

Государственное научное учреждение  
«Объединенный институт проблем информатики  
Национальной академии наук Беларуси»

Объект авторского права  
УДК 004.7; 004:510.67

КОЧИН  
Виктор Павлович

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СЛОЖНЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации

Минск 2025

Работа выполнена в Белорусском государственном университете

Научный консультант

**КУРБАЦКИЙ Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки, заведующий кафедрой технологий программирования Белорусского государственного университета.

Официальные оппоненты:

**Конявский Валерий Аркадьевич**, доктор технических наук, заведующий кафедрой защиты информации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт»;

**Листопад Николай Измайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники;

**Сморodin Виктор Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математических проблем управления и информатики Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины.

Оппонирующая организация

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет»

Защита состоится 27 марта 2025 года в 14<sup>30</sup> часов на заседании совета по защите диссертаций Д 01.04.01 при государственном научном учреждении «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» по адресу: 220012, Минск, ул. Сурганова, 6, зал заседаний. Телефон ученого секретаря: (+375 17) 378-11-46, e-mail: eduard.snezhko@gmail.com.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»

Автореферат разослан «25» февраля 2025 года.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук



Э.В.Снежко

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сложно переоценить важность цифровизации ключевых процессов любого государства. Цифровые технологии позволяют оптимизировать многие управленческие процессы в экономике, здравоохранении, образовании, промышленности. Развитие современной экономики во многом базируется на процессах цифровой трансформации. Цифровые технологии в настоящее время необходимы для работы, обучения, развлечений, общения, покупок и доступа ко всему, от медицинских услуг до культуры.

Вместе с тем, цифровизация и цифровая трансформация повышают зависимость государства, экономики и общества от информационно-коммуникационных технологий (далее – ИКТ). При этом речь идет не только об технологических уязвимостях, которые приводят к нарушению кибербезопасности и состояния защищенности информации.

Одним из важнейших приоритетов многие страны определили цифровизацию государственного сектора, развитию цифровых отраслевых платформ и сервисов. По мере развития данного направления увеличиваются размеры и сложность информационных платформ и сервисов. При этом в настоящее время владельцы корпоративных, отраслевых и станových платформ сталкиваются с проблемой наличия множества разнородных платформ и сервисов, которые достаточно слабо интегрированы между собой. Это приводит к снижению эффективности деятельности цифровизации государственных организаций и органов.

Существующие подходы к проектированию сложных информационных систем предназначены для управления различными бизнес-процессами. Как правило, такие системы позволяют управлять отдельными процессами, но при этом имеют интерфейсы взаимодействия с другими системами. Несмотря на это, такой подход является фрагментарным и не позволяет создавать комплексные интегрированные системы управления бизнес-процессами. При небольших размерах системы существующие подходы позволяют достаточно эффективно осуществлять цифровую трансформацию бизнес-процессов. При этом, по мере роста размеров системы, фрагментарность методов проектирования не позволяет проектировать сложные интегрированные системы, которые позволяют на системной основе оптимизировать цифровизацию бизнес-процессов.

Таким образом, разработка новых подходов, методов и алгоритмов проектирования сложных информационных систем и сервисов является актуальной государственной задачей.

В настоящее время в Республике Беларусь уже созданы различные отраслевые и корпоративные цифровые платформы, созданы отдельные элементы электронного правительства. Но уровень развития цифровых платформ в различ-

ных сферах экономики и общества, различных регионах может сильно отличаться. В связи с этим необходимо разработать новые подходы, которые смогут учитывать и встраивать в общую стратегию цифровой трансформации государства уже созданные и функционирующие платформы и сервисы, а также создать условия для дальнейшего развития отраслевых, страновых и надстрановых систем и сервисов как единого целого. В качестве такого подхода предлагается рассматривать все процессы цифровизации государства и общества как сложные интегрированные системы. Главным акцентом при разработке методов и алгоритмов проектирования сложных интегрированных систем выделить интеграционные процессы информационных систем.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с научными программами и темами**

Тема диссертации соответствует направлению:

«Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства» Перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021-2025 годы, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156.

Пунктам:

- «развитие информационного общества, электронного государства и цифровой экономики»;
- «математика и моделирование сложных функциональных систем (технологических, биологических, социальных)»;
- «информационно-управляющие системы»;
- «технологии больших данных»;
- «искусственный интеллект и робототехника».

Исследования по теме диссертации проводились в рамках выполнения работ по заданиям госпрограмм, мероприятий Перечней ГСНТИ, инновационным и отдельным проектам с организациями и предприятиями Республики Беларусь.

ГПНИ «Информатика, космос и безопасность», 2016–2020 годы. Выполнение работ по заданиям:

– 1.4.07 «Разработка технологий и архитектурных решений предоставления облачных образовательных сервисов на базе единой научно-информационной компьютерной сети (НИКС) Республики Беларусь и БГУ», № госрегистрации 20161417;

– 1.6.08 «Разработка прототипа системы распределенной обработки данных большого объема», № госрегистрации 20190646.

ГПНИ «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства», 2021–2025 годы. Выполнение работ по заданию:

– 1.9.1 «Технологии и системы распределённой и защищённой обработки больших данных», НИР 2 «Методы, алгоритмы и программные средства распределённой обработки данных большого объема для мониторинга и управления сетевой инфраструктурой ВУЗа», № госрегистрации 20211225.

Перечень научных исследований и разработок по развитию государственной системы научно-технической информации Республики Беларусь на 2016 – 2018 годы и на перспективу до 2020, утвержден Приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 12 июля 2016 г. №144 с изменениями, внесенными приказами ГКНТ 02.07.2019 № 197, от 22.11.2019 № 337. Выполнение НИОКР по мероприятиям Перечня:

– 1.2 «Разработать технологии аутентификации и авторизации пользователей в образовательных сетях на базе смарт-карт» в рамках договора на выполнение НИОКР от 12.07.2016 № 056/94 между Министерством образования Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20163472;

– 1.4 «Разработать технологии и типовые политики безопасности корпоративных сетей учреждений образования Республики Беларусь» в рамках договора на выполнение НИОКР от 01.06.2017 № 112/94 между Министерством образования Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20171378;

– 1.5 «Разработать технологии создания беспроводной виртуальной сетевой инфраструктуры учреждений образования и науки Республики Беларусь» в рамках договора на выполнение НИОКР от 22.02.2018 № 144/94 между Министерством образования Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20180331;

– 2.121 «Разработать поисковую информационно-аналитическую систему для учреждений образования и науки» в рамках договора от 28.11.2019 № 276/94 между Министерством образования Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20193070;

– 2.122 «Разработать автоматизированную информационную систему защищенного облачного репозитория письменных работ обучающихся и работников учреждений образования и научных организаций Республики Беларусь» в рамках договора на выполнение НИОКР от 28.11.2019 № 275/94 между Министерством образования Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20193069.

Перечень научных исследований и разработок по развитию государственной системы научно-технической информации Республики Беларусь на 2021 - 2025 годы, утвержденный Приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь 05.02.2021 № 26 в редакции приказов Госкомитета по науке и технологиям от 15.12.2021 № 414. Выполнение работ по мероприятиям Перечня:

– 1.1 «Разработать опытный образец системы для создания виртуального рабочего места обучающегося и сотрудника в целях устойчивого функционирования системы дистанционного обучения в условиях повышенной нагрузки» в рамках договора на выполнение НИОКР от 26.01.2022 № 360/94 между Министерством образования Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20220314;

– 1.2 «Разработать информационную систему подачи, хранения, обработки и анализа научно-технической документации» в рамках договора на выполнение НИОКР от 26.01.2022 № 359/94 между Министерством образования Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20220313.

Государственная программа развития цифровой экономики и информационного общества на 2016-2020 годы, подпрограмма 3 «Цифровая трансформация» мероприятие 20 «Создание информационно-образовательного пространства для формирования личности, адаптированной к жизни в информационном обществе (проект «Электронная школа»):

– НИОКР «Разработка программно-методического обеспечения Республиканской информационно-образовательной среды» в рамках договора от 10.05.2019 № 228/94 между учреждением «Главный информационно-аналитический центр Министерства образования Республики Беларусь» и БГУ, № госрегистрации 20191562.

Отдельные и инновационные проекты с организациями и предприятиями Республики Беларусь:

– НИОКР «Разработка специализированной системы управления контентом официального Интернет-сайта Конституционного Суда Республики Беларусь» в рамках договора от 30.07.2019 № 267/94 между Государственным учреждением «Главное хозяйственное управление» Управления делами Президента Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20192371;

– НИОКР «Разработка информационной системы в составе комплекса средств автоматизации зала проведения заседаний палаты представителей национального собрания Республики Беларусь» в рамках договора от 10.02.2020 № 281/94 между Государственным учреждением «Главное хозяйственное управление» Управления делами Президента Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20200348;

– НИОКР «Разработка WYSIWIG модуля для отправки служебных сообщений на рабочие места и научно-методическое сопровождение информационной системы в составе комплекса средств автоматизации зала проведения заседаний Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь» в рамках договора от 01.03.2021 № 362/94 между Государственным учреждением

«Главное хозяйственное управление» Управления делами Президента Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20211055;

– НИОКР «Разработка системы построения аналитических отчетов на основании публичных данных заседаний Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь» в рамках договора от 24.01.2022 № 014/94 между Государственным учреждением «Главное хозяйственное управление» Управления делами Президента Республики Беларусь и БГУ, № госрегистрации 20220379.

### **Цель, задачи, объект и предмет исследования**

**Целью** исследования является разработка новых методов и алгоритмов проектирования сложных информационных систем.

Для достижения поставленной цели были решены следующие основные **задачи**:

- 1) Концептуально обосновано и разработано новое направление – проектирование сложных интегрированных систем.
- 2) Разработана модель сложных интегрированных систем.
- 3) Разработана методика проектирования сложных интегрированных систем.
- 4) На основе разработанных решений спроектированы и разработаны сложные интегрированные системы отраслевого и ведомственного уровней.
- 5) Спроектированы и разработаны модули сложной интегрированной системы, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта.
- 6) Проведена апробация предложенных решений.

**Объектом исследования** в диссертационной работе являлись сложные информационные системы.

**Предмет исследования** – методы, модели и программные средства проектирования сложных информационных систем.

### **Научная новизна**

1) Предложено и научно обосновано новое концептуальное направление - проектирование сложных интегрированных систем. Предложенный подход позволяет проектировать сложные информационные системы различного уровня и размера с учетом интеграционных процессов на техническом, правовом, организационном уровнях как в условиях интеграции с существующими системами и их элементами, так и с нуля. Предложено новое свойство сложных систем – интегрированность.

2) Разработана модель сложных интегрированных систем. Данная модель основана на методах нечеткой логики и теории графов, учитывает интеграционные связи как между элементами сложной интегрированной системы, так и между различными уровнями элементов. Степень вхождения элементов в сложную интегрированную систему определяется функцией принадлежности.

3) Разработана методика проектирования сложных интегрированных систем, которая является двухуровневой. Методика позволяет проектировать сложные интегрированные системы как с нуля, так и с учетом уже существующих подсистем и элементов. В рамках разработанной методики предложен новый способ задания функции принадлежности на основе интеграционных связей элементов сложной интегрированной системы.

4) Разработаны концептуальные основы проектирования и создания Республиканской информационно-образовательной среды. Разработанные решения позволяют создать государственную цифровую платформу уровня отрасли образования и обеспечивают интеграцию как с различными республиканскими платформами и сервисами, так и с информационными системами уровня ВУЗа, школы, детского сада.

5) Разработаны архитектура, методика и программные решения проектирования интегрированной системы управления учреждением высшего образования Республики Беларусь. Приведен практический опыт реализации предложенных решений. Разработаны программные решения интегрированной системы управления университетом с учетом ее интеграции с внутренними и внешними информационными системами как на программно-техническом уровне, так и на организационно-правовом.

6) Разработана двухуровневая методика и программные средства проектирования облачного отказоустойчивого хранилища цифровых данных учреждения высшего образования с учетом интеграции с интегрированной системой управления университетом. Данная методика предполагает создание виртуальной сетевой инфраструктуры учреждения образования, на основе которой создано облачное отказоустойчивое хранилище цифровых данных.

7) Разработаны методика и программные средства проектирования Wi-Fi сети учреждения образования с использованием искусственного интеллекта. Предложенные решения позволяют проектировать беспроводные сегменты сети ВУЗа с учетом особенностей организации учебного процесса, а также определять минимально необходимое количество точек доступа на стадии проектирования сети.

### **Положения, выносимые на защиту**

1) Модель сложных интегрированных систем, основанная на методах нечеткой логики и теории графов, учитывающая интеграционные связи как между элементами сложной интегрированной системы, так и между различными уровнями элементов. Для этого разработанная модель определяет степень вхождения элементов сложной интегрированной системы с помощью функции принадлежности.



2) Методика проектирования сложных интегрированных систем, позволяющая проектировать сложные интегрированные системы как с нуля, так и с учетом уже существующих подсистем и элементов. Методика использует разработанный новый способ задания функции принадлежности на основе интеграционных связей.

3) Методика концептуального проектирования и создания Республиканской информационно-образовательной среды. Разработанные решения позволяют создать государственную цифровую платформу уровня отрасли образования и включают в себя интеграцию как с различными республиканскими платформами и сервисами, так и с информационными системами уровня ВУЗа, школы, детского сада.

4) Методика проектирования сложной интегрированной системы управления учреждением высшего образования Республики Беларусь, которая включает в себя алгоритм проектирования, архитектурное решение, типовые алгоритмы и программные решения интегрированной системы управления учреждением высшего образования. Разработанные решения позволяют разрабатывать сложную интегрированную систему управления учреждением высшего образования как с нуля, так и с учетом текущего состояния отдельных модулей.

5) Методика и программные средства проектирования и создания облачного отказоустойчивого хранилища цифровых данных учреждения образования с учетом его интеграции с интегрированной системой управления университетом.

6) Методика и программные средства проектирования Wi-Fi сети учреждения образования с использованием искусственного интеллекта, обеспечивающие интеграцию со сложной интегрированной системой управления ВУЗа.

#### **Личный вклад соискателя ученой степени**

Результаты диссертационной работы, сформулированные в защищаемых положениях и выводах, отражают личный вклад соискателя. Из совместно опубликованных работ в диссертацию вошли результаты, полученные автором лично. Научный консультант принимал участие в выборе темы, постановке задач и обсуждении полученных результатов. Приведенные результаты проектирования Республиканской информационно-образовательной среды и сложной системой управления ВУЗом анализировались совместно с Воротницким Ю.И. Основные подходы к созданию облачного отказоустойчивого хранилища обсуждены с Жерело А.В.

#### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные результаты диссертации докладывались на следующих научных конференциях: развитие информатизации и государственной системы научно-

технической информации (РИНТИ-2015): материалы XIV Международной конференции, Минск, 19 ноября 2015 г.; международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии (CSIST 16): Материалы международного научного конгресса, Минск, 24-27 октября 2016 г.; развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2019): материалы XIX Международной конференции, Минск, 21 ноября 2019 г.; управление информационными ресурсами: материалы XVI Международной научно-практической конференции, Минск, 26 февраля 2020 г.; развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2020): материалы XIX Международной конференции, Минск, 19 ноября 2020 г.; управление информационными ресурсами: материалы XVII Международной научно-практической конференции, Минск, 12 марта 2021 г.; комплексная защита информации: материалы XXVI Международной научно-практической конференции, Минск, 25-27 мая 2021 г.; информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (икт-2022): материалы II Международной научно-практической конференции, Полоцк, 30-31 марта 2022 г.; военное образование и наука в условиях цифровой трансформации знаний: материалы Международной научной конференции учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», Минск, 20-21 апреля 2022 г.; computer data analysis and modeling: stochastics and data science: Proceedings of the XII International Conference, Minsk, September 6-10, 2022; международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии (CSIST 2022): Материалы международного научного конгресса, Минск, 26-29 октября 2022 г.; управление информационными ресурсами: материалы XIX Международной научно-практической конференции, Минск, 22 марта 2023 г.; комплексная защита информации: материалы XXVIII Международной научно-практической конференции, Гомель, 23-25 мая 2023 г.; наука и технологии: материалы VIII Международной научно-практической конференции, Алматы, Казахстан, 31 января 2024 г.; Компьютерные технологии и анализ данных (CTDA'2024): материалы IV Международной научно-практической конференции, Минск, 25–26 апр. 2024 г.; комплексная защита информации: материалы XXIX Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15-17 мая 2024 г.

Разработанные модели и методики использовались при проектировании и создании:

- информационной системы проведения заседаний Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь;
- информационной системы обработки нормативных документов Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь на основании правил, описанных в нормативных проектах, с использованием методов морфологической обработки текста;

- информационной системы сайта Конституционного суда в части реализации сервиса «Электронное обращение»;
- информационной системы анализа и составления аналитических отчетов по материалам средств массовой информации для Секретариата Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь.

С использованием полученных результатов разработана Концепция создания Республиканской информационно-образовательной среды Республики Беларусь.

Полученные результаты позволили спроектировать и разработать информационную систему «Студенты» для автоматизации процессов Белорусского государственного медицинского университета, связанных с управлением учебным процессом и контингентом обучающихся с учетом интеграции с другими информационными системами ВУЗа.

Полученные результаты легли в основу обоснования концептуальных научно-обоснованных предложений в проект концепции национального суверенитета Республики Беларусь в сфере цифрового развития, а также концептуальных научно-обоснованных предложений в проект дорожной карты реализации Концепции национального суверенитета Республики Беларусь в сфере цифрового развития на пятилетний период в части достижения цифрового суверенитета отрасли образования.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс на факультете радиофизики и компьютерных технологий БГУ и используются при выполнении лабораторного практикума, курсовых, дипломных, магистерских работ для решения задач проектирования сложных информационных систем и сервисов.

Полученные результаты позволили модернизировать информационную систему «АСОД» для автоматизации процессов сбора и обработки данных обучающихся учреждений образования Республики Беларусь с учетом интеграции с другими информационными системами.

### **Опубликование результатов диссертации**

Основные результаты диссертации опубликованы в 49 научных работах, в числе которых 1 монография, 17 статей в научных журналах в соответствии с пунктом 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общим объемом 9,1 авторского листа), 25 статей в сборниках материалов научных конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, семи глав, заключения, библиографического списка. Полный объем диссертации составляет 239 страниц, из них 20 страниц занимают 33 рисунка, на 2 страницах приведено 3 таблицы. Библиографический список

состоит из 207 наименований (на 22 страницах), из которых 49 – публикации соискателя.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**Во введении** описана проблемная область и обоснована актуальность темы диссертационного исследования.

**В первой главе** проанализированы основные подходы к цифровой трансформации государственного сектора стран с высоким уровнем цифровизации государства. В настоящее время можно выделить следующие основные подходы к цифровой трансформации государства: американский, европейский, южнокорейский, российский, китайский.

В США в 2002 году был создан офис электронного правительства и информационных технологий при Администрации президента. Данный офис обладал самыми широкими полномочиями в области цифровизации страны. В полномочия офиса входят вопросы, связанные с созданием, сопровождением, поддержкой государственных информационных систем. Под руководством офиса электронного правительства и информационных технологий офиса была разработана и принята долгосрочная стратегия цифровой трансформации государственного сектора США, в рамках которой была предложена федеральная архитектура предприятия (FEA). Данная архитектура представляет собой эталонную бизнес-ориентированную модель государственного учреждения.

Основной особенностью цифровой трансформации Евросоюза является то, что основные усилия направлены не на создание единого цифрового правительства, а на создание условий для реализации интеграционных процессов всех участников.

Цифровую трансформацию государственного сектора Южной Кореи можно считать эталонной. Это обусловлено тем, что в Южной Корее изначально вопросам информатизации уделялось большое внимание со стороны государства. Цифровая трансформация страны реализовывалась на протяжении пяти последовательных этапов. Для сопровождения процессов цифровизации и цифровой трансформации государственного сектора при администрации премьер-министра было создано Национальное агентство развития информационного общества (NIA). При этом реализация проектов по электронному правительству осуществлялась Министерством информации и связи. В 2008 году функции Министерства информации и связи были перераспределены. Внедрением и разработкой различных компонент электронного правительства занималось Министерство государственного управления и безопасности, в состав которого вошло Национальное агентство развития информационного общества. При этом был создан совет головного офиса по информатизации, в который вошли помощники

25 министров под руководством министра государственного управления и безопасности. Роль данного совета сводилась к разработке политики электронного правительства, эталонных моделей архитектуры предприятия, стандартизации использования цифровых технологий в государственных органах и организациях. Такая структура управления оказалась эффективной с точки зрения разработки и осуществления цифровой трансформации государственного управления.

Процессами цифровой трансформации российского государственного управления занимаются различные структуры. Эти функции распределены между Правительственной комиссией по использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности, Правительственной комиссией по проведению административной реформы, Минэкономразвития, Минкомсвязи. Такое распределение функций приводит к тому, что в настоящее время в России не выработаны единые подходы к стандартизации, классификации функций электронного правительства, процессу разработки ключевых платформ и сервисов, нет единого органа управления цифровизацией страны. Совокупность указанных причин существенно замедляет процессы построения и внедрения электронного правительства в России.

В настоящее время Китай является одним из мировых лидеров в области цифровой трансформации экономики. Внедрение информационных технологий является одним из основных приоритетов развития государства в Китае. Структура управления процессами цифровизации государства в Китае является многоуровневой и децентрализованной. На уровне центрального правительства основные органы управления цифровой трансформацией государства включают: Центральную руководящую группу по делам в киберпространстве (ее возглавляет Председатель КНР Си Цзиньпин), Всекитайскую комиссию по развитию и реформе, Центральную канцелярию Госсовета КНР, Общий отдел ЦК КПК. При этом на уровне местных правительств существуют различные органы управления цифровой трансформацией государства, такие как департаменты, ответственные за управление электронным правительством. Местные правительства также могут создавать отделы, ответственные за ведение дел в киберпространстве, офис электронного правительства, офис информации, подразделение Всекитайской комиссии по развитию и реформе, департамент по управлению промышленностью (торговли) и менеджменту информации, т.п. Такая структура управления не позволяет определить единый орган управления, который отвечает за процессы цифровой трансформации государства.

Приведенный анализ успешных примеров в области цифровой трансформации государства показывает, что одним из важных условий внедрения инновационных решений в сферу экономики и общества была разработка единых

страновых подходов к проектированию, разработке и внедрению инновационных решений. При разработке таких решений целесообразно использовать полученный опыт ведущих стран, существующий уровень цифровизации страны, а также условия и особенности развития экономики и общества Республики Беларусь.

Отличительной особенностью цифровой трансформации государства Республики Беларусь в настоящее время является то, что в стране уже созданы отдельные элементы электронного правительства. По многим рейтингам цифрового развития Республика Беларусь занимает высокие позиции. С учетом существующего состояния развития электронного правительства, на государственном уровне в настоящее время достаточно сложно разработать конкретизированные единые методологические требования в области проектирования, разработки, стандартизации и внедрения отраслевых и станových цифровых платформ на основе мировых подходов.

В рамках существующего развития цифровизации государственного сектора достаточно сложно разработать единую эталонную модель цифровой платформы учреждения, по аналогии с американским подходом, т.к. в настоящее время многие учреждения и ведомства создали и продолжают развивать собственные платформы. При этом уровень цифровизации основных процессов учреждений и ведомств может сильно отличаться. В настоящее время в Беларуси достаточно высокий уровень информатизации. В частности, построена большая телекоммуникационная сеть передачи данных, которая обеспечивает широкополный доступ в интернет. Практически все ведомства обеспечены современными средствами вычислительной техники.

С учетом этого, при создании единых подходов к методологическому обеспечению процессов цифровизации главной целью целесообразно сделать обеспечение интеграционных механизмов при разработке и доработке систем различного уровня.

В связи с этим, предлагается разработать новый методологический подход к проектированию и разработке цифровых платформ – проектирование сложных интегрированных систем (далее – СИС). В рамках данного подхода любой страновой, наднациональный, отраслевой проект следует рассматривать как сложную интегрированную систему. Такой подход позволит создать методологическую основу для успешной цифровизации государственного сектора Республики Беларусь.

**Во второй главе** проанализированы основные подходы к проектированию сложных систем. Приведен анализ эволюции подходов к проектированию информационных систем. Рассмотрены основные методы проектирования сложных систем. Отмечены основные недостатки методов проектирования сложных

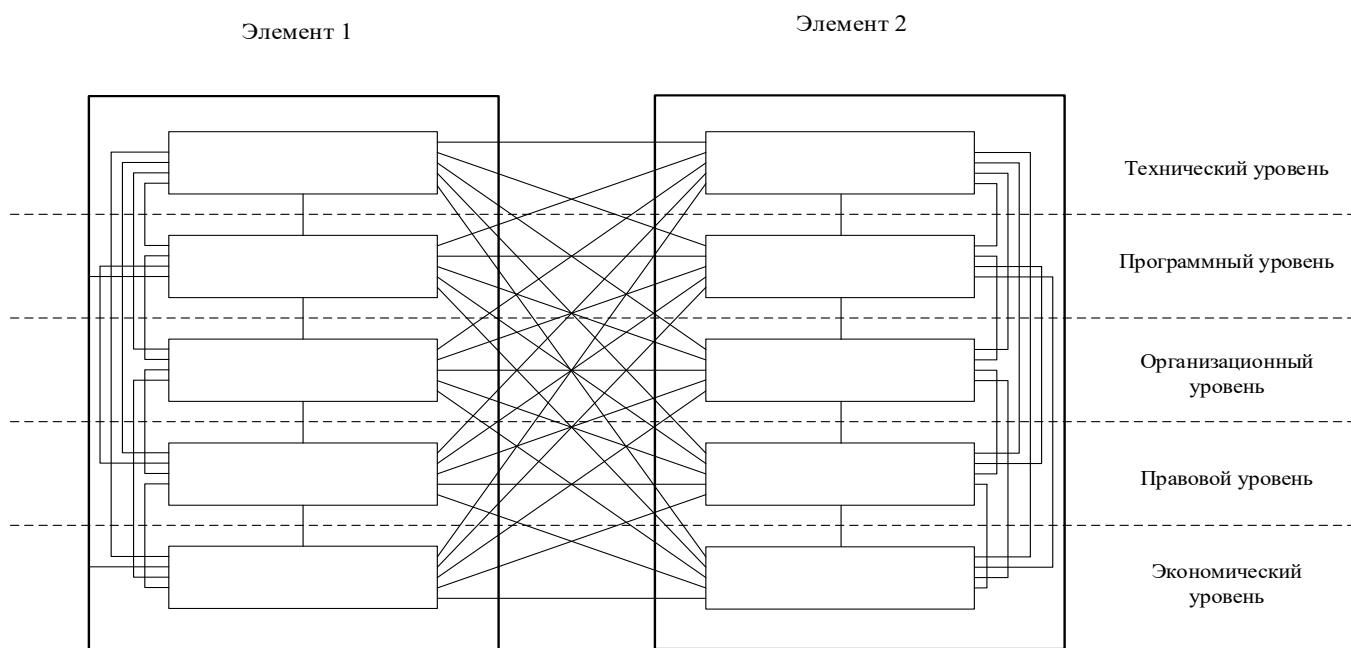
систем. Дано определение сложной интегрированной системе: система, состоящая из множества элементов, имеющая многослойную структуру как в программно-технической плоскости, так и в организационно-правовой. Многослойная структура имеет большое количество связей как между множеством элементов, так и между слоями. В результате сложная интегрированная система приобретает новые функции и возможности, которые не свойственны отдельным элементам системы. Сложная интегрированная система может состоять как из независимых автономных систем, так и из подсистем и других составных элементов. Описаны новые свойства сложной интегрированной системы: интегрированность и темпоральность.

Предложен новый подход к проектированию сложных систем – проектирование сложных интегрированных систем.

Разработана модель сложных интегрированных систем, основанная на теории нечетких множеств, теории графов (рисунок 1):

$$P = \{P_1; P_2; \dots; P_n\} \quad (1)$$

$P_i$  – элементы (системы, подсистемы), входящие в состав сложной интегрированной системы.



**Рисунок 1. – Модель сложной интегрированной системы**

$$P_i = \{O_1^i; O_2^i; O_3^i; O_4^i; O_5^i\} \quad (2)$$

где  $O_1^i$  – технический уровень  $P_i$ -го элемента СИС;

$O_2^i$  – программный уровень  $P_i$ -го элемента СИС;

$O_3^i$  – организационный уровень  $P_i$ -го элемента СИС;

$O_4^i$  – правовой уровень  $P_i$ -го элемента СИС;

$O_5^i$  – экономический уровень  $P_i$ -го элемента СИС.

Степень вхождения  $i$ -го элемента в сложную интегрированную систему  $P$  определяется функцией принадлежности

$$P = \{\mu_i(P_i)\} \quad (3)$$

где

$$\mu_i: P_i \rightarrow [0, 1] \quad (4)$$

характеризует степень принадлежности  $i$ -го элемента сложной интегрированной системе  $P$  в единичном отрезке от 0 до 1.

$\mu_i$  – функция принадлежности  $i$ -го элемента множеству  $P$ .

Таким образом, совокупность функций принадлежности сложной интегрированной системы определяет ее свойства и функциональные возможности.

Дополнительные метрики сложной интегрированной системы определяются как носитель  $S$  и высота.

Носителем  $S$  называется множество всех элементов сложной интегрированной системы  $P$ , которые имеют ненулевую функцию принадлежности.

$$S = \{P_i \in P: \mu_i(P_i) > 0\} \quad (5)$$

Высота определяет верхнюю границу  $\mu_i(P_i)$ , т.е. максимальное значение функции принадлежности

$$\text{Sup } \mu_i(P_i) \quad (6)$$

Сложная интегрированная включает в себя различные элементы (системы, подсистемы и др.) с различной степенью вхождения. Таким образом функция принадлежности сложной интегрированной системы будет определена как:

$$\mu(P) = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i(P_i)}{n} \quad (7)$$

где  $n$  – количество элементов, входящих в сложную интегрированную систему.

Графический способ задания сложной интегрированной системы показан на рисунке 1. В качестве вершин графов выступают уровни подсистем сложной интегрированной системы, связи между уровнями выступают ребра графа. Таким образом, множество связей сложной интегрированной системы можно представить в виде трехмерного графа, компонентами которого выступают:

- Вершины, в качестве которых выступают уровни элементов сложной интегрированной системы.

- Рёбра, которые представляют собой связи или отношения между вершинами.

- Элементы. Каждый элемент состоит из уровней, которые, в свою очередь, являются вершинами. Таким образом данный компонент объединяет уровни в пределах элемента сложной интегрированной системы.

При создании СИС больших размеров (отраслевых, государственных и надгосударственных) жизненный цикл таких систем должен быть длительным. Системы такого



уровня должны развиваться путем эволюционного развития, а также путем изменения (добавления новых и изменения существующих) элементов системы. При изменении структуры и состава сложной интегрированной системы системному архитектору необходимо актуализировать текущее состояние таких характеристик, как носитель, высота, функция принадлежности, а также перестраивать систему связей в виде графов.

Таким образом, сложная интегрированная система – это система, которая состоит из множества элементов, имеет чёткие границы, которые определяются носителем, высотой и функцией принадлежности, выполняет определенные функции и позволяет на системной основе осуществлять комплексную цифровизацию и оптимизацию различных (ведомственных, отраслевых, государственных и надгосударственных) процессов.

**В третьей главе** описывается двухуровневая методика проектирования сложных интегрированных систем, которая включает в себя два основных алгоритма: проектирование отдельных элементов СИС и проектирование всей структуры СИС.

Алгоритм проектирования верхнего уровня системы  $H_1$ . Верхний уровень – это уровень, на котором задаются цели и задачи сложной интегрируемой системы, определяются составные элементы как уже существующие, так и вновь создаваемые. Определяются множество связей между элементами сложной интегрированной системы. Описываются способы задания функций принадлежности, метрики отдельных элементов сложной интегрируемой системы. На данном уровне выстраиваются множество связей СИС с помощью графов, разрабатывается общая архитектура сложной интегрируемой системы.

Верхний уровень  $H_1$  определяется как:

$$H_1 = \{C_i; Z_i; \mu(P); K_i; V_i; S; Sup; O_i\} \quad (8)$$

где  $C_i$  – множество целей СИС;

$Z_i$  – совокупность задач СИС;

$\mu(P)$  – функция принадлежности СИС;

$K_i$  – состав СИС;

$V_i$  – совокупность функций СИС;

$S, Sup$  – носитель и высота СИС;

$O_i$  – множество интегрированных связей СИС.

Алгоритм проектирования верхнего уровня состоит из следующих шагов:

- 1) Анализ требований.
- 2) Разработка концепции сложной интегрированной системы.
- 3) Определение размера сложной интегрированной системы.
- 4) Определение функций сложной интегрированной системы.
- 5) Определение состава сложной интегрированной системы:

6) Задание функций принадлежности элементов сложной интегрированной системы.

7) Задание основных метрик: носителя и высоты.

8) Задание множества связей сложной интегрированной системы.

9) Проектирование отдельных элементов сложной интегрированной системы, определённых на этапе 5.

10) Уточнение функциональных возможностей сложной интегрированной системы.

Этапы проектирования сложной интегрированной системы могут варьироваться в зависимости от размера системы, её сложности и особенностей.

Рассмотрены основные способы задания функции принадлежности применительно к проектированию сложной интегрированной системы:

- Треугольная функция принадлежности, которая задается как

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq a, \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & \text{при } a \leq x \leq b, \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}, & \text{при } b \leq x \leq c, \\ 0, & \text{при } x \geq c, \end{cases} \quad (9)$$

- Трапецеидальная функция, которая задается как

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq a, \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & \text{при } a \leq x \leq b, \\ 1, & \text{при } b \leq x \leq c, \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}, & \text{при } c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{при } x \geq d, \end{cases} \quad (10)$$

- Гауссова функция принадлежности, которая задается как

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

- Параболическая функция принадлежности, которая задается как

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq a, \\ \frac{2(x-a)^2}{(b-a)(c-a)}, & \text{при } a \leq x \leq b, \\ \frac{2(c-x)^2}{(c-b)(c-a)}, & \text{при } b \leq x \leq c, \\ 0, & \text{при } x \geq c, \end{cases} \quad (12)$$

- Сигмоидальная функция принадлежности, которая задается как

$$\mu(x) = \frac{1}{1+e^{-a(x-c)}} \quad (13)$$

Предложен способ задания функции принадлежности на основе интеграционных связей.

Функция принадлежности элемента сложной интегрированной системы будет определяться количеством уровней элемента, которые имеют не нулевые интеграционные связи с другими элементами СИС. Таким образом, функция принадлежности  $k$ -го элемента будет иметь вид:

$$\mu_k = \frac{\sum_{i=1}^n p_i^k}{\sum_{j=1}^m p_j^k} \quad (14)$$

где  $p$  – уровни элемента,  $n$  – количество уровней элемента  $k$ , который имеет ненулевые интеграционные связи

$m$  – общее количество уровней элемента  $k$ .

Таким образом, если элемент  $k$  имеет функцию принадлежности равную 1, то данный элемент полностью входит в сложную интегрированную систему.

Рассмотрены и описаны следующие методы задания функции принадлежности: экспертное определение, использование статистических данных, оптимизация, машинное обучение.

Предложен алгоритм определения множества связей сложной интегрированной системы. В контексте сложных интегрированных систем, множество связей — это совокупность всех взаимосвязей, взаимодействий и коммуникаций между уровнями различных элементов. Связи могут представлять собой разнообразные виды взаимодействия, включая интеграцию на правовом, экономическом, техническом и иных уровнях элементов сложной интегрированной системы. Множество связей сложной интегрированной системы является ключевым аспектом её функционирования и анализа.

Каждый уровень СИС будет иметь весовой коэффициент  $q$ , который равен количеству связей с другими уровнями, за исключением уровней элемента, в который она входит. Каждый элемент будет иметь интеграционный вес, который определяется следующим образом:

$$W^p = \sum_{i=1}^n q_i^p \quad (15)$$

где  $n$  – количество уровней элемента  $p$ .

Алгоритм определения множества связей сложной интегрированной системы с использованием графов включает в себя следующие шаги:

– Идентификация элементов системы: Определение всех элементов системы, которые входят в сложную интегрированную систему. Эти элементы могут быть физическими объектами, процессами, подсистемами или другими составляющими системы.

– Определение связей: определение уровней элементов системы, которые связаны друг с другом.

– Создание трехмерного графа: на основе полученных данных о элементах и связях создается трехмерный граф. Вершины графа представляют уровни элементов системы, а рёбра - связи между ними.

– Валидация и коррекция: при необходимости проводится валидация полученных результатов.

Рассмотрены и описаны основные способы проектирования элементов сложной интегрированной системы: проектирование элементов сложной интегрированной системы на основе классического подхода, проектирование элементов сложной интегрированной системы на основе системного подхода, проектирование элементов сложной интегрированной системы на основе искусственного интеллекта.

**В четвёртой главе** описаны основные концептуальные подходы к проектированию сложной интегрированной системы Республиканской информационно-образовательной среды (далее - СИС РИОС).

Главной целью создания сложной интегрированной системы Республиканской информационно-образовательной среды является технологическое, информационное и аналитическое обеспечение процессов цифровизации и цифровой трансформации национальной системы образования.

Обосновано, что создание СИС РИОС должно базироваться на следующих технологических принципах: единая система интеграции, единая система аутентификации пользователей, совместимость и стандартизация решений, использование облачных технологий, безопасность информации и гарантированный доступ.

Разработана модель сложной интегрированной системы Республиканской информационно-образовательной среды  $P$ :

$$P = \{V; H; R; L\} \quad (16)$$

где,  $V = \{v_i\}$  – совокупность регистров СИС РИОС;

$H = \{h_i\}$  – совокупность информационных систем и сервисов, входящих в СИС РИОС;

$R = \{r_i\}$  – совокупность информационных систем и сервисов, с которыми взаимодействует СИС РИОС;

$L = \{l_i\}$  – совокупность правовых средств (нормативно-правовые акты).

Функция принадлежности СИС РИОС будет определяться выражением (7).

Совокупность регистров СИС РИОС  $V = \{v_i\}$ , где  $i=3$ , составляет информационное ядро СИС РИОС:

– государственная информационная система (далее – ИС) «Регистр организаций системы образования и единая система ведения справочников и классификаторов» (далее – Регистр организаций образования);

- государственная ИС «Регистр обучающихся учреждений образования Республики Беларусь» (далее – Регистр обучающихся);
- государственная ИС «Регистр работников системы образования Республики Беларусь» (далее – Регистр работников образования).

Регистры обеспечивают централизованное хранение и использование всеми компонентами СИС РИОС первичных данных, поступающих от организаций системы образования.

Помимо основных информационных систем в состав СИС РИОС входят информационные системы и сервисы  $H = \{h_i\}$ , где  $i=6$ :

- *Интегрированная система управления образованием* (далее – ИСУО).
- *Комплексная система мониторинга* (далее - КСМ) образовательного процесса.
- *Национальная система дистанционного обучения.*
- *Архив электронных документов.*
- *Система учета интеллектуальных идентификационных документов.*
- Для организаций образования, деловые процессы которых в значительной степени являются унифицированными (например, для УОСО), разрабатываются  *типовые комплексные автоматизированные системы управления* (далее – АСУ), размещаемые в облачном хранилище СИС РИОС. Эти системы в перспективе должны стать основными поставщиками первичных данных для информационного ядра СИС РИОС.

Множество информационных систем и сервисов, с которым взаимодействует СИС РИОС,  $R = \{r_i\}$ , где  $i=5$ :

- В организациях образования, где деловые процессы плохо унифицируются (например, в УВО), сохраняются *автономные АСУ*, в том числе имеющие собственные локальные хранилища данных. При этом они также должны обеспечивать передачу первичных данных в регистры информационного ядра.
- *Корпоративные системы электронной почты и видеоконференций.*
- *Система интернет-сайтов.*
- *Образовательные платформы, сервисы и ресурсы.*
- Наряду с национальной системой в СИС РИОС будут функционировать существующие *автономные системы дистанционного обучения*, созданные учреждениями высшего, дополнительного и других уровней образования. Роль национальной системы заключается в интеграции ресурсов этих автономных систем и реализации механизмов доступа к открытым ресурсам.

Определена функция принадлежности СИС РИОС на основе экспертного метода.

$$\mu(P) = 0,795 \quad (17)$$

Определены дополнительные метрики СИС РИОС: носитель и высота.носителем  $P$  СИС РИОС является множество всех элементов сложной интегрированной системы, которые имеют ненулевую функцию принадлежности (далее – ФП).

$$P = \{P_i \in P: \mu_i(P_i) > 0\} \quad (18)$$

С учетом того, что все элементы СИС РИОС имеют ненулевую ФП, носитель СИС РИОС определен всеми элементами.

Высота определяет верхнюю границу  $\mu_i(P_i)$ , т.е. максимальное значение функции принадлежности. Таким образом, высота СИС РИОС определена как

$$\text{Sup } \mu_i(P_i) = 1 \quad (19)$$

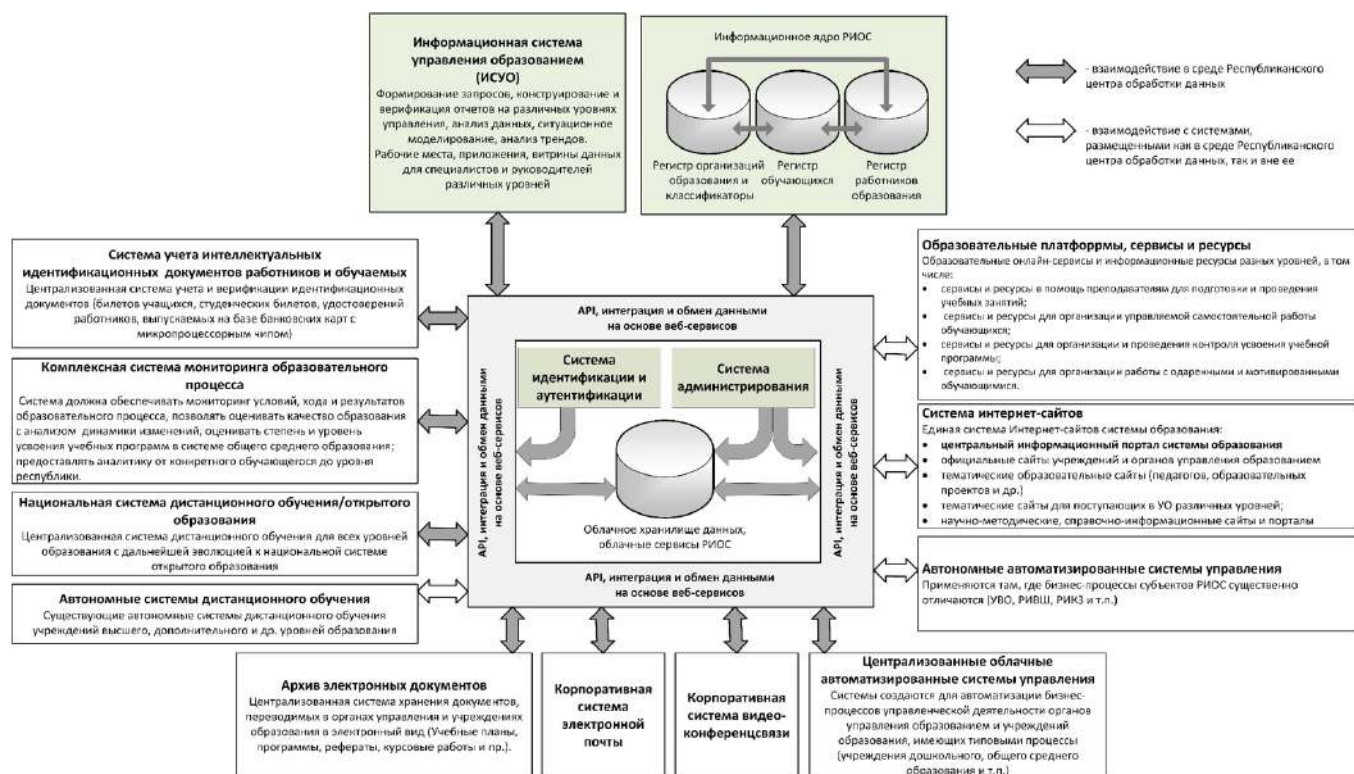
Полученные метрики позволяют получить численную модель СИС РИОС. Вычисленные значения являются неизменными. При изменении функций СИС РИОС, по причине накопления данных с течением времени и появления синергетического эффекта, необходимо проверять значение ФП с рассчитанным значением. При несовпадении необходимо проводить корректировку СИС РИОС.

На основании полученных данных была разработана архитектура СИС РИОС, как показано на рисунке 2. Предлагаемая архитектура основана на размещении основных ресурсов и сервисов в облачном хранилище, создании и использовании единой системы идентификации и аутентификации пользователей, а также централизованной системе администрирования. Информационный обмен между компонентами СИС РИОС осуществляется посредством интегрированных связей между компонентами.

Разработанная архитектура представляет собой модель организации и описание основных компонентов, составляющих СИС РИОС, механизмов их взаимодействия между собой и внешними подсистемами.

Предложено два варианта телекоммуникационной инфраструктуры СИС РИОС. Первый вариант предполагает взаимодействие организаций и органов управления образованием с компонентами СИС РИОС через интернет с помощью каналов связи, соединяющих локальные сети этих организаций и органов управления с интернет. Эти каналы обеспечиваются операторами. Ее главное достоинство – то, что она реализована и не требует немедленных затрат на реализацию. Недостаток – необходимость создания системы защиты информации (далее – СЗИ) и управления доступом обучающихся и работников в интернет в каждом учреждении. Альтернативой является формирование виртуальной корпоративной сети с единым шлюзом доступа во внешние сети. Достоинство такой схемы – снижение затрат на мероприятия по защите информации и управлению доступом в интернет в учреждении образования (далее – УО). Недостаток – затраты на реализацию и аренду услуги. Логическим развитием этой схемы является сервис G-Sec, развиваемый РУП «Национальный центр электронных услуг».

Он предполагает вынос в виртуальную среду облачного республиканский центр обработки данных (далее - РЦОД) не только сетевой инфраструктуры, но и вычислительных ресурсов пользователей.



**Рисунок 2. – Архитектура СИС РИОС**

Разработана архитектура интегрированных связей основных компонентов СИС РИОС, которая включает 3 основные шины информационного взаимодействия компонентов: ядра СИС РИОС, контура системы управления образованием, контура системы поддержки образовательного процесса. Каждая из этих шин показывает на схеме двухстороннее информационное взаимодействие между собой всех компонентов СИС РИОС, подключенных к этой шине.

Разработаны алгоритм и методика проектирования единой системы аутентификации пользователей. Наличие единой системы идентификации и аутентификации пользователей, в первую очередь, позволяет объединить в регистрах информацию об обучающихся и работниках, поступающую из различных систем и сервисов. Ее наличие также обеспечивает создание единой системы администрирования СИС РИОС, в которой будут реализованы функции назначения прав доступа и мониторинга действий пользователей. Кроме того, упрощается доступ пользователей к различным компонентам СИС РИОС.

Для построения единой системы аутентификации пользователей СИС РИОС целесообразно использовать иерархический распределенный подход, основанный на взаимодействии центрального корневого сервера аутентификации СИС РИОС с имеющимися в ряде организаций серверами аутентификации. При отсутствии в УО собственных серверов аутентификации данные учреждения

непосредственно используют центральный сервер СИС РИОС для аутентификации и дальнейшей авторизации в компонентах СИС РИОС.

Разработаны решения по проектированию информационного ядра СИС РИОС, которое включает в себя регистры организаций образования, обучающихся и работников образования. Регистр организаций образования содержит информацию об организациях системы образования, а также включает в себя справочники и классификаторы, используемые всеми компонентами СИС РИОС. Регистр обеспечивает ведение справочников и классификаторов, автоматизацию процессов сбора, верификации, хранения, обработки и первичного анализа данных об организациях системы образования. Регистр должен иметь интерфейсы взаимодействия с другими компонентами СИС РИОС.

Регистр работников образования содержит информацию о лицах, работающих в организациях системы образования Республики Беларусь. Регистр использует справочники и классификаторы, учетные записи организаций образования из Регистра организаций образования. Регистр работников образования обеспечивает автоматизацию процессов сбора, верификации, хранения, обработки и первичного анализа данных о работниках системы образования.

Регистр обучающихся содержит информацию о лицах, обучающихся в УО Республики Беларусь, в том числе об иностранных гражданах. Регистр использует справочники и классификаторы, учетные записи организаций образования из Регистра организаций образования. Регистр обучающихся обеспечивает автоматизацию процессов сбора, верификации, хранения, обработки и первичного анализа данных о воспитанниках учреждений дошкольного образования (далее - УДО), лиц, обучающихся в учреждениях, специального, профессионально-технического, среднего специального, высшего и дополнительного образования.

Разработаны методы создания технической инфраструктуры СИС РИОС.

**В пятой главе** описана методология проектирования сложной интегрированной системы управления ВУЗом (далее – СИСУУ). Описаны основные принципы цифровизации современного ВУЗа. Разработана архитектура СИСУУ, как показано на рисунке 3.

Архитектура СИСУУ являются основой для создания программных модулей системы. При этом модулем, либо функциональным блоком является законченный программный блок (пакет), реализующий одну или несколько взаимосвязанных функций. Таким образом, каждый элемент функциональной структуры системы может быть реализован соответствующим программным модулем. Каждый модуль может обращаться к любым информационным объектам, доступ к которым и ограничения на значения характеристик этих объектов регламентируется штатными средствами используемой системы управления базами данных.

Разработана модель СИСУУ:

$$P = \{V; H; R; K; L\} \quad (20)$$



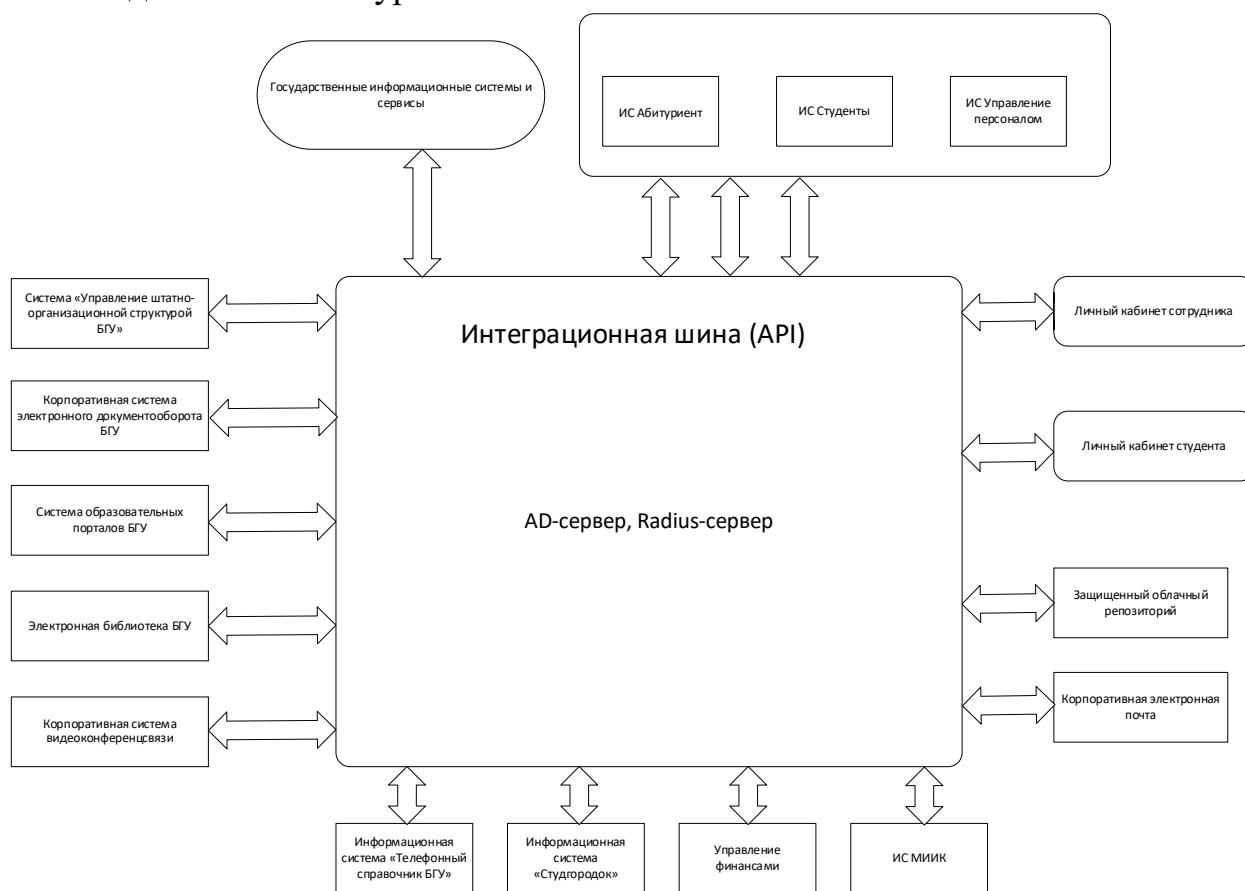
где,  $V = \{v_i\}$  – совокупность регистров (первичных данных) СИСУУ;  
 $R = \{r_i\}$  – совокупность прикладных информационных систем и сервисов;  
 $K = \{k_i\}$  – совокупность системных информационных систем;  
 $H = \{h_i\}$  – совокупность аппаратно-программных средств функционирования СИСУУ, включающих телекоммуникационную инфраструктуру (проводную и беспроводную), системы серверов, центры обработки данных;  
 $L = \{l_i\}$  – совокупность правовых средств СИСУУ.

Функция принадлежности СИСУУ будет определяться следующим выражением:

$$\mu(P) = (\sum_{i=1}^n \frac{\mu(v_i)}{n} + \sum_{i=1}^m \frac{\mu(h_i)}{m} + \sum_{i=1}^k \frac{\mu(r_i)}{k} + \sum_{i=1}^r \frac{\mu(l_i)}{r})/5 \quad (21)$$

Совокупность регистров СИСУУ  $V = \{v_i\}$ , где  $i=4$ :

- ИС «Управление персоналом». В данной информационной системе хранятся и обрабатываются данные о всех работниках университета;
- ИС «Штатно-организационная структура». В данной ИС хранятся сведения об организационной структуре университета со всеми изменениями;
- ИС «Студенты». В данной информационной системе хранятся и обрабатываются данные о всех обучающихся университета;
- ИС «Абитуриент». В данной информационной системе хранятся и обрабатываются данные об абитуриентах.



**Рисунок 3. — Архитектура СИСУУ БГУ**

Т.к. компоненты  $V$  полностью входят в состав РИОС, то

$$\mu(v_i) = 1 \quad (22)$$

Совокупность информационных систем и сервисов СИСУУ  $R = \{r_i\}$ , где  $i=9$ :

- Корпоративная система электронного документооборота БГУ;
- Система образовательных порталов БГУ;
- Электронная библиотека БГУ;
- Личный кабинет работника БГУ;
- Личный кабинет студента БГУ;
- Информационная система «Телефонный справочник БГУ»;
- Информационная система «Студгородок»;
- ИС «Управление финансами»;
- ИС «Многофункциональные интеллектуальные идентификационные карты (далее – МИИК)».

Т.к. первые восемь компонент  $V$  полностью входят в состав СИСУУ БГУ, то

$$\mu(r_i) = 1, \text{ где } i=1, \dots, 8 \quad (23)$$

Информационная система «Многофункциональные интеллектуальные идентификационные карты» входит в состав как СИСУУ БГУ, так и информационной системы банка. Однако в рамках выпуска студенческого билета на одном чипе эмулированы два разных приложения: образовательное и банковское. По этой причине целесообразно установить:

$$\mu(r_9) = 0,5 \quad (24)$$

Совокупность системных информационных систем СИСУУ  $K = k_i$ , где  $i=8$ :

- AD (Active Directory) – совокупность серверов, которые выполняют роль каталога (базы данных), в котором хранится информация о пользователях, компьютерах, серверах, сетевых и периферийных устройствах.
- Mail – совокупность серверов корпоративной электронной почты.
- SQL – совокупность серверов баз данных прикладных сервисов.
- DNS – совокупность серверов, которые предназначены для получения информации о доменах, а также для получения IP-адреса по имени хоста, получения информации о маршрутизации почты и/или обслуживающих узлах для протоколов в домене.
- File server – совокупность серверов, предназначенных для хранения и обработки файлов на сетевом ресурсе.
- Print server - сетевая служба, предназначенная для управления устройствами печати в сети.
- Система web серверов.
- Система резервирующих серверов.

Т.к. все компоненты  $K$  полностью входят в состав СИСУУ БГУ, то  $\mu(k_i) = 1$ .

Разработана архитектура центрального коммуникационного узла. Предложен алгоритм проектирования центра обработки данных. Т.к. все компоненты  $H$  полностью входят в состав СИСУУ БГУ, то  $\mu(h_i) = 1$ .

Важной частью функционирования СИСУУ является совокупность нормативно-правовых средств. В рамках проектирования и создания СИСУУ БГУ были разработаны нормативно-правовые акты (далее – НПА):  $L = \{l_i\}$  – совокупность правовых средств СИСУУ,  $i=18$ .

Т.к. все компоненты  $L$  полностью входят в состав СИСУУ, то  $\mu(l_i) = 1$ .

Таким образом, функция принадлежности СИСУУ БГУ будет определяться как

$$\mu(P) = 0,988 \quad (25)$$

Разработаны алгоритмы и программные средства выпуска и использования многофункциональных интеллектуальных идентификационных карт обучающихся.

Разработана концептуальная методология обеспечения безопасности сложной интегрированной информационной системы учреждения высшего образования, которая включает в себя методику обеспечения безопасности СИСУУ, методику создания подразделения информационной безопасности.

Разработаны и обоснованы подходы к созданию интеллектуальных систем защиты информации.

**В шестой главе** описаны методика и алгоритмы проектирования облачного отказоустойчивого хранилища цифровых данных. Показано, что проектируемое хранилище является частью сложной интегрированной системы БГУ. Предложены новые модели и алгоритмы проектирования облачного отказоустойчивого хранилища цифровых данных. В рамках разработки хранилища предложены новые подходы к созданию виртуальной сетевой инфраструктуры.

Одной из характерных особенностей цифровой трансформации системы образования является значительный рост генерируемых цифровых данных. И очень остро стоит вопрос с надежным хранением достаточно большого объема данных. Традиционные средства хранения данных (флешки, жесткие диски, оптические носители) не удовлетворяют современным требованиям по ряду причин. Во-первых, они не обеспечивают достаточный уровень надежности хранения данных. Во-вторых, в настоящее время необходимо иметь доступ к данным с любого устройства: домашний компьютер, рабочий компьютер, телефон, ноутбук. В-третьих, для увеличения объема хранимых данных всегда требуется покупка дополнительных устройств. В связи с этим в последнее время наблюдается рост популярности использования облачных хранилищ данных.

Информационная система защищенного облачного хранилища представляет собой совокупность архитектурных решений и программных средств, предназначенных для обеспечения надежного хранения информации с использованием облачных технологий и облачного сервиса, обеспечивающего безопасный доступ к хранимым в облаке ресурсам мобильным пользователям вне зависимости от используемой аппаратно-программной платформы.

Облачное отказоустойчивое хранилище цифровых данных является элементом сложной интегрированной системы управления ВУЗом. Хранилище цифровых данных полностью входит в интегрированную систему управления ВУЗом как на программно-техническом уровне, так и на правовом. Проектирование хранилища является вторым уровнем методики проектирования сложных интегрированных систем. В качестве методологии проектирования целесообразно использовать классический системный метод проектирования, который предполагает определение основных компонент, задания характеристик и свойств.

При организации облачного хранилища была использована распределенная файловая система. Это связано с недостатками аппаратных систем хранения, которые не позволяют обеспечить множественный доступ пользователей из-за ограничения пропускной способности.

Одной из задач, возникающих при проектировании хранилища, является определение сетевой инфраструктуры, которая основана на технологии виртуализации. Под технологией виртуализации сетевой инфраструктуры будем понимать процесс объединения аппаратных и программных сетевых ресурсов и сетевых функций в единый программный административный объект.

В общем виде информационную систему облачного отказоустойчивого хранилища цифровых данных  $S$  можно выразить следующим образом:

$$S = \{V; H; R; L\} \quad (26)$$

где,  $V = \{v_i\}$  – совокупность виртуальных средств обеспечения сетевой инфраструктуры;

$H = \{h_i\}$  – совокупность аппаратных средств (коммутаторы, сервера);

$R = \{r_i\}$  – совокупность программных средств (распределенная файловая система, программный интерфейс);

$L = \{l_i\}$  – совокупность правовых средств (локальные нормативно-правовые акты).

Функция принадлежности хранилища  $S$  будет определяться следующим выражением:

$$\mu(S) = (\sum_{i=1}^n \frac{\mu(v_i)}{n} + \sum_{i=1}^m \frac{\mu(h_i)}{m} + \sum_{i=1}^a \frac{\mu(r_i)}{a} + \sum_{i=1}^b \frac{\mu(l_i)}{b})/4 \quad (27)$$

Т.к. компоненты хранилища  $S$  полностью входят в состав сложной интегрированной системы БГУ, то

$$\mu(v_i) = \mu(h_j) = \mu(r_j) = \mu(l_j) = 1 \quad (28)$$

Таким образом, функция принадлежности:

$$\mu(S) = 1 \quad (29)$$

Полученные метрики позволяют получить численную модель облачного хранилища. Полученные значения являются неизменными. При изменении функций, по причине накопления данных с течением времени и появления синергетического эффекта, необходимо проверять значение ФП с рассчитанным значением. При несовпадении необходимо проводить корректировку состава облачного хранилища.

Для реализации решений виртуализации сетевой инфраструктуры учреждения образования предлагается последовательную реализацию следующего алгоритма:

- создание облачной среды виртуализации;
- проектирование моделируемой или создаваемой сетевой инфраструктуры;
- определение требований к различным реализациям виртуальных машин, реализующих поведение задействованных вычислительных элементов;
- создание внутри созданной ранее облачной среды совокупности сетей частного облака и внутренних сетей.

Информационная система защищенного облачного репозитория письменных работ обучающихся и работников учреждений образования и научных организаций представляет собой совокупность архитектурных решений и программных средств, предназначенных для обеспечения надежного хранения информации с использованием облачных технологий и облачного сервиса, обеспечивающего безопасный доступ к хранимым в облаке ресурсам мобильным пользователям вне зависимости от используемой аппаратно-программной платформы.

При выборе технологий и решений одним из основных требований было использование решений, основанных на общедоступных технологиях и протоколах и представленных в виде свободно распространяемого исходного кода. Применение такого подхода позволяет реализовывать стратегию цифрового суверенитета Республики Беларусь. Общая архитектура системы представлена на рисунке 4.

Модуль отказоустойчивого распределенного хранения был разработан на основе распределенной файловой системы Ceph.

Распределенное хранилище представляет собой кластер серверов Lenovo ThinkSystem SR350 с развернутыми на них сервисами файловой системы Ceph. Важно отметить, что в качестве аппаратной части системы распределенного хранилища можно использовать любое серверное оборудование. Таким образом, предлагаемые решения являются аппаратно независимыми.

В связи с тем, что существовавшая ранее в БГУ сетевая инфраструктура в качестве опорной сети использовала сеть с максимальной пропускной способностью 1 Гбит/с, в рамках проекта для повышения производительности был создан дополнительный элемент сетевой инфраструктуры, основанный на использовании 10 Gigabit Ethernet. Для сокращения накладных расходов на доступ к данным, например, в момент выхода из строя одного из узлов или при перебалакировке кластера, сегмент «серв» содержит несколько подсетей, разделенных по назначению.

В рамках создаваемой системы реализован кластер хранения, состоящий из  $N$  равноправных серверов, на которых создан том хранения данных с фактором репликации 3, что позволяет в текущей конфигурации оказывать услуги по отказоустойчивому хранению при выходе из строя  $m$  из  $N$  серверов.

Отказоустойчивость и надежность кластера хранения зависит от следующих параметров:

$N$  – Количество серверов в кластере;

$N_i$  – количество PG (плейсмент-групп) на один сервер;

$\alpha_i$  – коэффициент заполнения  $i$ -го сервера.

Предположим, что сервера упорядочены в порядке убывания по значению  $\alpha_i N_i$ , тогда кластер может восстановить свою работу при выходе из строя  $m$  серверов в случае выполнения следующего условия:

$$\sum_{j=1}^m \alpha_j N_j < \sum_{j=m+1}^N (1 - \alpha_j) N_j \quad (30)$$

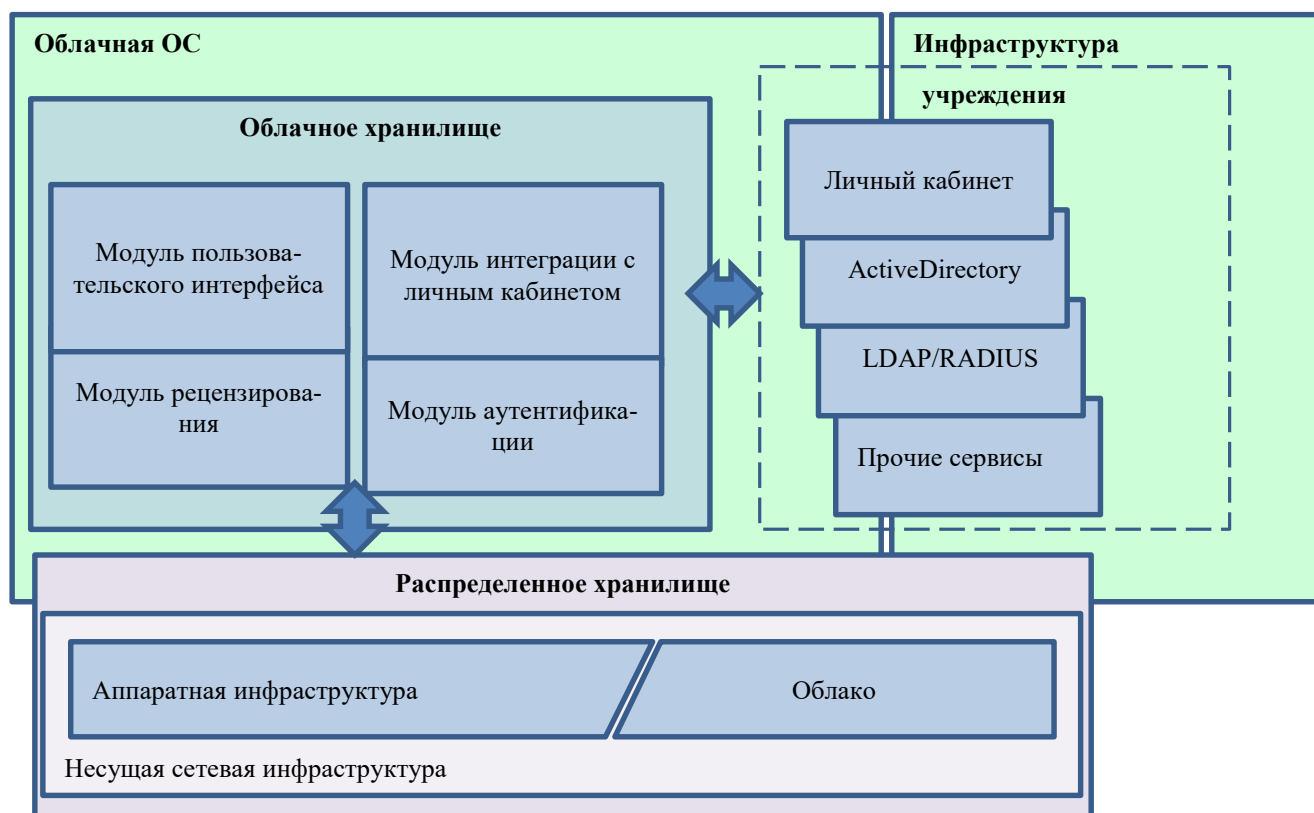


Рисунок 4. — Общая архитектура системы

На основе проведенного анализа существующих открытых решений в качестве основы для создаваемой платформы, предоставляющей облачный интерфейс доступа к отказоустойчивому хранилищу, была выбрана система NextCloud. Выбор в пользу NextCloud сделан потому, что на данный момент это единственное opensource решение по функциональности сравнимое с проприетарными облачными хранилищами. Есть и другие облачные хранилища, например, Seafiler, но рассматривать их, и даже сравнивать, пока нельзя, т.к. они находятся на начальной фазе своего развития.

Облачный сервис выполнен в виде виртуальной машины, что позволяет произвести его запуск в облачной инфраструктуре независимо от физического местоположения кластера хранения.

**В седьмой главе** описаны методика и алгоритмы проектирования беспроводной сети ВУЗа на основе методов искусственного интеллекта. Проектирование Wi-Fi сетей — это сложный и многогранный процесс, который включает в себя разработку, развертывание и оптимизацию беспроводной инфраструктуры для обеспечения надежной и высокопроизводительной беспроводной связи.

Следует отметить, что беспроводная Wi-Fi сеть является элементом сложной интегрированной системы управления ВУЗом.

Проектирование Wi-Fi сети заключается в расчете оптимальных параметров, количества точек доступа и мест размещения, с учетом ограничений. При проектировании беспроводной инфраструктуры одной из главных задач является выбор численных методов оптимизации.

В общем виде задачу проектирования беспроводной сети можно выразить следующим образом:

$$\begin{cases} \vec{x} = (x_1, \dots, x_m) \\ g_i(\vec{x}) \geq b_i, i = \overline{1, n} \\ f_j(\vec{x}) \rightarrow \max, j = \overline{1, k}, \vec{x} \in D \end{cases} \quad (31)$$

где  $m$  – количество переменных,

$g_i$  – функции-ограничения задачи,

$b_i$  – предельно допустимые значения ограничений,

$f_j$  –  $j$ -ый критерий оптимальности,  $k$  – количество критериев оптимальности,

$D$  – множество допустимых значений переменных оптимизации.

Задача проектирования беспроводной сети заключается в определении оптимального расположения точек доступа Wi-Fi в помещении с целью организации беспроводного доступа с учетом особенностей организации учебного процесса ВУЗа – требований на полное покрытие учебных корпусов и обеспечение бесшовного роуминга. В некоторых работах указываются дополнительные требования на возможность подключения заданного количества пользователей к

точке доступа. Однако в настоящее время при обеспечении полного покрытия данные условия будут однозначно выполняться по следующим причинам:

- в настоящее время разработаны и используются новые стандарты Wi-Fi (в частности, Wi-Fi 6), которые позволяют обеспечить скорость доступа до 11 Гбит/с. Соответственно, скорость доступа конечного устройства, даже при большом количестве подключенных пользователей, будет соответствовать требованиям;

- при разворачивании Wi-Fi в учреждениях образования используются точки доступа уровня Enterprise (например, Cisco или Ruiji), которые позволяют обеспечить одновременное подключение большого числа пользователей, которое, как правило, соответствует максимальному количеству пользователей, которое можно разместить в аудиториях в пределах радиуса действия сети.

Помещение, в котором необходимо обеспечить беспроводную связь, представляет собой множество стен с заданными координатами их углов, толщиной, и проницаемостью материала стены:

$$W_i = \{f_i(x); x'_i; x''_i; h_i; \varepsilon_i^{int}; \varepsilon_i^{ext}\}, i = \overline{1, M}, \quad (32)$$

где  $M$  – количество стен в здании;  $f_i(x)$  – уравнение  $i$ -й стены с границами  $x'_i, x''_i$ ;  $h_i$  – толщина внутреннего слоя  $i$ -й стены;  $\varepsilon_i^{int}, \varepsilon_i^{ext}$  – диэлектрическая проницаемость внутреннего и внешнего слоев стены.

Полное покрытие определяется уровнем сигнала во всех точках помещения и определяется следующим выражением:

$$U_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если в } i - \text{й точке помещения обеспечивается} \\ & \text{необходимый уровень сигнала от } j - \text{й точки доступа} \\ 0, & \text{если в } i - \text{й точке помещения не обеспечивается} \\ & \text{необходимый уровень сигнала от } j - \text{й точки доступа} \end{cases} \quad (33)$$

Для оценки уровня сигнала применяются выражения, зависящие от следующих аргументов:

- $d$  – расстояние от точки доступа до абонента;
- $h$  – толщина внутреннего слоя стены, через которую проходит волна;
- $\varepsilon^{int}$  – диэлектрическая проницаемость внутреннего слоя стены;
- $\varepsilon^{ext}$  – диэлектрическая проницаемость внешних слоев стены;
- $f$  – частота волны.

С помощью данного выражения становится возможным вычислить уровень сигнала в точке  $(x_i, y_i)$  при распространении радиосигнала из точки  $(x_i^x, y_i^y)$ :

$$\psi(x_i; y_i; x_i^x; y_i^y) \quad (34)$$

Для качественного доступа к сети скорость должна быть не менее 24 Мбит/с, что соответствует уровню сигнала не менее -70Дбм.

На основе данного выражения и требований к характеристикам качества предоставляемых услуг положим:



$$\varphi(\psi_i) = \begin{cases} 1, & \text{если в } i - \text{й точке помещения обеспечивается} \\ & \text{необходимый уровень сигнала} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (35)$$

Таким образом, задача оптимизации выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \left( \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^N U_{ij} \varphi(\psi(x_i; y_i; x_j^x; y_j^y)) \right) \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^N U_{ij} \leq 1, \forall i \in \overline{1, R} \end{cases} \quad (36)$$

где  $x_i, y_i$  – координаты  $i$  – й точки помещения,  $x_j^x, y_j^y$  – координаты  $j$  – й точки доступа Wi-Fi.

Искомым решением задачи является множество координат и уровень сигнала  $L$  точек доступа  $X_i = \{x_i^x, x_i^y, L_i\}, i=1, \dots, N$ . В связи с этим, в алгоритме предлагается координаты каждой точки доступа и излучаемый уровень сигнала определять геном; их множество будет формировать хромосому.

Первым шагом алгоритма является генерация начальной популяции решений. В качестве такого алгоритма предлагается следующий. На первом этапе на основе экспертного мнения определяется начальное количество точек доступа, которое учитывает в том числе и параметры оборудования.

На втором этапе работы алгоритма точка доступа случайным образом помещается внутри  $i$ -го квадрата. В случае если точка доступа находится в запрещенной области, необходимо вернуться к первому шагу алгоритма. Учитывается, что осуществить установку точки доступа возле стены технически более просто. Для этого определяется расстояние  $H$  до ближайшей стены и в случае если  $H < H_0$ , где  $H_0$  – эталонное расстояние равное 0,5 метра, точку доступа перемещаем к стене по перпендикуляру. Излучаемый начальный уровень сигнала точки доступа устанавливается максимальным, который при этом не должен превышать заданного значения.

Следующим этапом оптимизации расположения точек доступа является расчёт уровня сигнала во всех точках помещения.

Оценивание приспособленности хромосом в популяции состоит в расчете функции приспособленности (фитнесс-функции) для каждой хромосомы этой популяции. В алгоритме предлагается использовать следующий вид функции приспособленности:

$$F = \sum_i^{w_i < W} c_i + \sum_i^{n_i > 3} h_i, \quad (37)$$

где  $W$  – минимально допустимый уровень сигнала, Дбм;  $w_i$  – уровень сигнала в  $i$ -й точке, Дбм;  $c_i$  – штрафная функция для точки доступа, для которой  $w_i < W$ ,  $h_i$  – штрафная функция для точки подключения, в которой уровень сигнала больше минимального более, чем от трех точек доступа. Причем, исходя из поставлен-

ной задачи, вид штрафной функции для точки доступа  $k$ , для которой выполняется условие  $w_i < W$ , должен зависеть от  $w_i$  и удовлетворять следующему соотношению:

$$\sum_{i \neq k} c_i^{max} < \sum_i c_i^{min} \quad (38)$$

Таким образом, штрафная функция для точек доступа будет иметь вид:

$$c_i = const + e^{W-w_i} \quad (39)$$

где  $const$  – константа, которая зависит от количества точек доступа  $N$ , участвующих в оптимизации и параметра  $W$ :

$$const \geq N(e^W - 1) \quad (40)$$

Штрафная функция для точки подключения будет иметь вид:

$$h_i = e^{l_i-3} \quad (41)$$

Фитнесс-функция будет иметь вид:

$$F = \sum_{i^{w_i < W}} (const + e^{W-w_i}) + \sum_{i^{l_i > 3}} e^{l_i-3} \quad (42)$$

Вследствие особенностей размещения точек доступа и необходимости на каждом шаге задавать изменяемый уровень сигнала точек доступа, стандартные операторы генетических алгоритмов не могут напрямую применяться для оптимизации беспроводной инфраструктуры сети.

Оператор мутации определим как применение одного из следующих преобразований случайным образом:

- а) Удаление точки доступа с вероятностью  $\alpha$ .
- б) Добавление точки доступа с вероятностью  $\beta$  (добавляется точка доступа в точке со случайной координатой, причем генерируемые случайные координаты должны попадать в множество разрешенных координат).
- в) С вероятностью  $\gamma$  - смещение точки доступа Wi-Fi в новое положение.
- г) Увеличение излучаемого уровня сигнала точки доступа с вероятностью  $\theta_1$ . Уровень сигнала при этом не должен превышать заданной величины.
- д) Уменьшение излучаемого уровня сигнала точки доступа с вероятностью  $\theta_2$ .

Оператор скрещивания определяется следующим образом. На первом этапе для скрещивания случайным образом выбираются пары хромосом из родительской популяции. Это - временная популяция, состоящая из хромосом, отобранных в результате селекции и предназначенных для дальнейших преобразований операторами скрещивания и мутации с целью формирования новой популяции потомков. Само скрещивание происходит по следующим правилам:

- а) Для пары хромосом вычисляются вероятности  $p_1^c = \frac{F_1}{F_1+F_2}$ ,  $p_2^c = 1 - p_1^c$ , где  $F_1$  и  $F_2$  – значения фитнесс-функции для двух хромосом.

б) Далее проверяется выполнение следующих условий:

– Точка доступа присутствует в первой хромосоме, но отсутствует во второй. Тогда с вероятностью  $p_1^c$  она присутствует в потомке, с вероятностью  $p_2^c$  не присутствует.

– Точка доступа присутствует во второй хромосоме, но отсутствует в первой. Тогда с вероятностью  $p_2^c$  она присутствует в потомке, с вероятностью  $p_1^c$  не присутствует.

– Точка доступа присутствует в обеих хромосомах. Тогда координаты точки доступа потомка берутся с вероятностью  $p_1^c$  из первой хромосомы, или с вероятностью  $p_2^c$  из второй хромосомы.

После скрещивания размер популяции становится увеличенным по отношению к своему нормальному уровню. Для корректировки этой ситуации на финальном этапе итерации проводится отбор наиболее приспособленных индивидов на основе значений функции приспособленности. Используется принцип естественного отбора, в соответствии с которым наибольшие шансы на участие в создании новых особей имеют хромосомы с наименьшими значениями функции приспособленности. Таким образом, в алгоритме используется турнирная селекция, при которой в результате скрещивания пары хромосом выбирается наилучшая. Выбранные в качестве оптимизационно-поисковой процедуры генетические алгоритмы требуют многократного вычисления целевых критериев для множества индивидов популяции. Для увеличения быстродействия программная платформа проектирования Wi-Fi сети разрабатывалась с учетом возможности распараллеливания вычислений. В настоящее время такие вычисления можно проводить как на специализированных высокопроизводительных системах, так и на персональных компьютерах с современными процессорами. Например, процессор Intel Core i7-14700KF содержит 20 ядер.

Разработанная программная платформа проектирования Wi-Fi сети состоит из следующих подсистем: подсистема графического задания помещений, задания характеристик стен и графического отображения результатов работы программной платформы, которая предназначена для задания помещений и задания характеристик стен и графического отображения результатов работы программной платформы; подсистема расчета размещений точек доступа, которая предназначена для осуществления высокопроизводительных вычислений.

В результате работы алгоритма получается множество решений предпочтительных по Парето. Выбор окончательного решения производится либо группой экспертов с использованием матрицы опросов, либо на основании дополнительного критерия.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## Основные научные результаты диссертации

1) Предложено и научно обосновано новое концептуальное направление проектирования сложных информационных систем – проектирование сложных интегрированных систем, что позволяет проектировать сложные информационные системы различного уровня и размера с учетом интеграционных процессов на техническом, правовом, организационном уровнях как с учетом существующих систем, так и с нуля, используя новое свойство сложных систем – интегрированность [10-А, 12-А].

2) Разработана модель сложных интегрированных систем. Данная модель основана на методах нечеткой логики и теории графов, учитывает интеграционные связи как между элементами сложной интегрированной системы, так и между различными уровнями элементов [13-А, 16-А, 37-А, 40-А, 45-А, 46-А].

3) Предложена двухуровневая методика проектирования сложных интегрированных систем. Методика позволяет проектировать сложные интегрированные системы как с нуля, так и с учетом уже существующих подсистем и элементов. В рамках разработанной методики предложен новый способ задания функции принадлежности на основе интеграционных связей элементов сложной интегрированной системы [15-А, 44-А].

4) Разработаны концептуальные основы проектирования и создания Республиканской информационно-образовательной среды. Разработанные решения позволяют создать платформу уровня отрасли образования и включают в себя интеграцию как с различными республиканскими платформами и сервисами, так и с информационными системами уровня УВО, школы, детского сада [1-А, 3-А, 27-А, 30-А].

5) Предложена архитектура, методика и программные решения проектирования интегрированной системы управления учреждением высшего образования Республики Беларусь. Получен практический опыт реализации предложенных решений. Разработаны программные средства интегрированной системы управления университетом с учетом ее интеграции с внутренними и внешними информационными системами как на программно-техническом, так и на организационно-правовом уровнях [1-А, 5-А, 6-А, 7-А, 11-А, 14-А, 18-А, 19-А, 20-А, 21-А, 26-А, 29-А, 33-А, 35-А, 36-А, 39-А, 47-А, 48-А].

6) Разработана двухуровневая методика и программные средства проектирования облачного отказоустойчивого хранилища цифровых данных учреждения образования с учетом его интеграции с интегрированной системой управления университетом. Данная методика предполагает создание виртуальной сете-

вой инфраструктуры УВО, на основе которой создано облачное отказоустойчивое хранилище цифровых данных учреждения образования [1–А, 3–А, 4–А, 8–А, 9–А, 28–А, 31–А].

7) Разработаны методика и программные средства проектирования Wi-Fi сети учреждения образования с использованием искусственного интеллекта с учетом интеграции с интегрированной системой управления УВО. Предложенные решения позволяют проектировать беспроводные сегменты сети УВО с учетом особенностей организации учебного процесса, а также определять минимально необходимое количество точек доступа на стадии проектирования сети [2–А, 17–А, 24–А, 25–А].

8) Предложен новый подход к проектированию системы обеспечения комплексной безопасности сложных интегрированных систем, который учитывает интегрированные связи сложной интегрированной системы [1–А, 7–А, 14–А, 22–А, 23–А, 32–А, 34–А, 38–А, 41–А, 42–А, 43–А, 49–А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Полученные решения целесообразно использовать при концептуальном проектировании сложных интегрированных систем уровня отрасли, страны и надстранового уровня, а также при практическом создании информационных систем различного уровня сложности и размеров.

Разработанные модели и методики использовались при проектировании и создании:

- информационной системы проведения заседаний Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь;
- информационной системы обработки нормативных документов Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь на основании правил, описанных в нормативных проектах, с использованием методов морфологической обработки текста;
- информационной системы сайта Конституционного суда в части реализации сервиса «Электронное обращение»;
- информационной системы анализа и составления аналитических отчетов по материалам средств массовой информации для Секретариата Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь.

С использованием полученных результатов разработана Концепция создания Республиканской информационно-образовательной среды Республики Беларусь.

Полученные результаты позволили спроектировать и разработать информационную систему «Студенты» для автоматизации процессов, связанных с управлением учебным процессом и контингентом обучающихся с учетом интеграции с другими и информационными системами БГМУ.

Полученные результаты легли в основу обоснования концептуальных научно-обоснованных предложений в проект концепции национального суверенитета Республики Беларусь в сфере цифрового развития, а также концептуальных научно обоснованных предложений в проект дорожной карты реализации Концепции национального суверенитета Республики Беларусь в сфере цифрового развития на пятилетний период в части достижения цифрового суверенитета отрасли образования.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс на факультете радиофизики и компьютерных технологий БГУ и используются при выполнении лабораторного практикума, курсовых, дипломных, магистерских работ для решения задач проектирования сложных информационных систем и сервисов.

Полученные результаты позволили модернизировать информационную систему «АСОД» для автоматизации процессов сбора и обработки данных обучающихся учреждений образования Республики Беларусь с учетом интеграции с другими информационными системами.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Монография**

1-А) Кочин, В.П. Проектирование и обеспечение безопасности интегрированных образовательных информационно-коммуникационных систем / В.П. Кочин, Ю.И. Воротницкий – Минск: БГУ, 2022. - 167 с.

### **Статьи в научных журналах в соответствии с п.18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь**

2-А) Кочин, В.П. Оптимальное проектирование беспроводной сетевой инфраструктуры в учреждениях образования / В.П. Кочин // Электроника инфо. – 2016. – № 8. – С.55-57.

3-А) Кочин, В.П. Виртуализация сетевой инфраструктуры учреждений образования / В.П. Кочин, Ю.И. Воротницкий, А.В. Жерело // Цифровая трансформация. – 2020. – № 1(10). – С. 51–56.

4-А) Кочин, В.П. Виртуализация сетевой инфраструктуры Белорусского государственного университета / В.П. Кочин, А.В. Жерело // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2020. - № 8. – С. 45-52.

5-А) Курбацкий, А.Н. Использование многофункциональных идентификационных карт в системе образования Республики Беларусь / А.Н. Курбацкий, Ю.И. Воротницкий, В.П. Кочин, А.В. Решетняк, В.И. Дравица // Цифровая трансформация. – 2021. – № 1(14). – С. 46-52.

6-А) Курбацкий, А.Н. Проектирование и автоматизация работы облачной кластерной системы с учетом интеграции с внешними информационными системами / А.Н. Курбацкий, В.П. Кочин, О.В. Слесаренко // *Веснік сувязі*. – 2021. – № 2. – С. 56–61.

7-А) Кочин, В.П. Проблемы проектирования комплексной системы защиты информации облачных ресурсов в Республике Беларусь / В.П. Кочин, А.В. Шанцов // *Цифровая трансформация*. – 2021. – № 3(16). – С. 34-39.

8-А) Kochyn, V.P. Designing a secure fail-safe cloud repository of paperworks of students and employees of educational institutions / V.P. Kochyn, A.V. Zherelo // *Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics*. – 2021. - № 3. – P. 104-108.

9-А) Кочин, В.П. Разработка образовательного защищенного облачного хранилища данных, интегрированного в инфраструктуру Белорусского государственного университета / В.П. Кочин, А.В. Жерело // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. – 2022. - № 6. – С. 21-28.

10-А) Курбацкий, А.Н. Мировой опыт цифровой трансформации государства. Основные факторы успеха / А.Н. Курбацкий, В.П. Кочин // *Веснік сувязі*. – 2022. – № 4. – С. 37–43.

11-А) Кочин, В.П. Методика создания и структура корпоративного подразделения информационной безопасности / В.П.Кочин, А.В. Шанцов // *Цифровая трансформация*. – 2022. – № 3. – С. 65-72.

12-А) Кочин, В.П. Проектирование сложных интегрированных систем как основа успешной реализации стратегии цифровой трансформации / В.П. Кочин // *Веснік сувязі*. – 2022. – № 5. – С. 41–47.

13-А) Kochyn, V. Conceptual design of complex integrated systems / V. Kochyn, A. Kourbatski // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: Сборник научных трудов, Минск, 2023 г.* / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; ред-кол.: В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. — Минск, 2023. — Вып. 7 – С. 33-38.

14-А) Sobol, A. Mathematical methods for assessing information security risks / A. Sobol, V. Kochyn, N. Grakova // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: Сборник научных трудов, Минск, 2023 г.* / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; ред-кол.: В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. — Минск, 2023. — Вып. 7 – С. 317-322.

15-А) Кочин, В.П. Методика проектирования сложных интегрированных систем / В.П. Кочин, А.Н.Курбацкий // *Веснік сувязі*. – 2023. – № 6. – С. 60–63.

16-А) Кочин, В.П. Модель сложных интегрированных систем / В.П. Кочин // *Журнал Белорусского государственного университета. Серия математика, информатика*. – 2024. - № 1. – С. 71-78.

17-А) Кочин, В.П. Методология проектирования беспроводной сети ВУЗа на основе искусственного интеллекта. / В.П.Кочин // Веснік сувязі. – 2024. – № 1. – С. 51-56.

18-А) Sobol, A. Modeling the state of information security of a smart campus / A. Sobol, V. Kochyn // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: Сборник научных трудов, Минск, 2024 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; ред-кол.: В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. — Минск, 2024. — Вып. 8 – С. 353-358.

#### **Статьи в научных журналах**

19-А) Кочин, В.П. Где «ключи» идентификации жителей умного города / В.П. Кочин, А.В. Решетняк // Веснік сувязі. – 2021. – № 12. – С. 26 – 29.

20-А) Король, А.Д. Дистанция в образовании: от методологии к практике / А.Д. Король, Ю.И. Воротницкий, В.П. Кочин // Наука и инновации. – 2020. - № 6 (208). – С. 22-29.

21-А) Котенко, И.В. Проблема применения мобильных роботизированных устройств для мониторинга помещений: анализ исследований и подход к решению / И.В.Котенко, И.Б.Саенко, А.А.Чечулин, Д.С.Левшун, С.М.Босяков, В.П.Кочин // Информатизация и связь. – 2022. - № 2. – С.64-71.

22-А) Котенко, И.В. Система аналитической обработки событий кибербезопасности на основе суперкомпьютерных вычислений: концепция построения / И.В.Котенко, И.Б.Саенко, В.П.Кочин // Информатизация и связь. – 2022. - № 4. – С.24-28.

23-А) Лапина М.А., Мовзалевская В.В., Токмакова М.Е., Бабенко М.Г., Кочин В.П. Интеллектуальные алгоритмы обнаружения атак в веб-среде. Труды Института системного программирования РАН, том 36, вып. 4, 2024, стр. 99-116. DOI: 10.15514/ISPRAS-2024-36(4)-8.

24-А) Кочин, В.П. Методы и алгоритмы проектирования беспроводной wi-fi сети с использованием методов искусственного интеллекта / В.П. Кочин // Международной научно-практический журнал «Endless Light in Science» – Алматы, 2024. – № 1 – С.10-18.

#### **Статьи в материалах научных конференций**

25-А) Абламейко, С.В. Основные направления и технологии развития беспроводной инфраструктуры научно-образовательных сетей / С.В. Абламейко, Ю.И. Воротницкий, В.П. Кочин / Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2015): материалы XIV Международной конференции, Минск, 19 ноября 2015 г./ ОИПИ НАН Беларуси; ред-кол.: А.В. Тузиков [и др.]. – Минск, 2015. – С.17-25.

26-А) Кочин, В.П. Облачный сервис PaaS для управления программными проектами пользователей суперкомпьютера СКИФ-БГУ / В.П. Кочин, А.В. Жерело // Международный конгресс по информатике: информационные системы



и технологии (CSIST 16): Материалы международного научного конгресса, Минск, 24-27 октября 2016 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: С. В. Абламейко [и др.]. – Минск, 2016. – С.869-872.

27-А) Курбацкий, А.Н. О концепции создания и развития республиканской информационно-образовательной среды / А.Н. Курбацкий, Ю.И. Воротницкий, В.П. Кочин, М.Г. Зеков / Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2019): материалы XIX Международной конференции, Минск, 21 ноября 2019 г./ ОИПИ НАН Беларуси; редкол.: А.В. Тузиков [и др.]. – Минск, 2019. – С.19-23.

28-А) Кочин, В.П. Виртуализация сетевой инфраструктуры учреждений образования / В.П. Кочин, А.В. Жерело // Управление информационными ресурсами: материалы XVI Международной научно-практической конференции, Минск, 26 февраля 2020 г. / Акад. упр. При Президенте Республики Беларусь : редкол.: Н.Л. Бондаренко [и др.]. – Минск, 2020. – С.66-68.

29-А) Кочин, В.П. Основные тенденции применения смарт-карт для идентификации и аутентификации пользователей и опыт внедрения в системе образования Беларуси / В.П. Кочин, А.В. Решетняк / Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2020): материалы XIX Международной конференции, Минск, 19 ноября 2020 г./ ОИПИ НАН Беларуси; редкол.: А.В. Тузиков [и др.]. – Минск, 2020. – С.258-263.

30-А) Король, А.Д. Информационно-коммуникационные технологии дистанционного и онлайн-обучения / А. Д. Король, Ю. И. Воротницкий, В. П. Кочин / Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2020): материалы XIX Международной конференции, Минск, 19 ноября 2020 г./ ОИПИ НАН Беларуси; редкол.: А.В. Тузиков [и др.]. – Минск, 2020. – С.22-29.

31-А) Кочин, В.П. Проектирование информационной системы защищенного облачного репозитория письменных работ обучающихся и работников БГУ / В.П. Кочин, А.В. Жерело // Управление информационными ресурсами: материалы XVII Международной научно-практической конференции, Минск, 12 марта 2021 г. / Акад. упр. При Президенте Республики Беларусь : редкол.: А.С. Лаптенков [и др.]. – Минск, 2021. – С.88-90.

32-А) Кочин, В.П. Проблемы защиты информационных ресурсов при переходе к облачным вычислениям / В.П. Кочин, А.В. Шанцов // Управление информационными ресурсами: материалы XVII Международной научно-практической конференции, Минск, 12 марта 2021 г. / Акад. упр. При Президенте Республики Беларусь: редкол.: А.С. Лаптенков [и др.]. – Минск, 2021. – С.215-217.

33-А) Кочин, В.П. Проектирование многослойной отказоустойчивой системы онлайн обучения в условиях повышенной нагрузки / В.П. Кочин, А.В. Жерело // Комплексная защита информации: материалы XXVI Международной

научно-практической конференции, Минск, 25-27 мая 2021 г. / Научно-исследовательский институт технической защиты информации – Минск, 2021. – С.329-331.

34-А) Кочин, В.П. Комплексная система защита информации облачных ресурсов / В.П. Кочин, А.В. Шанцов // Комплексная защита информации: материалы XXVI Международной научно-практической конференции, Минск, 25-27 мая 2021 г. / Научно-исследовательский институт технической защиты информации – Минск, 2021. – С.332-334.

35-А) Кочин, В.П. Гибридный режим функционирования облачных платформ / А.В.Шанцов, В.П.Кочин // Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (икт-2022): материалы II Международной научно-практической конференции, Полоцк, 30-31 марта 2022 г. / Полоцкий государственный университет – Полоцк, 2022. – С.189-193.

36-А) Воротницкий, Ю.И. Технологии дистанционного и онлайн-обучения / Ю.И. Воротницкий, В.П. Кочин / Военное образование и наука в условиях цифровой трансформации знаний: материалы Международной научной конференции учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», Минск, 20-21 апреля 2022 г. / Военная академия Республики Беларусь – Минск, 2022. – С. 8.

37-А) Kochyn, V.P. Design of complex integrated systems / V.P. Kochyn // Computer data analysis and modeling: stochastics and data science: Proceedings of the XII International Conference, Minsk, September 6-10, 2022 – p.69-73.

38-А) Кочин, В.П. Структура и состав корпоративных подразделений информационной безопасности / В.П. Кочин, А.В. Шанцов // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии (CSIST 2022): Материалы международного научного конгресса, Минск, 26-29 октября 2022 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: С. В. Абламейко [и др.]. – Минск, 2022. – С.63-74.

39-А) Кочин, В.П. Интеграция образования со сторонними информационными системами – основное условие развития цифровых услуг / В.П. Кочин, А.В. Решетняк // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии (CSIST 2022): Материалы международного научного конгресса, Минск, 26-29 октября 2022 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: С. В. Абламейко [и др.]. – Минск, 2022. – С.117-121.

40-А) Кочин, В.П. Концептуальное проектирование сложных интегрированных систем / В.П. Кочин // Управление информационными ресурсами: материалы XIX Международной научно-практической конференции, Минск, 22 марта 2023 г. / Акад. упр. При Президенте Республики Беларусь : редкол.: О.Н. Солдатова [и др.]. – Минск, 2023. – С.344-345.

41-А) Соболев, А.М. Архитектуры информационной безопасности компаний / А.М. Соболев, В.П. Кочин // Управление информационными ресурсами: материалы XIX Международной научно-практической конференции, Минск, 22 марта 2023 г. / Акад. упр. При Президенте Республики Беларусь: редкол.: .Н. Солдатова [и др.]. – Минск, 2023. – С.255-256.

42-А) Кочин, В.П. Разработка модели нарушителя облачных ресурсов / В.П. Кочин, А.В. Шанцов // Управление информационными ресурсами: материалы XIX Международной научно-практической конференции, Минск, 22 марта 2023 г. / Акад. упр. При Президенте Республики Беларусь: редкол.: .Н. Солдатова [и др.]. – Минск, 2023. – С.244-245.

43-А) Кочин, В.П. Алгоритмы разработки системы защиты информации облачных ресурсов / В.П. Кочин, А.В. Шанцов // Комплексная защита информации: материалы XXVIII Международной научно-практической конференции, Гомель, 23-25 мая 2023 г. / Научно-исследовательский институт технической защиты информации – Гомель, 2023. – С.237-240.

44-А) Кочин, В.П. Двухуровневая методика и алгоритмы проектирования сложных интегрированных систем / В.П. Кочин // Наука и технологии: материалы VIII Международной научно-практической конференции, Алматы, Казахстан, 31 января 2024 г. / Международный исследовательский центр «Endless Light in Science» – Алматы, 2024. – С.88-97.

45-А) Кочин, В.П. Концептуальная модель и проектирование сложных интегрированных систем / В.П. Кочин // Компьютерные технологии и анализ данных (СТДА'2024): материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25–26 апр. 2024 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: В. В. Скакун (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2024. Стр. 172-175.

46-А) V. Kochyn, "Conceptual Model of Complex Integrated Systems," 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon), Sochi, Russian Federation, 2024, pp. 740-745, doi: 10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10516134.

47-А) A. Sobol, V. Kochyn and A. Huk, "Information Security System Models in Smart Campuses," 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russian Federation, 2024, pp. 750-754, doi: 10.1109/ICIEAM60818.2024.10553706.

48-А) Соболев, А.М. Инфраструктура умного кампуса / А.М. Соболев, В.П. Кочин // Компьютерные технологии и анализ данных (СТДА'2024): материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25–26 апр. 2024 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: В. В. Скакун (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2024. Стр. 118-120.

49-А) Котенко И.В., Саенко И.Б., Паращук И.Б., Кочин В.П. Обнаружение вредоносной активности в инфраструктуре умного города на основе гибридных интеллектуальных систем с компонентами объяснимого глубокого обуче-

ния: российско-белорусский проект // Сборник материалов XXIX научно-практической конференции «КОМПЛЕКСНАЯ ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ» Санкт-Петербург, 15–17 мая 2024 года / Санкт-Петербург – с. 90-95.

## РЕЗЮМЕ

**Кочин Виктор Павлович**

### **Методологические основы и практика проектирования сложных интегрированных систем**

*Ключевые слова:* сложные интегрированные системы, цифровая трансформация, нечеткие множества, искусственный интеллект.

*Цель работы:* разработка новых подходов, методов и алгоритмов проектирования сложных информационных систем.

*Методы исследования:* теория нечетких множеств, теория графов, искусственный интеллект, программное обеспечение на основе свободно распространяемого кода.

*Полученные результаты и их новизна:* предложено и научно обосновано новое концептуальное направление проектирования сложных информационных систем – проектирование сложных интегрированных систем. Предложенный подход позволяет проектировать сложные информационные системы различного уровня и размера с учетом интеграционных процессов на техническом, правовом, организационном уровнях как с учетом существующих систем, так и проектировать с нуля. Разработаны методы, архитектуры и программные средства различных сложных интегрированных систем уровня ВУЗа и отрасли.

*Степень использования:* результаты диссертационных исследований внедрены в следующие организации: Палата представителей Национального собрания Республики Беларусь, Управление делами Президента Республики Беларусь, Министерство образования Республики Беларусь, Министерство связи и информатизации Республики Беларусь, БГУ, БГМУ, ЦИРК БГУ.

*Область применения:* предложенный подход позволяет проектировать и разрабатывать сложные интегрированные системы и платформы различного уровня. Отдельные результаты могут использоваться в различных предприятиях государственного сектора Республики Беларусь, повышая эффективность управленческих и производственных процессов. Использование результатов диссертационной работы позволит решать задачу цифрового суверенитета Республики Беларусь.

## РЕЗЮМЭ

Кочын Віктар Паўлавіч

### Метадалагічныя асновы і практыка праектавання складаных інтэграваных сістэм

*Ключавыя словы:* складаныя інтэграваныя сістэмы, лічбавая трансфармацыя, недакладныя мноства, штучны інтэлект.

*Мэта працы:* распрацоўка новых падыходаў, метадаў і алгарытмаў праектавання складаных інфармацыйных сістэм.

*Метады даследавання:* тэорыя недакладных мностваў, тэорыя графаў, штучны інтэлект, праграмнае забеспячэнне на аснове свабодна распаўсюджваецца кода.

*Атрыманыя вынікі і іх навізна:* прапанавана і навукова абгрунтавана новае канцэптуальнае кірунак праектавання складаных інфармацыйных сістэм-праектаванне складаных інтэграваных сістэм. Прапанаваны падыход дазваляе праектаваць складаныя інфармацыйныя сістэмы рознага ўзроўню і памеру з улікам інтэграцыйных працэсаў на тэхнічным, прававым, арганізацыйным узроўнях як з улікам існуючых сістэм, так і праектаваць з нуля. Распрацаваны метады, архітэктуры і праграмныя сродкі розных складаных інтэграваных сістэм ўзроўню ВНУ і галіны.

*Ступень выкарыстання:* вынікі дысертацыйных даследаванняў внедрэны ў наступныя арганізацыі: Палата прадстаўнікоў Нацыянальнага САХРа-ня Рэспублікі Беларусь, Упраўленне справамі Прэзідэнта Рэспублікі Беларусь, Міністэрства адукацыі Рэспублікі Беларусь, Міністэрства сувязі і інфарматызацыі Рэспублікі Беларусь, БДУ, БДМУ, ЦЫРК БДУ.

*Вобласць ужывання:* прапанаваны падыход дазваляе праектаваць і распрацоўваць складаныя інтэграваныя сістэмы і платформы рознага ўзроўню. Асобныя вынікі могуць выкарыстоўвацца ў розных прадпрыемствах дзяржаўнага сектара Рэспублікі Беларусь, павялічваючы эфектыўнасць кіраўнічых і вытворчых працэсаў. Выкарыстанне вынікаў дысертацыйнай працы дазволіць вырашаць задачу лічбавага суверэнітэту Рэспублікі Беларусь.

## SUMMARY

**Victar Pavlovich Kochyn**

### **Methodological foundations and practice of designing complex integrated systems**

*Keywords:* complex integrated systems, digital transformation, fuzzy sets, artificial intelligence.

*The aim of the work:* develop new approaches, methods and algorithms for designing complex information systems.

*Research methods:* fuzzy set theory, graph theory, artificial intelligence, software based on freely distributed code.

*Obtained results and their novelty:* a new conceptual direction of designing complex information systems – the design of complex integrated systems - has been proposed and scientifically substantiated. The proposed approach makes it possible to design complex information systems of various levels and sizes, taking into account integration processes at the technical, legal, and organizational levels, both taking into account existing systems and designing from scratch. Methods, architectures and software tools of various complex integrated systems at the university and industry levels have been developed.

*Usage:* the results of dissertation research have been implemented in the following organizations: the House of Representatives of the National Assembly of the Republic of Belarus, the Office of the President of the Republic of Belarus, the Ministry of Education of the Republic of Belarus, the Ministry of Communications and Informatization of the Republic of Belarus, BSU, BSMU, BSU CIRCUS.

*Scope:* the proposed approach makes it possible to design and develop complex integrated systems and platforms at various levels. Individual results can be used in various enterprises of the public sector of the Republic of Belarus, increasing the efficiency of management and production processes. The use of the results of the dissertation work will allow solving the problem of digital sovereignty of the Republic of Belarus.



Подписано в печать 14.02.2025. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,0.  
Тираж 60 экз. Заказ 21.

Отпечатано с оригинала-макета заказчика  
в республиканском унитарном предприятии  
«Издательский центр Белорусского государственного университета».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 2/63 от 19.03.2014.  
Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.