – промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things / Manufacturing Internet of Things)

IMS – интеллектуальная производственная система (Intelligent Manufacturing System)

IoT – интернет вещей (Internet of Things)

IPCM – интерактивный менеджмент содержания продуктов (Interactive Product Content Management)

LUM – управление людскими ресурсами (Labor/User Management)

M2M – межмашинное взаимодействие (Machine-to-Machine)

MBD – динамика систем многих тел (Multi Body Dynamics)

MBSE – модельно-ориентированный подход к проектированию (Model-Based Systems Engineering)

MCAD – система автоматизированного проектирования / механика (Mechanical Computer-Aided Design)

MDC – система автоматического сбора данных (Machine Data Collection)

MES – система управления производственными процессами (Manufacturing Execution System)

MESA – Международная ассоциация производителей и пользователей решений для производственных предприятий (Manufacturing Enterprise Solutions Association)

ML – машинное обучение (Machine Learning)

MR – смешанная реальность (Mixed Reality)

MRL – методика определения уровня готовности производства (Manufacturing Readiness Levels)

MRP – планирование потребностей в материалах (Manufacturing Resource Planning)

NIST – Национальный институт стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology)

OEM – оригинальный производитель оборудования (Original Equipment Manufacturer)

OPC – протокол межмашинной коммуникации (OPC UA)

PA – предиктивная аналитика (Predictive analytics)

PCR – правила групп однородной продукции (Product Category Rules)

PDM – система управления данными о продукте (Product Data Management)

PIM – управление информацией об изделии (Product Information Management)

PLM – управление жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management)

PM – управление процессами производства (Process Management)

PSM – управление моделированием изделия (Product Simulation Management)

PSS – системы «Продукт-сервис» (Product-Service Systems)

PTG – отслеживание и генеалогия продукции (Product Tracking & Genealogy)

QA – обеспечение качества (Quality assurance)

QM – управление качеством (Quality Management)

RAS – контроль состояния и распределение ресурсов (Resource Allocation and Status)

S&A – моделирование и анализ, имитационный анализ, исследование методом моделирования (Simulation&Analysis)

SBL – симуляционное обучение (Simulation Based Learning)

SCADA – система диспетчерского управления и сбора данных (Supervisory Control And Data Acquisition)

SCM – управление цепями поставок (Supply Chain Management)

SDS – умная цифровая тень (Smart Digital Shadow)
SDT – умный цифровой двойник (Smart Digital Twin)
SI – системный интегратор (System integrator/integration)
SLM – управление жизненным циклом моделирования (Simulation Lifecycle Management)
SMI – индекс зрелости программного обеспечения (Software Maturity Index)
SPDM – управление данными и процессами симуляции (Simulation and Process Data Management)
SPM – управление процессами симуляции (Simulation Process Management)
TANGO – свободная распределённая система управления экспериментальными установками (TACO Next Generation Objects)
TDM – управление техническими данными (Technical Data Management)
TIM – управление технической информацией (Technical Information Management)
TRL – уровень готовности технологии (Technology Readiness Level)
V&V – Верификация и валидация (Verification & Validation)
VDI – инфраструктура виртуальных рабочих столов (Virtual Desktop Infrastructure)
VE – цифровое проектирование (Virtual Engineering)
VLDB – сверхбольшая база данных (Very Large Database)
VR – виртуальная реальность (Virtual Reality)
VVV – разнообразие, высокая скорость поступления и большой объём (Volume, Velocity, Variety)

Сокращения на русском языке

АП (AM) – аддитивное производство (Additive Manufacturing)
АСНИ – автоматизированная система научных исследований (Automated System of Scientific research)
АСП – автоматизированная система планирования (Automated Planning)
АСТПП (CAM) – автоматизированная система технологической подготовки производства (Computer-Aided Manufacturing)

АСУ (ICS) – автоматизированная система управления (Industrial Control System)

АСУП (ICS) – автоматизированная система управления предприятием (Industrial Control System)

АСУТП (APCS) – автоматизированная система управления технологическим процессом (Automated Process Control System);

АЭК (AEC) – автоматизированный экспериментальный комплекс (Automated Experimental Complex)

БД (DB) – база данных (Database)

ВЛЧРМ – валидация численной расчетной модели (Validation of Numerical Simulation Model)

ВМ (BOM) – ведомость материалов (Bill of Materials)

ВМПМ – валидация модели поведения материала (Validation of Material Behavior Model)

ГАП (FAP) – гибкое автоматизированное производство (Flexible Automated Production)

ГАПС (FAPS) – гибкая автоматизированная производственная система (Flexible Automated Production System)

ГПС (FMS) – гибкая производственная система (Flexible Manufacturing Systems)

ГПЯ (FMC) – гибкая производственная ячейка (Flexible Manufacturing Cell)

ЖЦ – жизненный цикл (Life cycle)

ИИ (AI) – искусственный интеллект (Artificial Intelligence)

ИКТ (ICT) – информационно-коммуникационные технологии (Information and Communications Technology)

ИЭТП – интерактивные электронные технические публикации

ИЭТР (IETM) – интерактивные электронные технические руководства (Interactive Electronic Technical Manual)

КПД – коэффициент полезного действия (efficiency)

КПТ (KETs) – ключевые перспективные технологии (Key Enabling Technologies)

КСАП – комплекс средств автоматизации проектирования

КЭМ – конечно-элементная модель (Finite element model)

МВЭ – материальный валидационный эксперимент (material verification experiment)

МКЭ (FEM) – метод конечных элементов (Finite Element Method)

МОВЭ – модельный валидационный эксперимент (model validation experiment)

НИОКТР (R&D) – исследования и разработки, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (Research & Development)

ОАСУ (ICS) – автоматизированная система управления отраслью (Industrial Control System)

ПК (PC) – персональный компьютер (Personal Computer)

ПМК – программно-методические комплексы

ПО – программное обеспечение (software)

ПО КМ – программное обеспечения компьютерного моделирования (computer simulation software)

ПТК – программно-технические комплексы

САНИ – система автоматизации научных исследований

САПР (CAD) – система автоматизированного проектирования (Computer-Aided Design System)

САУ (ACS) – система автоматического управления (Automated operation Control System)

САЭ – система автоматизации эксперимента

СИ (SE) – системная инженерия (System Engineering)

СОПИ (SDPD) – системно-ориентированная разработка продукта (System Driven Product Development)

СП (BOP) – спецификация процессов (Bill of Process)

СПбПУ – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СУБД (DBMS) – система управления базами данных (Database Management System)

СУС (WMS) – система управления складом (Warehouse Management System)

СЦТ – сквозные цифровые технологии (end-to-end digital technologies)

ФГУП НАМИ – Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ»

ФИ – изделие финальное (final item)

ФСА – функционально-стоимостный анализ (value analysis)

ЦД (DT) – цифровой двойник (Digital Twin)

ЦД-П – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии производства изделия

ЦД-Р – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии разработки изделия

ЦД-Э – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии эксплуатации изделия

ЦУР (SDGs) – цели в области устойчивого развития (Sustainable Development Goals)

ЧПУ (CNC) – числовое программное управление (computer numerical control)

ЧРМ – численная расчетная модель (numerical simulation model)

ЭВМ – электронная вычислительная машина (computer)

ГЛОССАРИЙ
«ЦИФРОВОЙ ИНЖИНИРИНГ»

Составители: Тихомиров Г.В., Рыжов С.Н.

Редактор Т.В. Волвенкова

Подписано в печать 21.11.2023. Формат 60×88 1/8.
Уч.-изд.л. 10,75. Печ.л. 10,75. Изд. № 005-3. Тираж 300. Заказ № 108.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
Типография НИЯУ МИФИ.
115409, Москва, Каширское ш., 31.



Минобрнауки РФ



НИЯУ МИФИ

Федеральный проект «Передовые инженерные школы» создан в 2022 году по инициативе Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и направлен на подготовку квалифицированных инженерных кадров для высокотехнологичных отраслей экономики. Проект «Передовые инженерные школы» является одной из 42 инициатив Правительства РФ, направленных на повышение качества жизни граждан, выполняется в рамках государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации». Подробности о федеральном проекте приведены в Постановлении Правительства РФ от 08.04.2022 № 619.



Современное
инженерное
образование



Федеральный
проект ПИШ