

Современные стандарты и тренды подготовки профессиональных кадров высшей квалификации в области информационных технологий

«Высшее образование для цифрового будущего»,
«Суперкомпьютерные дни в России», 30.09.2025

**В.А. Сухомлин, проф. МГУ им. Ломоносова, ФИЦ ИУ РАН
(Москва), sukhomlin@mail.ru**



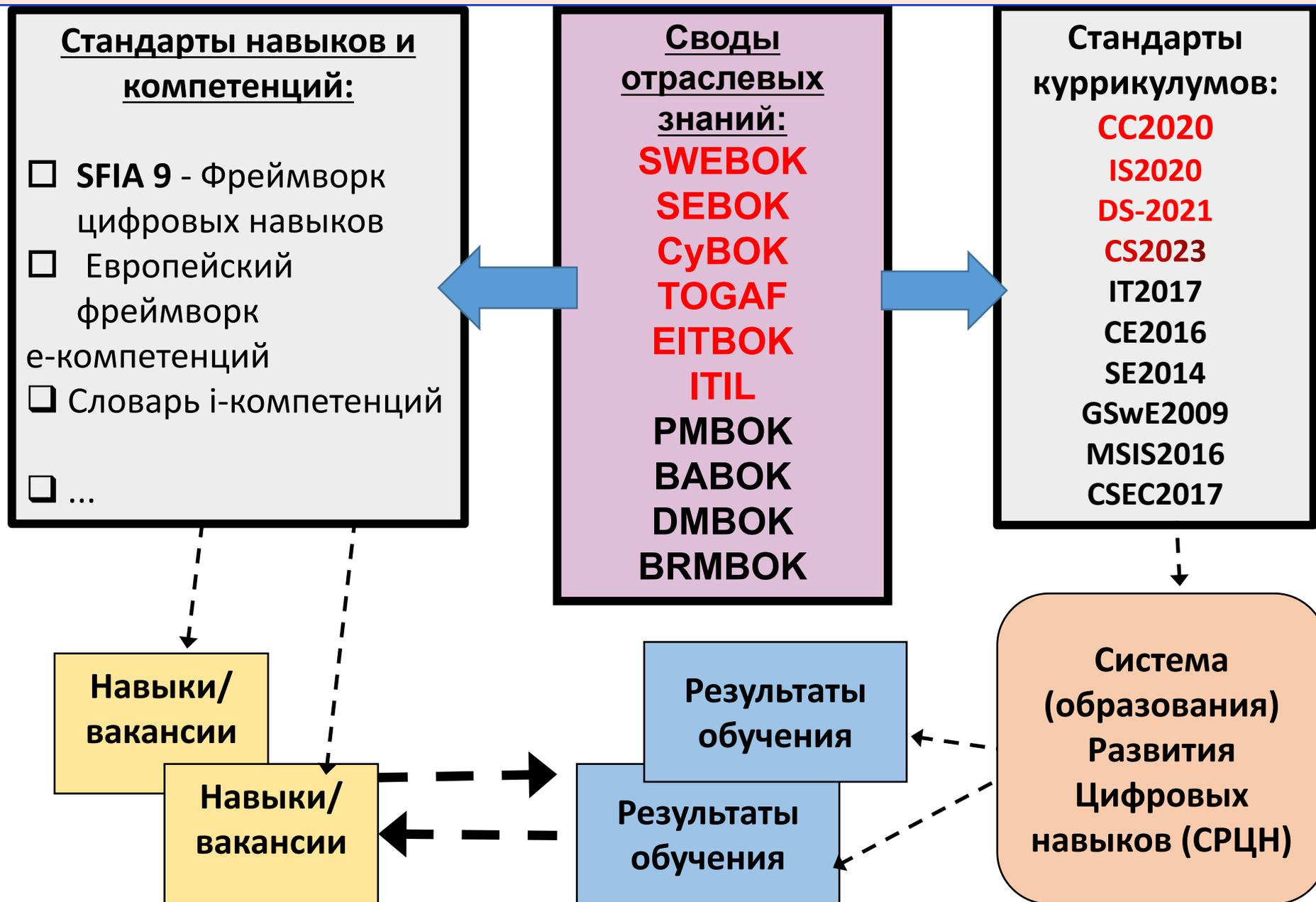
Подготовка ИТ-специалистов высшей квалификации - задача стратегической важности

- В условиях всеобщей цифровизации экономики и общества потребность в ИТ-кадрах постоянно возрастает и проблема подготовки высококвалифицированных ИТ-специалистов, способных развивать и профессионально использовать современные ИТ-технологии становится одной из актуальнейших
- Акцент в докладе будет сделан на подготовку специалистов в области суперкомпьютерных технологий, которые являются ключевым инструментом в таких областях, как:
 - фундаментальные исследования (физика частиц, моделирование климата, исследования в биоинформатике)
 - индустрия и экономика (оптимизация сложных производственных процессов, разработка новых видов материалов, финансовый анализ)
 - оборона и безопасность (криптография, симуляция военных операций, моделирование и испытания военных систем нового поколения)
 - медицина и фармацевтика (молекулярное моделирование и разработки новых лекарственных препаратов, персонализированная медицина) и многие другие

Образовательные стандарты в области ИТ

- В сфере управления персоналом и подготовки профессиональных ИТ-кадров важную роль играют следующие три процесса международной стандартизации:
 - (а) **стандартизация куррикулумов** (учебно-методических материалов) по направлениям подготовки ИТ-кадров в системе образования
 - (б) **создание сводов отраслевых знаний** (Body of Knowleges - **BoKs**) для актуальных доменов и видов деятельности области ИТ
 - (с) **стандартизация квалификационных требований** (компетенций/ навыков/ профилей профессиональных ролей) в области ИТ
- В последние годы характерным для этих процессов становится все более тесная интеграция, уровень которой в настоящее время позволяет рассматривать их как целостную систему процессов стандартизации методических основ для решения задач кадрового менеджмента и подготовки профессиональных кадров в области ИТ [1]

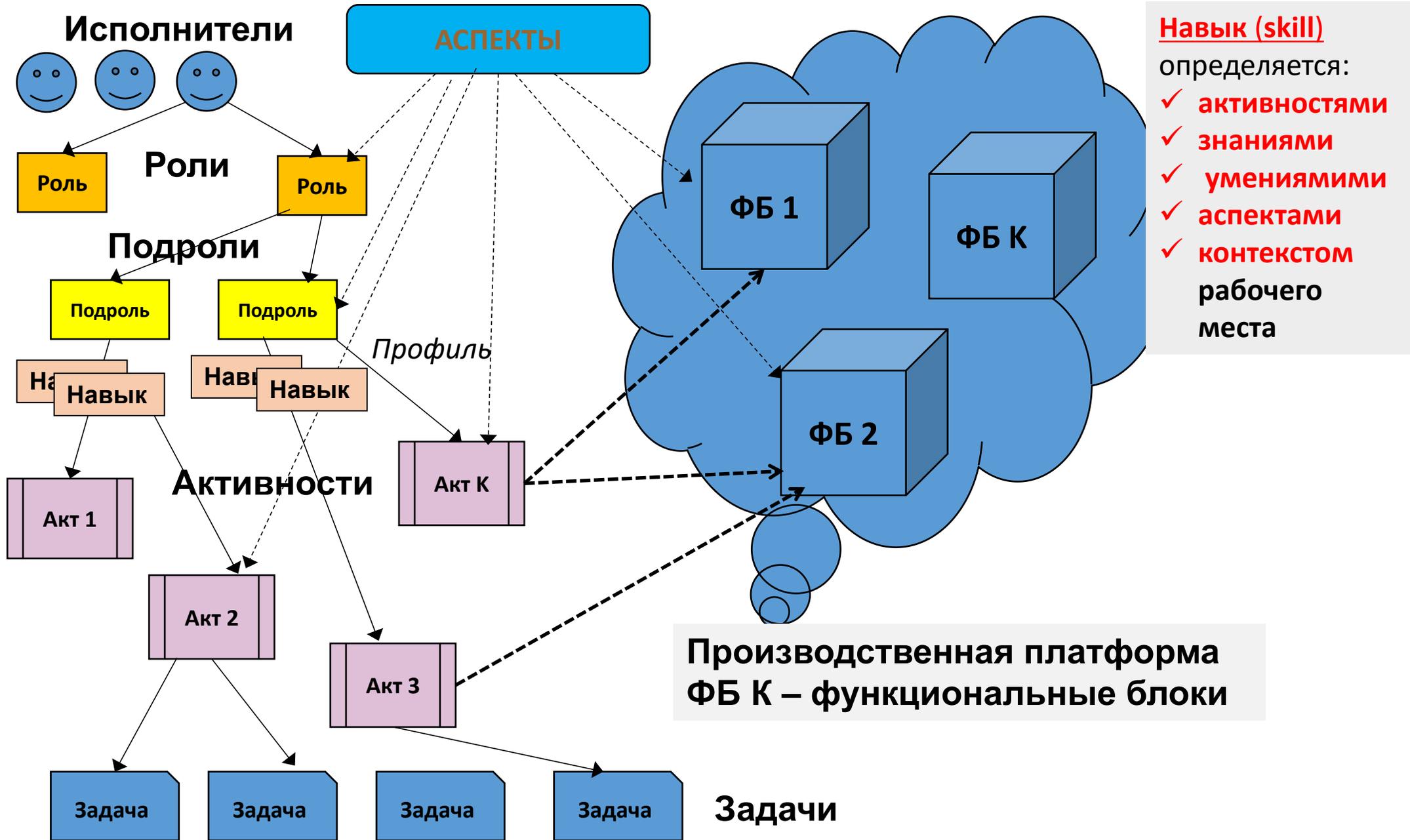
Процессы международной стандартизации, связанные с ИТ-образованием



Руководства по отраслевым Сводам знаний

- Руководства по отраслевым **Сводам знаний (Guidance on industry Bodies of Knowledge (BoKs))**, как правило, являются официальными источниками, которые создаются и поддерживаются признанными отраслевыми или профессиональными организациями
- **Отраслевой BoK** - описание совокупности знаний в определенной области, которую человек должен освоить, чтобы его можно было рассматривать или сертифицировать как практикующего специалиста
- **Примеры BoKs:**
 - SWEBOK v4 (Software Engineering BoK, IEEE-Computer Society, 2024)**
 - SEBOK (Systems Engineering BoK, IEEE-Systems Council, 2024)**
 - СуBOK (Cyber Security Body of Knowledge, 2025)**
 - EITBOK (Enterprise IT BoK, IEEE-Computer Society)**
 - TOGAF (The Open Group Architecture Framework)**
 - DMBOK (Data Management BoK, DAMA International)**
 - PMBOK (Project Management BoK, Project Management Institute)**
 - BRMBOK (Business Relationship Management BoK, Business Relationship Management Institute)**
 - BABOK (Business Analysis BoK, IIBA International Institute of Business Analysis)**

Модель использования навыков



Фреймворки описания навыков и компетенций

- Существует множество систем (фреймворков) спецификаций и классификаций навыков и компетенций
- В сфере кадрового менеджмента наиболее известными и авторитетными фреймфорками являются:
 - ❑ **SFIA (Skills Framework for the Information Age)** - Фреймворк навыков для информационного века
 - ❑ **e-CF European e-Competence Framework** - Европейский фреймворк компетенций
 - ❑ **The i Competency Dictionary - iCD** словарь компетенций, разработанный Агентством по продвижению ИТ в Японии (the Information Technology Promotion Agency - IPA)
 - ❑ **Профстандарты ИКТ**
- Анализ этих фреймворков приводится в книге:
Сухомлин В.А., Зубарева Елена Васильевна, Намиот Д.Е., Якушин А.В. Система развития цифровых навыков ВМК МГУ & Базальт СПО. Методика классификации и описания требований к сотрудникам и содержанию образовательных программ в сфере информационных технологий. место издания Базальт СПО; МАКС Пресс Москва, ISBN 978-5-317-06336-8, 2020. 184 с. - <https://doi.org/10.29003/m2575.978-5-317-06336-8> или <https://forums.vif2.ru/showthread.php?t=2976&p=11312&viewfull=1>

Фреймворки описания навыков и компетенций

Сводная таблица по SFIA8

стратегия и архитектура		1	2	3	4	5	6	7
Стратегическое планирование								
Стратегическое планирование	ITSP				5	6	7	
Координация информационных систем	ISCD				4	5	6	7
Информационное управление	IRMG				3	4	5	6
Корпоративная и бизнес-архитектура	STPL				2	3	4	5
Архитектура решений	ARCH				1	2	3	4
Иновации	INOV				1	2	3	4
Безопасность и конфиденциальность								
Информационная безопасность	ISCT				3	4	5	6
Информационное обеспечение	IRAS				2	3	4	5
Защита персональных данных	PEDP				1	2	3	4
Изучение уязвимости	VURE				1	2	3	4
Анализ угроз	THIN				1	2	3	4
Управление, риск и соблюдение требований								
управление ИТ управление ИТ	COVI				3	4	5	6
Управление рисками	RIRM				2	3	4	5
Аудит	AUDT				1	2	3	4
Управление качеством	QUMG				1	2	3	4
Обеспечение качества	QUAS				1	2	3	4
конструкция и реализация								
Консалтинг	CNSL				4	5	6	7
Консультации специалиста	TECH				3	4	5	6
Методы и инструменты	METL				2	3	4	5

изменения и трансформация		1	2	3	4	5	6	7
Внедрение изменений								
Управление портфелем	POMG				5	6	7	
Управление программами	PGMG				4	5	6	7
Управление проектами	PRMG				3	4	5	6
Сопровождение портфеля, программ и проектов	PROG				2	3	4	5
Анализ изменений								
Анализ бизнес-ситуации	BUSA				3	4	5	6
Оценка целесообразности	FEAS				2	3	4	5
Определение и управление требованиями	REQM				1	2	3	4
Бизнес-моделирование	BSMO				1	2	3	4
Прикладные испытания	BPTS				1	2	3	4
Планирование изменений								
Улучшение бизнес-процессов	BPRE				3	4	5	6
Развитие организационных возможностей	OCOM				2	3	4	5
Разработка и внедрение организационной структуры	ORCM				1	2	3	4
Управление организационными изменениями	OPIM				1	2	3	4
Управление выгодами	BEFM				1	2	3	4

The global skills and competency framework for the digital world

разработка и внедрение		1	2	3	4	5	6	7
разработка систем								
Управление продуктами	PROD				3	4	5	6
Управление разработкой системы	DLMG				2	3	4	5
Проектирование жизненного цикла системы и программного обеспечения	SLEN				1	2	3	4
Проектирование систем	DESN				1	2	3	4
Проектирование программного обеспечения	SWDN				1	2	3	4
Проектирование сети	NTDS				1	2	3	4
Проектирование аппаратного обеспечения	HWDE				1	2	3	4
Программирование (разработка программного обеспечения)	PROG				1	2	3	4
Интеграция и сборка системы	SBIT				1	2	3	4
Тестирование	TEST				1	2	3	4
Конфигурация программного обеспечения	PORT				1	2	3	4
разработка встраиваемых систем/ разработка систем реального времени	RESO				1	2	3	4
Техника безопасности	SPEN				1	2	3	4
Оценка безопасности	SPAS				1	2	3	4
Рабочая частота тачпада	RFEN				1	2	3	4
Разработка анимации	ADEV				1	2	3	4
данные и аналитика								
Управление данными	DATM				3	4	5	6
Моделирование и проектирование данных	DTAN				2	3	4	5
Проектирование баз данных	DBDS				2	3	4	5
Мониторинг данных	DENM				1	2	3	4
Администрирование баз данных	DBAD				1	2	3	4
Датум сайнса	DRES				1	2	3	4
Машинное обучение	MLNG				1	2	3	4
Бизнес-аналитика	BINT				1	2	3	4
Выявление мошенничества	VISL				1	2	3	4
опыт пользователя								
Исследование пользователей	URCH				3	4	5	6
Анализ пользовательского опыта	UNAN				2	3	4	5
Проектирование пользовательского опыта	HCET				1	2	3	4
Оценка пользовательского опыта	USEV				1	2	3	4
Управление контентом								
Создание контента	INCA				3	4	5	6
Публикация контента	ICPM				2	3	4	5
Управление контентом	KNOW				1	2	3	4
Вычислительная наука								
Натурная модель	SCMO				4	5	6	7
Числовой анализ	NUMN				3	4	5	6
Высокопроизводительные вычисления	HPCC				2	3	4	5
взаимоотношения и взаимодействие								
управление отношениями с заинтересованными сторонами								
Сервис	SORC				3	4	5	6
Управление поставщиками	SUPP				2	3	4	5
Управление контрактами	CCM				1	2	3	4
Управление взаимоотношениями с заинтересованными сторонами	BLMT				1	2	3	4
Служба поддержки клиентов	CSMC				1	2	3	4
Бизнес-администрирование	ADMN				1	2	3	4
опыт и маркетинг								
Маркетинг	MKTG				3	4	5	6
Продажи	SALE				2	3	4	5
Поддержка продаж	SSUP				1	2	3	4

доставка и эксплуатация		1	2	3	4	5	6	7
Технологический менеджмент								
Управление технологическими услугами	ITMG				5	6	7	
Поддержка технологической инфраструктуры ИТ	ASUP				4	5	6	7
Системное программное обеспечение	OSCP				3	4	5	6
Поддержка сети	SISP				2	3	4	5
Установка и удаление систем	NSIN				1	2	3	4
Управление конфигурациями	CFMG				1	2	3	4
Резервное копирование	RELM				1	2	3	4
Управление архивами	STMG				1	2	3	4
Управление объектами	OCMA				1	2	3	4
Управление услугами								
Управление уровнем услуг	SLMO				5	6	7	
Управление каталогом услуг	SCMG				4	5	6	7
Управление доступностью	AVMT				3	4	5	6
Управление инцидентами	CFMG				2	3	4	5
Управление проблемами	USLP				1	2	3	4
Контроль качества	PBMG				1	2	3	4
Управление активами	CHMG				1	2	3	4
Принятие услуг	ASMG				1	2	3	4
SEAC					1	2	3	4
Услуги по обеспечению безопасности								
Операции по обеспечению безопасности	SCAD				3	4	5	6
Оценка уязвимости	VUAS				2	3	4	5
Цифровая криминалистика	DICFS				1	2	3	4
Тестирование на проникновение	PENT				1	2	3	4
Люди и навыки								
управление людскими ресурсами								
Управление производительностью	PEMT				5	6	7	
Вовлечение персонала	EDDP				4	5	6	7
Организационная фасилитация	OFCL				3	4	5	6
Профессиональное развитие	PDIV				2	3	4	5
Планирование трудовых ресурсов	WFPL				1	2	3	4
Обеспечение ресурсами	RESC				1	2	3	4
Управление навыками								
Управление обучением и развитием	ETMG				5	6	7	
Разработка и развитие программы обучения	TMCR				4	5	6	7
Проведение учебных мероприятий	ETDL				3	4	5	6
Оценка компетенций	LEDA				2	3	4	5
Работа системы сертификации	CSOP				1	2	3	4
Обучение	TEAC				1	2	3	4
Формирование темы	SUBF				1	2	3	4
Уровни ответственности								
Структура SFIA состоит из семи уровней ответственности от уровня 1, самого низкого, до уровня 7, самого высшего. Каждый из семи уровней обозначен также руковожденной фразой для обозначения уровня ответственности.								
Уровень 1 - Следовать Уровень 2 - Помогать Уровень 3 - Применять Уровень 4 - Выступать Уровень 5 - Обеспечивать, совершенствовать Уровень 6 - Инициировать, влиять Уровень 7 - Финансировать стратегию, администрировать, мобилизовать								

Стратегия и архитектура

Стратегия и планирование
Безопасность и конфиденциальность
Управление, риски и согласие
Совет и руководство

Изменение и трансформация

Реализация изменений
Анализ изменений
Планирование изменений

Разработка и реализация

Разработка систем
Данные и аналитика
Пользовательский опыт

Управление содержанием
Вычислительная наука

Доставка и эксплуатация

Управление технологиями
Управление услугами
Сервисы безопасности

Люди и навыки

Управление персоналом
Управление навыками

Отношения и взаимодействие

Управление заинтересованными сторонами
Продажи и маркетинг

Фреймворки описания навыков и компетенций

- Наиболее широко распространенным стандартом цифровых навыков является стандарт SFIA, определяющий навыки и компетенции, необходимые специалистам, которые проектируют, разрабатывают, внедряют, управляют и защищают данные и технологии, обеспечивающие работу цифрового мира [20]
- Стандарты SFIA (последняя версия SFIA 9) определяют систему классификации и методику описания цифровых навыков области ИТ, соответствующих требованиям цифровой экономики
- Модель классификации ИТ-навыков в SFIA представляет собой трехуровневую иерархическую систему, на верхнем уровне которой навыки разбиваются на классы **категорий**, затем, на втором уровне, категории структурируются на **подкатегории**, которые в свою очередь выступают как совокупности близких по роду деятельности **навыков**, составляющих третий, самый нижний, уровень иерархии системы классификации. Всего в **SFIA 9** определяется: **6 категорий** навыков, **22 подкатегории** и **148 индивидуальных навыков**, причём общее описание навыка уточняется описанием каждого допустимого для него уровня исполнения (уровня ответственности)
- В SFIA определены семь **уровней ответственности**, которые названы следующими глаголами в повелительном наклонении:
 - L=1 — следуй
 - L=2 — помогай
 - L=3 — применяй
 - L=4 — создавай возможности
 - L=5 — обеспечивай/советуй
 - L=6 — иницируй/влиять
 - L=7 — формулируй стратегию, вдохновляй и мобилизуй.

Семантика каждого уровня ответственности определяется по единому шаблону, содержащему следующие пять разделов, определяющие поведенческие факторы: Autonomy (Автономность), Influence (Влияние), Complexity (Сложность), Knowledge (Знание), Business skills (Бизнес навыки)

Фреймворки описания навыков и компетенций

- В качестве примера навыка в SFIA рассмотрим общее описание навыка «**High-performance computing**» (**Высокопроизводительные вычисления**) - НРСС, назначение которого: использование передовых компьютерных систем и специальных методов программирования для решения сложных вычислительных задач с использованием суперкомпьютеров
- **Уровни ответственности для этого навыка: 5, 6, 7**
- **Основными задачами для навыка являются:**
 - использование суперкомпьютеров и методов параллельной обработки для решения сложных вычислительных задач с акцентом на разработку алгоритмов и систем параллельной обработки
 - использование суперкомпьютеров в исследовательских работах для выполнения объёмных вычислений, компьютерного моделирования, имитации и анализа больших данных
- **Деятельности включают:**
 - проектирование и оптимизация параллельных алгоритмов
 - управление и поддержка инфраструктур НРС
 - разработка программного обеспечения для сред НРС
 - проведение анализа производительности и оптимизация приложений НРС
 - сотрудничество с исследователями для перевода научных проблем в решения НРС и др.
- Технология НРС применяется в различных дисциплинах, включая: биологические науки и молекулярное моделирование, географические данные, разведку месторождений нефти и газа, моделирование климата и прогнозирование погоды, физическое моделирование, криптоанализ

Важное событие – публикация CC2020

A Computing Curricula Series Report
2020 December 31

Computing Curricula 2020

CC2020

Paradigms for Global Computing Education

encompassing undergraduate programs in

Computer Engineering

Computer Science

Cybersecurity

Information Systems

Information Technology

Software Engineering

with data science

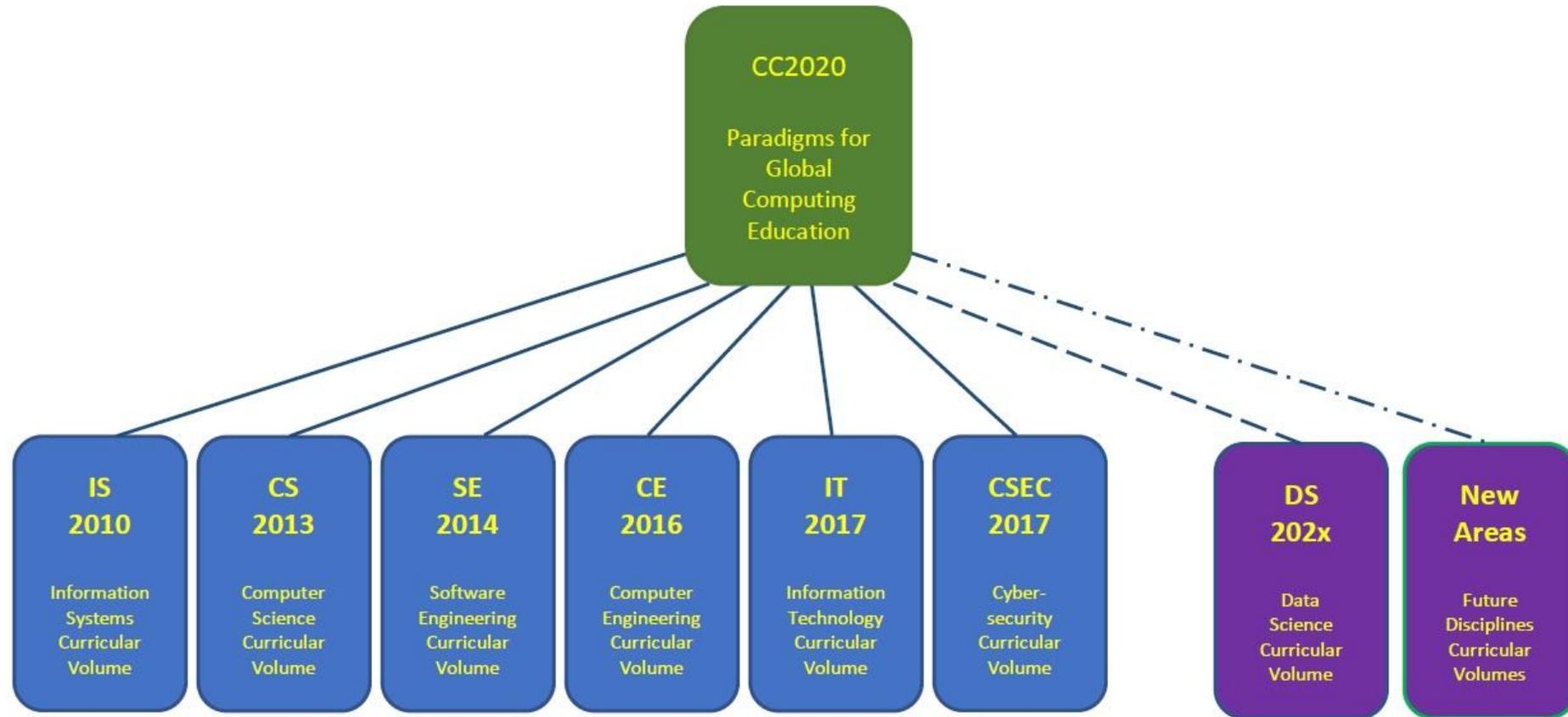


Association for
Computing Machinery

СС2020

- **Цель проекта СС2020** - предоставить **глобальное руководство** в развивающейся среде компьютинга (ИТ), влияющее на программы бакалавриата в области ИТ **во всем мире**
- **Видение:** создать востребованный и надежный набор руководящих принципов для использования (будущими) студентами, промышленностью, правительствами и образовательными учреждениями **во всем мире**, чтобы помочь им получить представление об ожиданиях выпускников компьютерных программ бакалавриата **на следующее десятилетие**
- **Миссия проекта СС2020** - **создать всемирно признанный фреймворк для определения** и сравнения программ бакалавриата в области компьютинга (computing или ИТ)
- **Главные положения СС2020:**
 - Уточнение **понятия компьютинга** (ИТ в академической среде)
 - Определение современной **архитектуры компьютинга**
 - Определение **ожидаемых направлений развития** курикулумной стандартизации
 - Определение главной линии в разработке курикулумов на **компетентно-базированный подход** («основное внимание должно уделяться тому, что студенты должны уметь выполнять, а не тому, чему должны учить преподаватели»)
 - **Определение понятия компетенции** и его компонент
 - Методы спецификации образовательного контента (ВоК) на основе компетентно-базированного подхода («Компетентность более эффективно описывает ожидания результата»)
 - Методы визуализации компонент ВоК и пр.

CC2020 Современный состав куррикулов (Timeline of Curricular Guidelines)



- **Information Systems 2020 (IS2020)**
- **Computer Science Curricula 2023 (CS2023)**
- **Software Engineering Curricula 2014 (SE2014)**
- **Computer Engineering Curricula 2016 (CE2016)**
- **Information Technology Curricula 2017 (IT2017)**
- **Cybersecurity Curricula 2017 (CSEC2017)**
- **Data Science Computing Competenies 2021 (DSCC2021)**
- **Other emerging disciplines**

Ожидаемые новые куррикулы (Emerging Curricula)

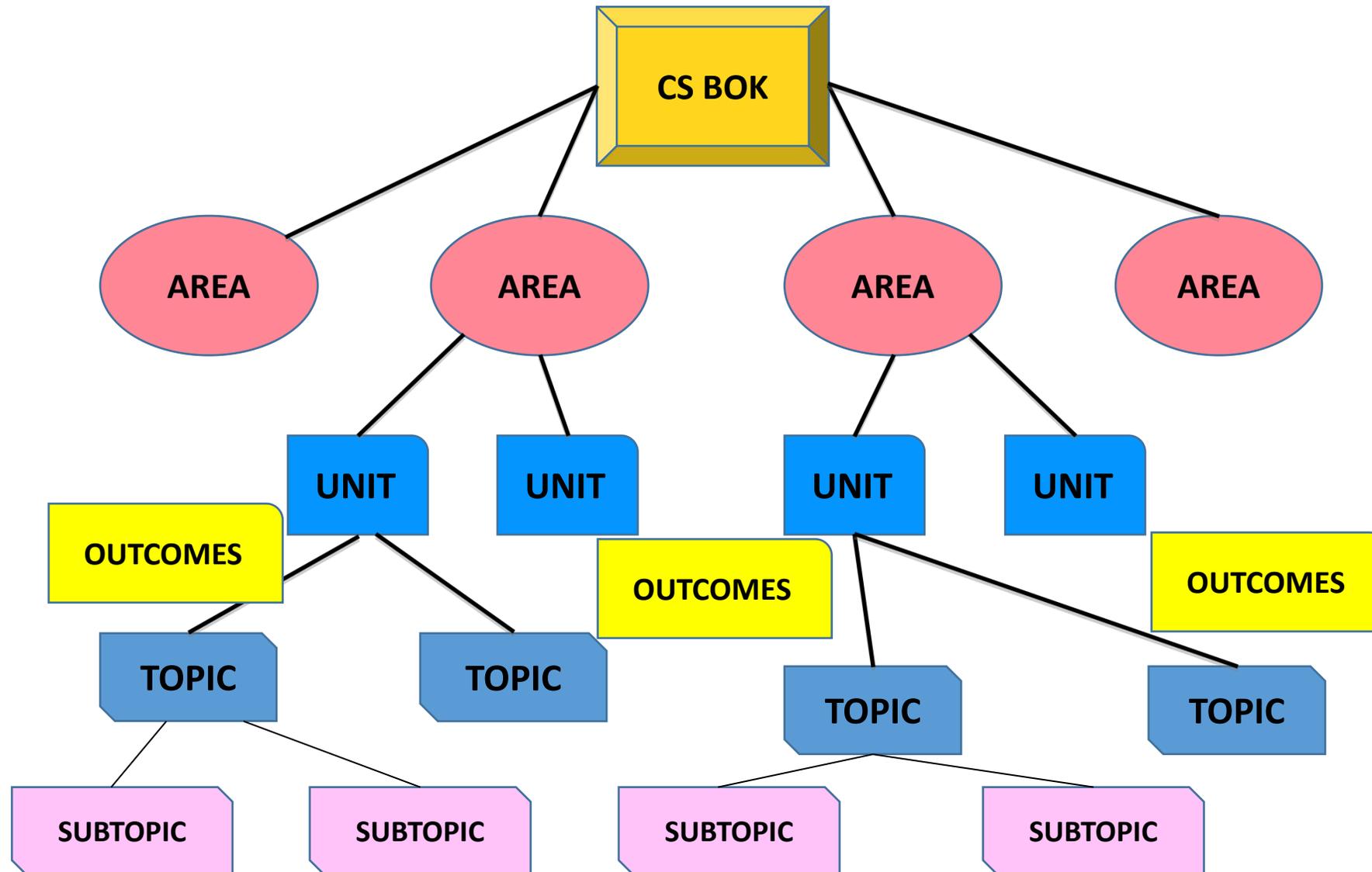
• В первую десятку прогнозируемых новых направлений входят:

- (a) глубокое обучение (DL) и машинное обучение (ML)
- (b) цифровые валюты
- (c) блокчейн
- (d) промышленный Интернет вещей
- (e) робототехника
- (f) автоматизированная транспортировка (assisted transportation)
- (g) интеллектуальная / дополненная реальность и виртуальная реальность (AR / VR)
- (h) этика, законы и политики в отношении конфиденциальности, безопасности и ответственности
- (i) графические ускорители и 3D
- (j) кибербезопасность и AI ...

Знание-ориентированный образовательный контент (KBL)

- Основную часть курикулумов составляет описание образовательного контента, (т.е. того, чему учить), называемого сводом или **объемом знаний (Body of Knowledge - BoK)** и образовательно **ядра (core)**
- Традиционно образовательный контент представлялся в виде иерархической структуры, включающей такие элементы знаний, как, предметные области (**areas**), модули знаний (**units**), темы/подтемы (**themes/subthemes**)
- Такой подход к определению содержания обучения называется знание-ориентированным (**knowledge-based learning - KBL**)
- В подходе KBL уделяется должное внимание определению результатов обучения (**outcomes**), которые связываются с соответствующими им модулями знаний. При этом используется аппарат дидактических параметров для дифференцирования результатов обучения и придания им прагматического смысла

Архитектура BOK (Body of Knowledge) в подходе KBL



Компетентностно-базируемый образовательный контент (СВЛ)

- Начиная с 2016 г. в курикулах нового поколения стало характерным применение **компетентного подхода**, при котором своды знаний не определяются в явной форме, а задаются опосредованно через структурированные наборы требований к знаниям и умениям в форме компетенций в качестве результатов обучения (outcomes)
- Такой подход именуется **компетентностно-базируемым (Competency-based learning - СВЛ)**
- Описание ИТ-компетенций смещает акцент в курикулах с описания знаний на прагматику достижения конечного результата обучения, т.е. описание того, что выпускники могут делать в практических ситуациях, заменяет описание содержания обучения
- В подходе **СВЛ** более акцентированно и явно определяются цели обучения, также упрощается определение самого ВОК, так как не требуется его детализация до уровня тем/подтем (такую работу придется выполнять вузам, чтобы сконструировать учебные курсы, развивающие требуемые навыки/компетенции)
- Подход СВЛ принимается в СС2020 за основу!

Компетентностно-ориентированное ИТ-образование (Competency-based Computing Education)

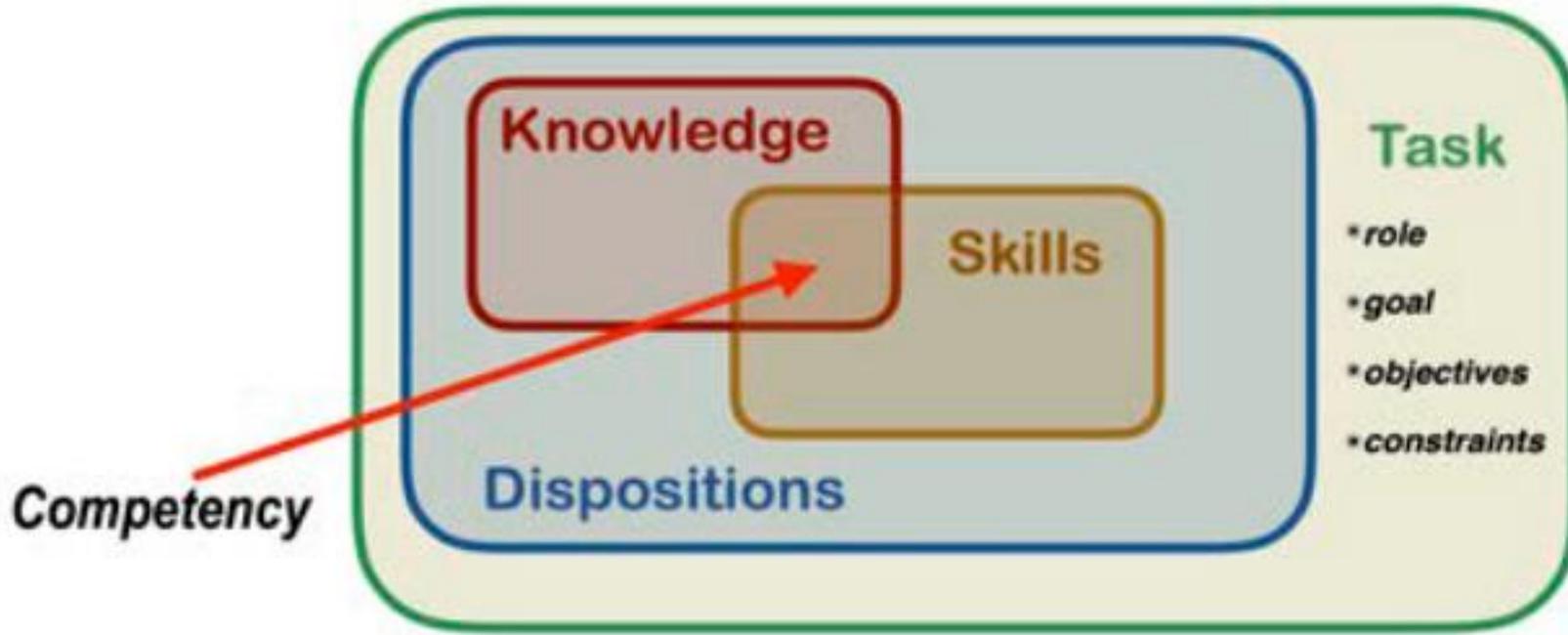
- **В СС2020 компетенция принимается за основу для выражения как цели обучения в ИТ-образовании, так и способности выполнять задачи на рабочем месте**
- В образовании успешная готовность к карьере требует, чтобы студенты развивали ряд качеств, организованных по трем параметрам:
 - ❑ **знания (knowledge)**
 - ❑ **навыки (skills)**
 - ❑ **склонности (disposition)**

поэтому компетенция описывается как:

Компетенция = Знания + Навыки + Диспозиция (в контексте задачи)

- Для подхода CBL образовательный контент определяется в виде иерархической структуры областей компетенций или навыков

Модель компетенции CC2020 (Competency Model)



Уровни когнитивности по Блуму:

Remembering - Запоминание

Understanding - Понимание

Applying - Применение

Analyzing - Анализ

Evaluating - Оценка

Synthesis - Синтез

1. **Знания** - это аспект компетентности как фактического понимания того, что знает человек
2. **Навыки** - дают возможность применять знания для активного выполнения задачи
3. **Диспозиции** - представляют собой **социально-эмоциональные** склонности, пристрастия и отношения (например, надежность)
4. **Задача** - определяет умелое применение знаний и конкретизирует диспозиции

Модель компетенции CC2020 (Competency Model)

Competency Title: B		
<p>Competency Statement Analyze and compare several networking topologies in terms of robustness, expandability, and throughput used within a cloud enterprise.</p>		
Knowledge Element [Table #]	Skill Level [Table 4.3]	
Computer Networks [4.1]	Analyzing	
Platform Technologies [4.1]	Analyzing	
Analytical and Critical Thinking [4.2]	Applying	
Mathematics and Statistics [4.2]	Applying	
Quality Assurance [4.2]	Applying	
Disposition(s) [Table 4.4]		
Self-directed	Purpose-driven	Responsible

Куррикулумы 202X

- 1) **IS2020**. A Competency Model for Undergraduate Programs in Information Systems. The Joint ACM/AIS IS2020 Task Force
- 2) **DSCC2021**. Computing Competencies for Undergraduate Data Science Curricula. ACM Data Science Task Force January 2021 Andrea Danyluk
- 3) **CS2023**. Computer Science Curricula 2023. ACM/IEEE-CS/AAAI Computer Science Curricula
- 4) **Куррикулум для дисциплины «Кибербезопасность», 2022**

(Куррикулум дисциплины «Кибербезопасность»: научное издание / В. А. Сухомлин, С. В. Лебедь, О. С. Белякова, А. С. Климина, М. С. Полянская. – Москва: Фонд «Лига интернет-медиа», 2022. – 402 с. – DOI: <https://doi.org/10.25559/f6676-8117-2920-j>

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48019765>

<https://forums.vif2.ru/showthread.php?t=2986&p=11402&viewfull=1>

Кризис ИТ-образования. Критические технологии для 4ПР (конвергентные когнитивно-информационные технологии – ККИТ)

- Интернет вещей
- Промышленный Интернет
- Большие данные и анализ БД
- ВІМ
- Цифровые двойники
- Суперкомпьютерные технологии
- Умные города
- 5G/6G
- Облачные, туманные и граничные вычисления
- Искусственный интеллект и машинное обучение
- Генеративный ИИ и БЯМ
- Блокчейн
- Роботы-дроны
- Иммерсивные технологии (англ. immersive – погружение), включающие дополненную реальность (augmented reality – AR), виртуальную реальность (virtual reality - VR) и смешанную реальность (mixed reality – MR), VR-AR- MR, Технологии метавселенной
- Метавселенные
- Онтологии и управление знаниями
- Кибербезопасность системы систем и ИИ ...

Кризис ИТ-образования

- ограниченность направлений подготовки в ИТ-образовании
- медленные темпы введения новых востребованных направлений подготовки
- требования в обучении студентов десяткам комплексных технологий одновременно!!

Какие возможны

способы разрешения

кризиса в ИТ-образовании?

- 1) Введение новых направлений и **профилей**
- 2) Разработка новых **куррикулумов**
- 3) Разработка **крос-дисциплин** (типа **Анализа ИТ**)
- 4) Гибридные программы: **Computing + X** или **X + Computing ...**

Требования к подготовке специалистов в области суперкомпьютерных технологий

Подготовка специалистов в области суперкомпьютерных технологий должна сочетать:

1. Фундаментальную математическую подготовку и подготовку по теоретическим основам компьютерных наук
2. Профессиональный уровень программирования, владение методами и инструментами параллельного и распределенного программирования
3. Получение практического опыта работы на реальных суперкомпьютерах
4. Владение инструментами управления, мониторинга и оптимизации вычислительного процесса на суперкомпьютерных системах
5. Управление данными и I/O-оптимизация в суперкомпьютерных технологиях
6. Знание одной или нескольких прикладных областей, в которых осуществляются научные симуляции с использованием суперкомпьютерных систем
7. Стажировку в суперкомпьютерных центрах на реальных научных проектах
8. Междисциплинарность и мягкие навыки
9. **Использование инновационных подходов в подготовке специалистов по суперкомпьютерным технологиям**

Лучшее решение на сегодня - Магистерская программа "Суперкомпьютерные системы и приложения" (научные руководители: профессор В.В. Воеводин, доцент Н.Н. Попова)

- Направлена на подготовку специалистов в области математического моделирования, архитектур и программного обеспечения современных вычислительных систем, включая многоядерные и графические процессоры, кластеры рабочих станций и суперкомпьютерные комплексы, высокопроизводительных вычислений и параллельного программирования, методов организации решения сложных задач на высокопроизводительных системах. <https://cs.msu.ru/node/3237>, <https://cs.msu.ru/node/3211>
- Области знаний:
 - Суперкомпьютерное моделирование и технологии**
 - Технологии распределенного хранения и обработки данных**
 - Параллельные методы решения задач**
 - Параллельная обработка больших графов**
 - Естественные модели параллельных вычислений**
 - Администрирование суперкомпьютерных систем**
 - Параллельное программирование для высокопроизводительных систем**
 - Практика решения задач на суперкомпьютерных системах**

Модели подготовки для исследований в прикладных областях с использованием суперкомпьютерных систем

- **(1) Computing + HPC + X,**

где «X» – некоторая прикладная для ИТ область (например, биология, астрономия, химия, экономика, лингвистика и др.). Computing - базовые знания по информатике и HPC - учебный блок по HPC (лучший стандарт для профилирования это **ФИИТ**)

- **(2) X + Computing + HPC,**

где «X» являются основными областями интересов, такими как физика, биология, медицина или другие приложения ИТ

- (2) отличается от (1) тем, что в первом базовая область - это не ИТ-направление (например, химия), тогда как во втором базовая область - это один из профилей ИТ

- Дипломы в этой категории могут включать термин «**информатика и супервычисления**», например, **медицинская информатика и супервычисления**

- Характерными для области суперкомпьютерных технологий мягкими навыками (Soft skills) или социально-личностными качествами являются научная коммуникация, навыки написания научных статей и заявок на вычислительные ресурсы, умение работать в распределенных командах

Модели подготовки для исследований в прикладных областях с использованием суперкомпьютерных систем

Внедрение в образовательную практику **инноваций**, соответствующих ключевым трендам в подготовке ИТ-специалистов

- 1) **Интеграцию академического и корпоративного образования** - совместные программы с ведущими ИТ-компаниями (например, Huawei Academy, Яндекс.Практикум)
- 2) **Гибкие и персонализированные траектории обучения** - допущение обучения дисциплинам по выбору студентов с помощью технологий Microcredentials и нанодипломов (Coursera, edX)
- 3) **Дистанционные и гибридные форматы:**
 - онлайн-лаборатории
 - VR-симуляторы (например, для обучения кибербезопасности)
 - программы двойных дипломов и пр.
- 4) **Подход кейс-технологий** в сочетании с дистанционными формами обучения

Кейс-технология

- **Кейс-технология** (от англ. «case» — случай) — интерактивная технология анализа и решения реальной или смоделированной проблемной ситуации в контексте профессиональной деятельности, представленной в виде **кейса** [21]. При этом описание ситуации, содержащей проблему, представляется в виде, вызывающем дискуссию и активное обсуждение
- Обучающимся предлагается проанализировать ситуацию, возможно, предварительно изучив дополнительные источники информации, и предложить возможные варианты решения и выбрать лучший из них
- Применение кейс-технологии в обучении позволяет реализовать проблемное обучение, оценить сформированность компетенций (способность работать в команде, способность к самоорганизации и самообразованию, способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий, способность учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности и др.)
- Как правило, кейс-технология направлена на развитие междисциплинарных знаний и умений, способствует развитию метапредметных знаний и умений обучающихся, включая коммуникативные навыки, умение работать в команде, проявлять гибкость, улаживать конфликты, умение убеждать и искать компромиссы и др.

Примеры наиболее продвинутых решений кейс-технологий в HPC

1. PRACE (**Partnership for Advanced Computing in Europe**)

PRACE предлагает образовательные программы и кейсы на основе реальных задач HPC, включая моделирование климата, квантовую физику и биоинформатику. Примеры кейсов:

- ❑ PRACE Case Studies – коллекция реальных задач с решениями - [PRACE Case Studies](#)
- ❑ PATC (PRACE Advanced Training Centres) – курсы с практическими кейсами - PATC ([PRACE Advanced Training Centres](#))

2. XSEDE (**Extreme Science and Engineering Discovery Environment**, США)

Программа предлагает кейсы для обучения работе с суперкомпьютерами, включая параллельные вычисления и оптимизацию кода. Примеры кейсов:

- ❑ XSEDE HPC Case Studies – учебные материалы и задачи - [XSEDE HPC Case Studies](#)
- ❑ HPC University – ресурсы с практическими заданиями - [HPC University](#)

3. NVIDIA Deep Learning Institute (DLI) + HPC

NVIDIA предлагает кейсы по использованию GPU в HPC, включая задачи машинного обучения и физического моделирования. Примеры кейсов:

- ❑ NVIDIA DLI HPC Courses – практические лаборатории - [NVIDIA DLI HPC Courses](#).
- ❑ CUDA Case Studies – оптимизация вычислений на GPU - [CUDA Case Studies](#)

4. Oak Ridge National Laboratory (ORNL) – [HPC Training](#)

ORNL проводит школы (например, [HPC Summer School](#)) с реальными кейсами из энергетики и материаловедения - [HPC Summer School](#). Примеры кейсов:

- ❑ ORNL Case Studies – разбор задач на суперкомпьютере Summit - [ORNL Case Studies](#)

Примеры наиболее продвинутых решений кейс-технологий в HPC

5. Intel® HPC Academy

Intel предоставляет кейсы по оптимизации кода для процессоров Xeon и ускорителей. Пример:

- Intel HPC Toolkit Case Studies – пример оптимизации - [Intel HPC Toolkit Case Studies](#)

6. MIT Lincoln Laboratory – Supercomputing Challenges

MIT использует кейс-методы в курсах по параллельным вычислениям. Пример:

- MIT Lincoln Lab HPC – задачи из оборонных и научных проектов - MIT Lincoln Lab HPC

7. SURF (Нидерланды) – [HPC Education](#)

Голландский центр SURF предлагает кейсы по использованию суперкомпьютеров в исследованиях.

Пример:

- SURF HPC Cases – учебные материалы - SURF HPC Cases

8. Российские практики: МГУ, МФТИ, РАН. Примеры:

- Суперкомпьютерный консорциум университетов России – кейсы на базе "Ломоносова" (МГУ)

- МФТИ – HPC School – задачи по моделированию - МФТИ – HPC School

• Таким образом к лучшим кейс-практикам можно отнести:

- реальные научные и инженерные кейсы ([PRACE](#), [ORNL](#))

- практические лаборатории на суперкомпьютерах ([NVIDIA DLI](#), [XSEDE](#))

- оптимизационные задачи ([Intel](#), [CUDA](#))

Приложение. Категории свода знаний для подготовки специалистов высшей квалификации в области НРС

- 1) Математика**
- 2) Методы и инструменты параллельного и распределенного программирования**
- 3) Методы и инструменты управления данными и I/O-оптимизации в суперкомпьютерных технологиях**
- 4) Методы и инструменты модельно-ориентированной системной инженерии [18]**
- 5) Знание одной или нескольких прикладных областей**
- 6) Практика решения задач на суперкомпьютерных системах с использованием кейс-технологий**

Математика для НРС (области знаний)

- 1) Вычислительная математика
- 2) Линейная алгебра
- 3) Параллельные вычисления и распараллеливание алгоритмов
- 4) Дискретная математика
- 5) Теория вероятностей и статистика
- 6) Математическое моделирование
- 7) Математические методы оптимизации
- 8) Теория информации и кодирования
- 9) Формальные методы и верификация

Математика для НРС (области знаний)

1) Вычислительная математика (Computational Mathematics)

- Численные методы (аппроксимация, интерполяция, численное интегрирование и дифференцирование)
- Методы решения СЛАУ (прямые и итерационные методы, разреженные матрицы)
- Оптимизация вычислений (минимизация ошибок, устойчивость алгоритмов)
- Численные методы решения дифференциальных уравнений (конечные разности, метод конечных элементов, спектральные методы)
- Разностные схемы

2) Линейная алгебра

- Матричные вычисления (разложения: LU, QR, SVD, собственные значения)
- Итерационные методы (метод сопряжённых градиентов, GMRES)
- Разреженные матрицы и их хранение (форматы CSR, CSC, ELLPACK)

Математика для НРС (области знаний)

3) Параллельные вычисления и распараллеливание алгоритмов

- Теория графов (распределение нагрузки, декомпозиция задач) Методы декомпозиции (domain decomposition, multigrid methods)
- Алгоритмы синхронизации (барьеры, атомарные операции, lock-free структуры)

4) Дискретная математика

- Теория сложности вычислений (классы P, NP, параллельные алгоритмы) Быстрые алгоритмы (БПФ, быстрое умножение матриц)
- Графовые алгоритмы (поиск кратчайших путей, максимальные потоки)

5) Теория вероятностей и статистика

- Стохастические методы (методы Монте-Карло, марковские процессы) Статистический анализ данных (обработка больших массивов)
- Машинное обучение и оптимизация (градиентные методы, SGD)

6) Математическое моделирование

- Дифференциальные уравнения в частных производных (УрЧП)
- Многомасштабное моделирование (молекулярная динамика, методы coarse-graining)
- Моделирование физических процессов (гидродинамика, квантовая механика)

7) Математические методы оптимизации

- Выпуклая оптимизация (линейное/нелинейное программирование)
- Глобальная оптимизация (генетические алгоритмы, swarm optimization)
- Оптимизация в распределённых системах (распределённый SGD, federated learning)

8) Теория информации и кодирования

- Сжатие данных (алгоритмы для больших массивов)
- Коды коррекции ошибок (в распределённых вычислениях)
- Криптография (защита данных в НРС-кластерах)

9) Формальные методы и верификация

- Математическая логика и теория автоматов (верификация параллельных алгоритмов)
- Теория типов (корректность программ)

Методы и инструменты параллельного и распределенного программирования

- 1) **Архитектуры НРС** (кластеры, GPU-ускорители, векторные процессоры, квантовые сопроцессоры)
- 2) **Системы хранения** (Lustre, GPFS, NVMe-over-Fabrics)
- 3) **Языки программирования**: C/C++, Fortran, Python (с ускорением через Numba/Cython)
- 4) **Параллельное и распределенное программирование**, включая:
 - ❑ Парадигмы и инструментальные средства параллельного и распределенного программирования (MPI, OpenMP, CUDA, SYCL, OpenACC)
 - ❑ Оптимизация кода (векторизация, cache-friendly подходы, уменьшение коммуникационных накладных расходов)
 - ❑ Анализ масштабируемости (Amdahl's Law, Gustafson's Law, weak/strong scaling)
- 5) **Инструменты мониторинга и профилирования** (Intel VTune, Nsight, Arm Forge и др.)
- 6) **Инструменты управления очередями задач** (Slurm, PBS, LSF)
- 7) **Фреймворки поддержки суперкомпьютерных вычислений**: PETSc, Trilinos, FFTW, BLAS/LAPACK (MKL, cuBLAS)
- 8) **Реализация практических проектов на суперкомпьютерах**, например, на суперкомпьютерах «Ломоносов-2» или «Кристофари»

Методы и инструменты управления данными и I/O-оптимизации в суперкомпьютерных технологиях

- 1) Эффективная работа с большими данными и их хранение, использование форматов с быстрым доступом (HDF5, NetCDF, ADIOS2, распределенные файловые системы, многоуровневое хранение))
- 2) Оптимизация ввода-вывода (коллективные операции, буферизация и агрегация, staging- подходы, кэширование, сжатие))
- 3) Визуализация данных во время выполнения моделирования (In-situ и in-transit визуализация (ParaView, VisIt))
- 4) Оптимизация обработки больших данных (оптимизация доступа, кэширование, сжатие, ZFP, SZ)
- 5) Промежуточная обработка (выборка данных, фильтрация данных перед записью)

Знание одной или нескольких прикладных областей

- Суперкомпьютерные технологии нашли широкое применение во многих научных и прикладных областях, поэтому специалисты по таким технологиям должны обладать прикладными знаниями в этих областях, чтобы понимать специалистов-предметников, эффективно участвовать в оптимизации вычислительных экспериментов. Такими областями, в которых суперкомпьютерные технологии нашли широкое применение, в частности являются:
 - Вычислительная физика, вычислительная химия, биоинформатика (моделирование квантовых систем, молекулярная динамика)
 - Климатология и прогнозирование (глобальные климатические модели)
 - Машинное обучение и Big Data (обучение крупных нейросетей)
 - Астрофизика и космология (N-тельные симуляции)
 - Инженерные расчёты (CFD, прочность материалов)
- Указанные выше домены, в которых используются суперкомпьютерные технологии, сами являются наукоемкими областями
- Поэтому целенаправленная подготовка профессиональных исследователей в этих областях, владеющих суперкомпьютерными технологиями, может осуществляться на основе образовательных программ, построенных по формулам рассмотренным выше

Литература

- [1] Сухомлин В.А., Зубарева Е.В. Новый этап международной стандартизации ИТ-образования // Международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование», [S.l.], v. 17, n. 3, sep. 2021. <http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/794/>
- [2] Сухомлин В.А. Международные образовательные стандарты в области информационных технологий // Прикладная информатика, 2012, № 1(37), с. 33-54.
- [3] Sukhomlin V., Zubareva E. Analytical Review of the Current Curriculum Standatds in Information Technologies. Communications in Computer and Information Science. Conference paper. First Online: 12 May 2020. pp 3-41, 13th International Conference, SITITO 2018, Moscow, Russia, November 29 — December 2, 2018, Revised Selected Papers. Conference proceedings© 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46895-8_1
- [4] Computing Curricula 2005 (CC2005). Association for Computing Machinery and Computer Society of IEEE. [Электронный ресурс] <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2005-march06final.pdf>
- [5] Computing Curricula 2020 (CC2020). Association for Computing Machinery and Computer Society of IEEE. [Электронный ресурс] <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2020.pdf>
- [6] Anderson L.W. et al. A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revisions of Bloom’s taxonomy of educational objectives, abridged edition, (White Plains, NY Longman, 2001)
- [7] A Competency Model for Undergraduate Programs in Information Systems The Joint ACM/AIS IS2020. [Электронный ресурс] <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/is2020.pdf>
- [8] Computing Competencies for Undergraduate Data Science Curricula (CCDSC) ACM Data Science Task Force January 2021. [Электронный ресурс] https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/dstf_ccdsc2021.pdf
- [9] CS2023. [Электронный ресурс] <https://csed.acm.org/wp-content/uploads/2024/01/Body-of-Knowledge-v1-bookmarksv2.pdf>
- [10] [Электронный ресурс] <https://sfia-online.org/en/tools-and-resources/bodies-of-knowledge/list-of-bodies-of-knowledge>
- [11] SWEBOOK V4 2025 (Software Engineering BOK). [Электронный ресурс] <https://ieeecs-media.computer.org/media/education/swebok/swebok-v4.pdf>
- [12] SEBoK v. 2.11, released 25 November 2024. [Электронный ресурс] https://sebokwiki.org/w/images/sebokwiki-farm!w/5/5c/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_v2.11.pdf
- [13] CyBOK (Cybersecurity BOK) Version 2.1 June 5, 2019. [Электронный ресурс] https://www.academia.edu/40172072/CyBOK_Cyber_Security_Body_Of_Knowledge
- [14] Сухомлин В.А. Куррикулум дисциплины «Кибербезопасность»: научное издание / В.А. Сухомлин, С.В. Лебедь, О.С. Белякова, А.С. Климина, М.С. Полянская. – Москва: Фонд «Лига интернет-медиа», 2022. – 402 с. <https://doi.org/10.25559/f6676-8117-2920-j>
- [15] Сухомлин В.А. Архитектура и принципы разработки куррикулума для дисциплины “Кибербезопасность”. Международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование», [S.l.], v. 16, n. 4, p. 927-939, dec. 2020. <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202004.927-939>
- [16] Сухомлин В.А. Создание профиля “Кибербезопасность и искусственный интеллект”. Международный научный журнал «Современные информационныетехнологии и ИТ-образование», [S.l.], v. 17, n. 3, sep. 2021.
- [17] Сухомлин В.А., Белякова О.С., Климина А.С., Полянская М.С., Русанов А.А. Фреймворк «Модель навыков кибербезопасности» — 2020. Научное издание.
- [18] **Сухомлин В.А., Романов В.Ю., Гапанович Д.А. Введение в модельно-ориентированную системную и программную инженерию (MBSSE): учебник / В.А. Сухомлин, В.Ю. Романов, Д.А. Гапанович. — Москва : Фонд «Лига интернетмедиа»; МАКС Пресс, 2024. — 672 с. <https://doi.org/10.29003/m4300.978-5-317-07289-6>.**
- [19] Сухомлин В.А. Система развития цифровых навыков ВМК МГУ & Базальт СПО. Методика классификации и описания требований к сотрудникам и содержанию образовательных программ в сфере информационных технологий /В.А. Сухомлин, Е.В. Зубарева, Д.Е. Намиот, А.В. Якушин. — М.: Базальт СПО; МАКС Пресс, 184 с. <https://doi.org/10.29003/m2575.978-5-317-06336-8>
- [20] SFIA 9 Home. [Электронный ресурс] <https://sfia-online.org/en/sfia-9>
- [21] Описание образовательной технологии «Кейс-технология». Материалы ИТМО <https://edu.itmo.ru/files/95>