

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА — ПРИМЕР УСПЕШНОГО ВНЕДРЕНИЯ

Научная статья

Беднарская Е.В.^{1,*}, Двирский А.А.², Головатюк А.С.³, Проскурнин Р.В.⁴¹ORCID : 0009-0002-7129-6008;²ORCID : 0000-0002-1776-2007;³ORCID : 0009-0008-5505-8476;⁴ORCID : 0009-0002-7231-8184;^{1,3,4} Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе, Симферополь, Российская Федерация² Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (elenabernadskaya[at]yandex.ru)

Аннотация

Одной из важнейших задач эпидемиологического надзора в целом и эпизоотологического мониторинга в частности является прогнозирование эпидемического процесса, эпизоотий среди резервуарных хозяев, возможных вспышек среди населения как актуальных, так и эмерджентных инфекций. В связи с массовой цифровизацией медико-биологических исследований в целом и мониторинга в частности особую актуальность приобретает создание цифровых двойников.

Цель исследования: создать цифрового двойника системы эпизоотологического мониторинга, применяя ORM (Object-Relational Mapping) фреймворк, с целью практической реализации.

Методы: отлов и учет мелких млекопитающих, сбор иксодовых клещей из природы, с животных проводился на территории Крымского полуострова всесезонно по принятым методикам. Разработка цифрового двойника системы эпизоотологического мониторинга проводилась совместно специалистами ФБУЗ «ЦГиЭ Роспотребнадзора в РК и ГФЗ Севастополе» и Медицинского института имени С.И. Георгиевского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского».

Разработана диаграмма классов и активности на абстрактном языке UML, которая точно описывает текущую операционную деятельность отделения эпизоотологического мониторинга по сбору биологического материала, на базе которой разработана ORM (объектно-реляционное отображение) реализованное в виде кодовой базы функционирующей системы на фреймворке Django/Python.

В настоящее время программное обеспечение проходит апробацию ФБУЗ «ЦГиЭ Роспотребнадзора в РК и ГФЗ Севастополе». Последняя рабочая версия программы по введению первичных данных эпизоотологического мониторинга доступна по ссылке в git репозитории по предварительному согласованию с авторами проекта.

Проведенная цифровая трансформация значительно оптимизирует работу профильных специалистов и снижает трудозатраты на введение первичной информации.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровой двойник, эпизоотологический мониторинг, объектно-ориентированная модель, ORM, UML, Django, Python.

DIGITAL TRANSFORMATION OF EPIZOOTOLOGICAL MONITORING — AN EXAMPLE OF SUCCESSFUL IMPLEMENTATION

Research article

Bednarskaya E.V.^{1,*}, Dvirsky A.A.², Golovatyuk A.S.³, Proskurnin R.V.⁴¹ORCID : 0009-0002-7129-6008;²ORCID : 0000-0002-1776-2007;³ORCID : 0009-0008-5505-8476;⁴ORCID : 0009-0002-7231-8184;^{1,3,4} Center of Hygiene and Epidemiology in the Republic of Crimea and the Federal City of Sevastopol, Simferopol, Russian Federation² V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

* Corresponding author (elenabernadskaya[at]yandex.ru)

Abstract

One of the most important tasks of epidemiological surveillance in general and epizootological monitoring in particular is the forecasting of the epidemic process, epizootics among reservoir hosts, and possible outbreaks among the population of both current and emergent infections. In view of the mass digitalisation of biomedical research in general and monitoring in particular, the creation of digital twins is of particular relevance.

Research objective: to create a digital twin of an epizootological monitoring system, applying ORM (Object-Relational Mapping) framework, with the aim of practical implementation.

Methods: catching and counting of small mammals, collection of ixodal ticks from nature, from animals was carried out on the territory of the Crimean Peninsula all-season according to the accepted methods. The development of the digital twin of the

epizootological monitoring system was carried out together with the specialists of the FBHI 'CHE of Rospotrebnadzor in the Republic of Crimea and SFI Sevastopol' and the Medical Institute named after S.I. Georgievsky of the federal state autonomous educational institution of higher education 'V.I. Vernadsky Crimean Federal University'.

The diagram of classes and activities is designed in abstract language UML, which accurately describes the current operational activities of the epizootological monitoring department for the collection of biological material, on the basis of which ORM (object-relational mapping) is developed, implemented as a code base of the functioning system on the Django/Python framework.

Currently, the software is being tested by the FBHI 'CHE of Rospotrebnadzor in the Republic of Crimea and SFI Sevastopol'. The latest working version of the software for input of primary data of epizootological monitoring is available at the link in the git repository by prior agreement with the authors of the project.

The digital transformation significantly optimises the work of subject-matter experts and reduces the effort required to enter primary information.

Keywords: digital transformation, digital twin, epizootological monitoring, object-oriented model, ORM, UML, Django, Python.

Введение

Эпизоотологический мониторинг — неотъемлемая составляющая эпидемиологического надзора за состоянием очагов болезней общих для человека и животных, основа для планирования противоэпидемических мероприятий [1], [2], [3].

Одной из важнейших задач эпидемиологического надзора в целом и эпизоотологического мониторинга в частности является своевременное выявление эпизоотий среди резервуарных хозяев, возможных вспышек среди населения как актуальных, так и эмерджентных инфекций [4], [5], [6], [7].

В результате работы профильных специалистов зоологов и энтомологов ежемесячно накапливаются огромные массивы данных. Особенно сложная «информационная ситуация» складывается в регионах Южного Федерального округа, в частности в Республике Крым, ввиду круглогодичной активности переносчиков природно-очаговых инфекций (иксодовых клещей), всесезонной доступности всех административных районов, ежемесячного проведения учетов численности мелких млекопитающих [8], [9]. С 2014 г. объем проводимых зоолого-энтомологических работ увеличился многократно [8], [9].

В настоящее время систематизация данных эпизоотологического мониторинга первичными специалистами чаще всего проводится с использованием Microsoft Excel, внедрение единой информационно-аналитической системы Роспотребнадзора (ЕИАС) также не снижает нагрузку по формированию и предоставлению отчетности, не дает возможность анализировать большие объемы ретроспективных данных [4].

Внедрение ЕИАС, не решает проблему структурирования данных необходимых для внесения в систему. Для повышения эффективности работы необходима «бесшовная» передача данных, начиная от подготовки к экспедиционному выезду в рамках эпизоотологического обследования территории, заканчивая генерацией файлов, подготовленных для непосредственного внесения в ЕИАС, без усложнения текущего рабочего процесса и его дополнительных модификаций. Такой подход соответствует определению цифровой трансформации процесса [10], [11], [12].

После внедрения ЕИАС особенно остро встал вопрос программного обеспечения, которое бы позволяло вносить данные в ЕИАС во время рабочего процесса, без создания дополнительных промежуточных отчетов.

В настоящее время для составления прогнозов чаще всего используются регрессионные, многокамерные модели, агентные модели, а также анализ временных рядов [13], [15], [16], [17].

В связи с массовой цифровизацией медико-биологических исследований в целом, и мониторинга в частности, особую актуальность приобретает создание цифровых двойников (Digital Twin) [18], [19], [20]. Отечественные исследователи успешно применяют цифровых двойников, созданных на основе стохастической модели в системе экологического мониторинга [21], [22], [23].

В настоящее время существует ряд определений цифрового двойника, сформулированные в основном в работах зарубежных авторов [24], [25], [26], [27]. В зависимости от используемых моделей их создания, а также области фактического применения определения варьируют: от представления физических объектов на протяжении всего жизненного цикла, которые можно понять, изучить и обосновать с помощью данных в реальном времени [30], до сведения понятия цифровой двойник до уровня конвергенции между физическим и виртуальным продуктом [31]. Несмотря на различия в интерпретации самого понятия, можно выделить ряд обязательных характеристик, позволяющих не только обосновать целесообразность его применения в системе эпидемиологического надзора за природно-очаговыми инфекциями, но и выделить его обязательные системные характеристики. Digital Twin — цифровое представление физического объекта в реальном времени, который удаленно подключается к реальным объектам и предоставляет их всестороннее представление. Выходит за рамки статических моделей объектов [25].

Виртуальная копия реального объекта создается путем постоянной передачи данных, что позволяет цифровой версии объекта существовать одновременно с физической. Digital Twin использует технологию больших данных для добычи скрытых и значимых данных, а также для повышения интеллектуальности и применимости технологии Digital Twin [27].

Цель работы — оптимизация системы обобщения результатов эпизоотологического мониторинга путем создания цифрового двойника на основе предметно-ориентированной модели.

Методы и принципы исследования

Отлов и учет мелких млекопитающих, сбор иксодовых клещей из природы, с животных проводился на территории Крымского полуострова специалистами отделения эпизоотологического и энтомологического мониторинга ФБУЗ

«ЦГиЭ Роспотребнадзора в РК и ГФЗ Севастополе» всесезонно в соответствии с утвержденными графиками эпизоотологического и энтомологического мониторинга с использованием стандартных ловчих орудий (малые ловушки Геро, капканы) [28], орудий сбора иксодовых клещей (флаг, волокуша) по принятым методикам [29]. Лабораторные исследования доставленного материала на природно-очаговые инфекции проводились в лаборатории особо-опасных инфекций ФБУЗ «ЦГиЭ Роспотребнадзора в РК и ГФЗ Севастополе». Разработка цифрового двойника системы эпизоотологического мониторинга проводилась совместно специалистами ФБУЗ «ЦГиЭ Роспотребнадзора в РК и ГФЗ Севастополе» и Ордена Трудового Красного Знамени Медицинского института имени С.И. Георгиевского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского».

Работы по созданию цифрового двойника эпизоотологического и энтомологического мониторинга включало три этапа.

На первом этапе создана диаграмма деятельности (activity diagram), которая показывает структуру и иерархию выполняемых системой действий [31], [32]. На втором этапе для описания концепции работы системы создана диаграмма прецедентов (use case diagram), основу которой составляют разноуровневые отношения между акторами (actor) — сущности, которые ожидают от системы предсказуемости в поведении, и прецедентами (use case), описывающими завершённый фрагмент поведения системы [32]. Актор при взаимодействии с прецедентом, классом исполняет свою роль. В данной модели для цифровой трансформации системы эпизоотологического мониторинга классами выбран биоматериал, отбираемый зоолого-энтомологической группой эпидемиологического отдела. На данной стадии реализации проекта цифровой трансформации в разработку включены два типа биоматериала: мелкие млекопитающие, иксодовые клещи.

На третьем этапе создана объектно-ориентированная модель (ORM — object-relational mapping), которая совмещает гибкость объектно-ориентированного моделирования и упрощённый доступ к базе данных. Семантическая модель работ, проводимых зоолого-энтомологической группой в рамках эпизоотологического мониторинга, включает в себя следующие объекты класса: мелкие млекопитающие, иксодовые клещи, кровососущие двукрылые, вода из внешних источников, погадки хищных птиц. Реализована в программном коде с использованием фреймворка Django на языке программирования Python. Использование контейнеризации в Docker, позволило достигнуть максимальной мультиплатформенности. Запуск приложения возможен как на локальных компьютерах, так и на облачных серверах, виртуальных хостингах. Доступ через web интерфейс и протоколирование действий пользователей даёт возможность разным сотрудникам использовать систему. Использование высокоуровневого языка программирования Python в сочетании с ORM даёт возможность создать систему, отвечающую основным принципам гибко создавать отчеты необходимые для передачи в ЕИАС.

Ниже представлена задача, которая в ходе работы была преобразована в UML-диаграмму прецедентов (рис. 1) и UML-диаграммы классов (рис. 2). Затем на основе полученных абстракций был разработан рабочий программный код с использованием ORM Django и языка программирования Python.

Так, система эпизоотологического мониторинга включает в себя следующих акторов: экспедиционный выезд в рамках эпизоотологического обследования территории крымского полуострова, ловушко-линия, мелкие млекопитающие. Каждый из перечисленных акторов, связан с определенным прецедентом.

Прецедентом актора мелкие млекопитающие являются свойства этого выезда — адрес, дата и время проведения. Прецедентом актора ловушко-линия — тип станции, где проводился отлов и учет мелких млекопитающих. Количество ловушек (капканов) в одной ловушко-линии. Зоолого-энтомологической группой эпидемиологического отдела обследуются открытые луго-полевые, лесокустарниковые, околородные станции, а также постройки человека.

Количество ловушек в одной ловушко-линии соответствует действующим методическим рекомендациям и составляет 25, 50, 100 ловушек (капканов) в одной ловушко-линии [1]. Прецедентом актора мелкие млекопитающие являются видовая принадлежность и морфофизиологический статус (пол, возраст, репродуктивное состояние).

Значительно более сложная сеть взаимодействий построена для системы энтомологического мониторинга. Создано четыре актора: экспедиционный выезд в рамках энтомологического мониторинга, прецедентом выезда являются его свойства: адрес, дата, количество отработанных флагов-часов, время выезда. При этом обязательными атрибутами актора «клещ природа» являются: вид, количество, номер пула, дата сбора, для актора «клещ животное» предусмотрен дополнительный атрибут — прокормитель, а для клещей снятых с людей, учет и исследования которых также проводится лабораторией особо-опасных инфекций ФБУЗ «ЦГиЭ Роспотребнадзора в РК и ГФЗ Севастополе» предусмотрены атрибуты: вид, количество, пул, адрес, дата нападения (рис. 1).

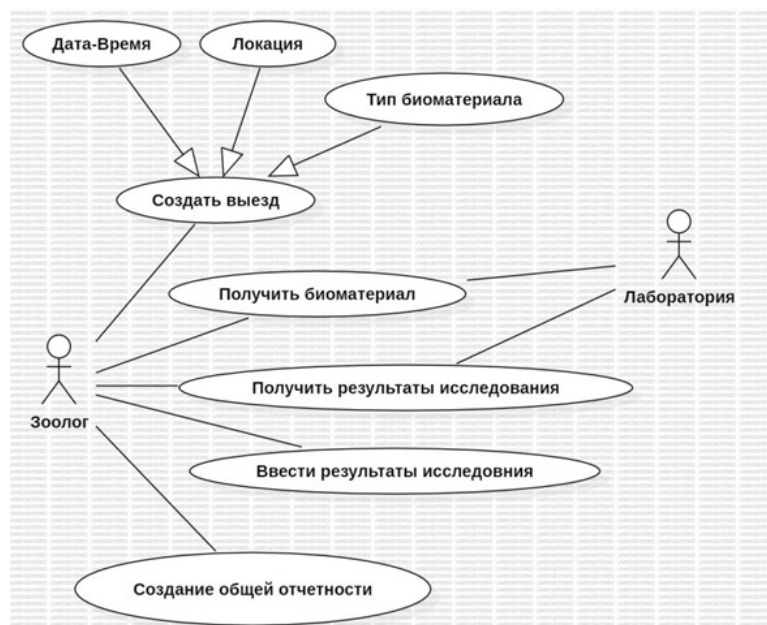


Рисунок 1 - Диаграмма прецедентов системы эпизоотологического мониторинга
DOI: <https://doi.org/10.60797/BMED.2025.5.3.1>

При этом созданная модель классов предполагает включение дополнительных классов (рис. 2).

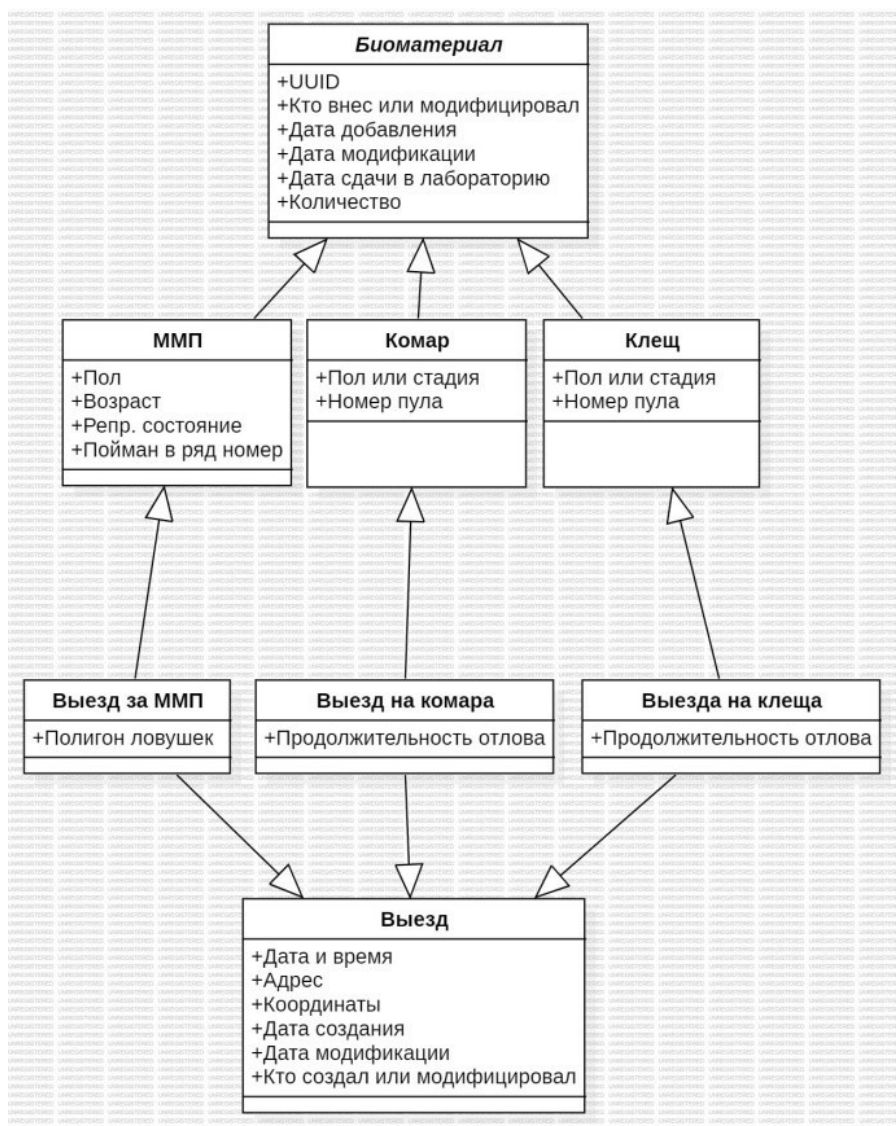


Рисунок 2 - Модель классов цифрового двойника системы эпизоотологического мониторинга
DOI: <https://doi.org/10.60797/BMED.2025.5.3.2>

Основные результаты

С наступлением четвертой промышленной революции появился новый технологический уклад, позволяющий использовать неограниченные базы данных (Big Data), нейронные сети, технологии машинного обучения для решения практических задач энтомологического, эпизоотологического мониторинга. Для использования вышеуказанных технологий необходимо, чтоб все данные, полученные на всех этапах эпизоотологического мониторинга, были представлены в форме адаптированной под ЕИАС. Для этого требуется отражение всех этапов работы в виде связанных моделей данных, из которых легко можно получить необходимый отчет или данные определенной структуры.

Все этапы работы зоолого-энтомологической группы от подготовки к экспедиционному выезду по эпизоотологическому обследованию территории, до описания каждой единицы биоматериала, оцифрованы — переведены на электронные носители информации: первичной (записи из полевых журналов, результаты камеральной обработки) и вторичной (внесение результатов лабораторных исследований, данных о морфофизиологическом, репродуктивном статусе мелкого млекопитающего). После оцифровки данные прошли процесс цифровой трансформации — перенесены с исходных носителей в объектно-реляционную модель, которая семантически отражает процесс работы зоолого-энтомологической группы.

В результате проведенной цифровой трансформации системы эпизоотологического мониторинга создан цифровой двойник, диаграммы прецедентов включают в себя акторов, которые при взаимодействии с прецедентами формируют цифровых двойников системы эпизоотологического и энтомологического мониторинга.

На основании разработанной диаграммы прецедентов, представляющей концепцию организации эпизоотологического и энтомологического мониторинга, разработана объектно-ориентированная модель, которая представляет собой цифровой двойник. Программное обеспечение для регистрации результатов мониторинга, лабораторных исследований доставленного материала разработано с использованием фреймворка Django на языке программирования Python.

Разработанный программный продукт может быть использован как локально, так и в облачной среде. Доступ к локальной копии программного продукта могут получить все пользователи, имеющие доступ в локальный контур доступа компании.

Наш продукт позволяет создавать пользователей, и каждая транзакция сохраняет данные о том, кто из сотрудников внёс первичные данные о полученном биоматериале. Это позволяет составлять отчётность не только о материале, но и об учёте труда персонала, а также создавать отчёты о нагрузке каждого сотрудника.

Наше программное обеспечение масштабируется неограниченно благодаря использованию ORM, который является связующим звеном между алгоритмом бизнес-логики программного продукта и базой данных. Это позволяет использовать широкий спектр баз данных, которые функционируют отдельно от бизнес-логики нашего программного продукта и могут использовать серверные ресурсы предприятия или сетевые базы данных, работающие в режиме SaaS (Software As A Service — программное обеспечение как сервис).

Такая модель позволяет сосредоточиться на решении конкретной задачи и не тратить ресурсы на масштабирование. Кроме того, запуск сервиса возможен в любой среде, поддерживающей Python. Это позволяет масштабировать производительность, запуская задачу как на виртуальном выделенном сервере (VPS — Virtual Private Server), так и в бессерверной среде контейнеризации, как в корпоративном контуре, так и в сервисах провайдеров.

Использование современного стека разработки и развёртывания программного продукта позволяет специалистам сосредоточиться на решении конкретной задачи, но в то же время получать гибкий и масштабируемый продукт, который можно использовать как индивидуально, так и в рамках корпоративных потребностей, не изменяя ни программного кода, ни среды развёртывания, а только добавляя ресурсы в виртуальные сервисы, на которых развёрнута система.

Последняя рабочая версия программы по введению первичных данных эпизоотологического мониторинга доступна по ссылке в git репозитории <https://gitflic.ru/project/advir/bm.git>, по предварительному согласованию с авторами проекта.

Использование Python в качестве языка разработки системы позволяет гибко формировать отчеты на основе первичной документации и экспортировать результаты в формате файлов, которые затем могут быть использованы в ЕИАС или электронных таблицах для текущей отчетности или взаимодействия с другими отделами и подразделениями.

Поскольку система разработана на Django, каждый отчет может быть запущен на серверной части в виде URL, что позволяет всем участникам системы получать доступ к данным в режиме реального времени и с любого рабочего места.

Кроме того, поскольку каждый отчет представляет собой отдельную функцию в системе, это позволяет быстро создать библиотеку программного обеспечения для генерации отчетных форм, которая может быть использована в следующем отчетном периоде без изменений, что затруднительно при использовании офисных пакетов. Также стоит отметить, что отчеты генерируются на стороне сервера, что минимизирует необходимость увеличения мощности рабочих станций.

Кроме того, адаптивный интерфейс позволяет использовать наш программный продукт не только в офисных условиях, но и в полевых условиях с использованием мобильных устройств как для ввода данных, так и для генерации отчетов в формате, необходимом для предоставления в соответствующую структуру организации.

В настоящее время система успешно применяется в работе отделения эпизоотологического и энтомологического мониторинга эпидемиологического отдела ФБУЗ «ЦГиЭ Роспотребнадзора в РК и ГФЗ Севастополе» на протяжении более 9 месяцев.

Использование языка программирования Python позволило оптимизировать процесс создания отчетов, что привело к сокращению времени, затрачиваемого на рутинные операции. Это особенно заметно при подготовке недельных и месячных отчетов, так как специалисты могут использовать ранее созданную процедуру, обращаясь к ней через URI, так как система использует ORM Django, который упрощает создание web-интерфейсов [32].

Доступ к системе с мобильных устройств позволяет сотрудникам сосредоточиться на сборе биоматериала в полевых условиях, одновременно выполняя бюрократические процедуры компании по ведению отчетности. Ввод данных с мобильного устройства также позволяет оперативно вносить информацию о месте сбора биоматериала, что снижает риск ошибок и обеспечивает возможность отслеживания работы специалистов в режиме реального времени. Это также экономит время, затрачиваемое на работу в офисе, позволяя больше времени уделять категоризации и обработке биоматериала.

Отдельно стоит отметить, что данная система позволяет бесшовно обрабатывать данные, полученные из различных эпипопов разными организациями, благодаря тому, что информация о каждом образце биоматериала, внесённом в систему, содержит сведения о предоставившем её пользователе. Это позволяет гибко формировать отчёты с учётом аспектов межведомственного взаимодействия.

Следуя принципам цифровой трансформации бизнес-процессов, система генерирует формы электронных таблиц, которые ранее использовали сотрудники отдела, для контроля качества работы системы и правильности генерации отчетов. Но даже ведение параллельной отчетности дает большой выигрыш во времени, ибо данные в старых форматах формируются автоматически, а новые текущие отчеты генерируются мгновенно на серверной части и лишь иногда сверяются в «ручном» режиме. Таким образом, внедрив облачные вычисления и язык высокого уровня Python для формирования отчетности и удобные формы ввода данных о первичном материале как со стационарных рабочих станций, так и мобильных устройств, мы получили возможность больше рабочего времени уделять полевой работе и исследованию биоматериала, а каждая разработанная форма отчетности применяется к любому временному срезу данных без дополнительного их формирования. Что дает экономию рабочего времени на рутинные операции в сотни процентов.

На момент написания статьи в систему были перенесены все справочники видов биоматериала, данные об административном устройстве региона, ответственности сотрудников. Также в течение 4 месяцев ведется ввод данных о сборе биоматериала и формировании данных как основной инструмент работы. Данные в форматах, как до введения в эксплуатацию программной системы, генерируются как один из видов отчетности программного комплекса для совместимости с ранее разработанными таблицами для проверки корректности разработки новых инструментов по формированию отчетности. Также формируется текущие виды отчетности, которые необходимо подавать раз в месяц. В количественном выражении справочник видов — 136 записей, справочник административно-хозяйственных объектов — 511 записей, общее количество введенного биоматериала с начала практического применения системы — 10213, из них мелких млекопитающих — 700, клещей различных видов — 4000, комаров различных видов — 5513.

Для повышения эффективности работы зоолого-энтомологических групп необходима «бесшовная» передача данных, начиная от подготовки к экспедиционному выезду в рамках эпизоотологического обследования территории, заканчивая генерацией файлов, подготовленных для непосредственного внесения в ЕИАС, без усложнения текущего рабочего процесса и его дополнительных модификаций. Наиболее оптимальной моделью эпизоотологического мониторинга является объектно ориентированная модель, реализованная в виде цифрового двойника действующей системы. Проведенная цифровая трансформация значительно оптимизирует работу профильных специалистов и снижает трудозатраты на введение первичной информации, а также позволяет прогнозировать эпизоотийный процесс в популяциях резервуарных хозяев.

Обсуждение

В работе представлен опыт внедрения современных подходов к цифровой трансформации результатов эпизоотологического мониторинга в организации, которая традиционно использовала классические академические подходы с использованием документооборота первично ориентированного на бумажные носители («полевой журнал»), так и электронных, крайне трудоёмких для заполнения форм статической отчетности. Кроме того, особый акцент в работе делается на то, что весь проект завершен профильными специалистами в области биологических, медицинских наук и специалистами в области организации здравоохранения с опытом работы в ИТ-технологиях, что позволяет гарантировать соответствие конечного продукта реальным потребностям и требованиям работы санитарной службы.

Данное внедрение стало возможно за счет использования современных методов описания бизнес-процессов в виде абстрактных моделей и в дальнейшем использования фреймворков, которые позволяют при знании его синтаксиса создавать платформенно-независимые программные продукты, способные легко масштабироваться. Также использование ORM фреймворка позволяет интуитивно понятно перенести абстрактную модель бизнес-процесса, описанную в терминах объектно-ориентированного программирования, в программный код с высоким уровнем абстракции [31], [32]. Кроме того, использование методов разработки систем как микросервисных позволяет упростить реляционную модель данных, что в будущем резко повышает возможность развития системы без внесения изменений в уже написанную кодовую базу [32].

Таким образом, работа подчеркивает важность интеграции медицинских и ИТ-экспертиз, выполненных предметными специалистами, в процессе цифровой трансформации медико-биологических процедур. Это не только улучшает качество конечного продукта, но и способствует более эффективному и гибкому управлению бизнес-процессами в медико-биологической сфере, созданию систем принятия поддержки врачебных решений.

В будущем такие подходы могут стать стандартом для внедрения инноваций в здравоохранение, открывая новые возможности для улучшения качества обслуживания и повышения эффективности работы медицинских учреждений.

Заключение

В результате проведенной работы было создано и внедрено в эксплуатацию программное обеспечение, которое позволило бесшовно интегрировать результаты полевой работы специалистов по эпизоотологическому мониторингу и ЕИАС. Была успешно реализована концепция разработки системы предметными специалистами от абстрактной бизнес-логики до кодовой базы, инсталляции и внедрения. Данный подход показывает важность дополнительного обучения специалистов медико-биологических специальностей ИТ-наукам и практикам разработки и использования различного программного обеспечения для успешного решения профессиональных задач. Также следует учитывать, что профессиональный путь обучения специалиста в области медицины занимает долгое время, а ИТ-специалисты не изучают клинические дисциплины, без которых невозможна работа врача и смежных специальностей. Также работа показывает важность использования моделирования медико-биологических процессов при помощи UML и затем использование ORM фреймворков, которые имеют высокий уровень абстракции при разработке кодовой базы проектов и имеют платформеннонезависимую архитектуру, что позволяет в будущем модифицировать и масштабировать разработанные проекты.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Транквилевский Д.В. Современное состояние эпизоотологического мониторинга за природными очагами инфекций в Российской Федерации / Д.В. Транквилевский, В.А. Царенко, В.И. Жуков // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. — 2016. — № 2. — С. 19–24.
2. Транквилевский Д.В. Современное состояние организации зоолого-энтомологического, эпизоотологического мониторинга в России / Д.В. Транквилевский // Пест-Менеджмент. — 2022. — № 3 (123). — С. 16–19.
3. Транквилевский Д.В. Актуальные вопросы медицинской териологии в работе X съезда териологического общества при РАН / Д.В. Транквилевский, В.И. Жуков, Б.В. Ромашов [и др.] // Здоровье населения и среда обитания. — 2016. — № 4 (277). — С. 51–56.
4. Косова А.А. Методы моделирования и прогнозирования динамики эпидемического процесса инфекционных болезней / А.А. Косова, В.И. Чалапа, О.П. Ковтун // Уральский медицинский журнал. — 2023. — № 22 (4). — С. 102–112.
5. Шабейкин А.А. Методика проведения эпизоотологического мониторинга в условиях городской агломерации / А.А. Шабейкин, В.В. Белименко, В.В. Патрикеев [и др.] // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. — 2023. — № 120. — С. 111–119.
6. Белименко В.В. Оптимизация эпизоотологического мониторинга клещевых болезней / В.В. Белименко, А.М. Гулюкин // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. — 2019. — № 1 (29). — С. 82–87. — DOI: 10.25725/vet.san.hyg.ecol.201901013.
7. Белименко В.В. Оптимизация информационных потоков и цифровизация системы государственного эпизоотологического мониторинга / В.В. Белименко, А.М. Гулюкин, З.А. Махмадшоева // Ветеринария и кормление. — 2018. — № 7. — С. 19–22. — DOI: 10.30917/ATVT-VK-1814-9588-2018-7-8.
8. Евстафьев И.Л. Фауна мелких млекопитающих Крыма и структура их ареалов / И.Л. Евстафьев, Н.Н. Товпинец // Млекопитающие России: фаунистика и вопросы териогеографии. — 2019. — С. 68–71.
9. Товпинец Н.Н. Анализ раритетной териофауны Республики Крым и города Севастополя в свете Красной книги Российской Федерации / Н.Н. Товпинец // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыан». — 2022. — № 13. — С. 217–249. — DOI: 10.36305/2413-3019-2022-13-217-249.
10. Hang Z. Hybrid learning-based digital twin for manufacturing process: Modeling framework and implementation / Z. Hang, M. Fey, C. Liu [et al.] // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. — 2023. — № 82. — Article 102545. — DOI: 10.1016/j.rcim.2023.102545.
11. Yu H. Edge intelligence-driven digital twin of CNC system: Architecture and deployment / H. Yu, D. Yu, C. Wang [et al.] // Robotics and Computer-integrated Manufacturing. — 2023. — № 79. — P. 102418–102418 — DOI: 10.1016/j.rcim.2022.
12. Attaran M. Celik Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities / M. Attaran, B. Gokhan // Decision Analytics Journal. — 2023. — № 6 (80). — Article 100165. — DOI: 10.1016/j.dajour.2023.
13. Ayani M. Digital Twin: Applying emulation for machine reconditioning 51st / M. Ayani, M. Ganebäckb, H.C. Amos // CIRP Conference on Manufacturing Systems Procedia. — 2018. — № 72. — P. 243–248. — DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.139.
14. Van Dinter R. Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review / R. Van Dinter, B. Tekinerdoganb, C. Catal // Information and Software Technology. — 2022. — № 151. — Article 107008. — DOI: 10.1016/j.infsof.2022.
15. Warke V. Sustainable Development of Smart Manufacturing Driven by the Digital Twin Framework: A Statistical Analysis / V. Warke, S. Kumar, A. Bongale [et al.] // Sustainability. — 2021. — № 13. — P. 10139. — DOI: 10.3390/su131810139.
16. Leng J. Digital twin-driven rapid reconfiguration of the automated manufacturing system via an open architecture model / J. Leng, Q. Liu, S. Ye [et al.] // Robot. Comput. Integr. Manuf. — 2020. — № 63. — Article 101895. — DOI: 10.1016/j.rcim.
17. Широкоступ С.В. Роль нейросетевого эпидемиологического прогнозирования в системах социально гигиенического мониторинга и эпидемиологического надзора за заболеваемостью клещевым энцефалитом и другими клещевыми природно-очаговыми инфекциями / С.В. Широкоступ, Н.В. Лукьяненко, И.П. Салдан [и др.] // Санитарный врач. — 2019. — № 12. — С. 28–35. — DOI: 10.33920/med-08-1912-03.
18. Орешник М.В. Архитектура системы эпизоотологического мониторинга / М.В. Орешник, М.Н. Борисевич // Социально-экономическое развитие организаций и регионов Беларуси: эффективность и инновации. — 2015. — С. 253–256.
19. Густокашин К.А. Эпизоотологический мониторинг и моделирование с разработкой краевой аналитической программы на основе нейросетей : автореф. дис. ... д-ра вет. наук / К.А. Густокашин. — Барнаул, 2013. — 49 с.
20. Потапов В.П. Цифровые двойники: стратегии и подходы к созданию систем экологического мониторинга / В.П. Потапов, С.Е. Попов, Е.Л. Счастливцев // Вычислительные технологии. — 2023. — № 28 (3). — С. 167–181. — DOI: 10.25743/ICT.2023.28.3.010.
21. Грехов С.К. Инструменты экологического мониторинга: «цифровые двойники» и виртуальное моделирование процессов / С.К. Грехов // Экологическая безопасность в техносферном пространстве. — 2018. — С. 20–22.
22. Касимова А.Р. Использование цифровых двойников для решения экологических задач / А.Р. Касимова, А.А. Фазуллина, А.А. Алексеева [и др.] // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности. — 2023. — С. 878–882.
23. Moretti M. In-process monitoring of part geometry in fused filament fabrication using computer vision and digital twins / M. Moretti, A. Rossi, N. Senin // Addit. Manuf. — 2021. — № 37. — Article 101609. — DOI: 10.1016/j.addma.2020.

24. Hänel A. Digital Twins for High-Tech Machining Applications- A Model-Based Analytics-Ready Approach / A. Hänel, A. Seidel, U. Frieß [et al.] // J. Manuf. Mater. Process. — 2021. — № 5. — 80 p. — DOI: 10.3390/jmmp5030080.
25. Jones D. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review / D. Jones, C. Snider, A. Nassehi [et al.] // CIRP J. Manuf. Sci. Technol. — 2020. — № 29. — P. 36–52. — DOI: 10.1016/j.cirpj.
26. Farsi M. Internet of Things Digital Twin Technologies and Smart Cities / M. Farsi, A. Daneshkhah, A. Hosseini-Far [et al.]. — Cham: Springer International Publishing, 2020. — P. 63–68. — DOI: 10.1007/978-3-030-18732-3.
27. Aydemir H. The digital twin paradigm for aircraft-Review and outlook / H. Aydemir, U. Zengin, U. Durak [et al.] // AIAA Scitech 2020 Forum. — 2020. — № 1. — P. 1–12. — DOI: 10.2514/6.2020-0553.
28. Отлов, учет и прогноз численности мелких млекопитающих и птиц в природных очагах инфекционных болезней: методические рекомендации 3.1. 0211-20. — Москва, 2020. — 45 с.
29. Сбор, учет и подготовка к лабораторному исследованию кровососущих членистоногих в природных очагах опасных инфекционных болезней: методические указания 3.1.0322-23. — Москва, 2023.
30. Rožanec J.M. Towards actionable cognitive digital twins for manufacturing / J.M. Rožanec, L. Jinzhi, A. Košmerlj [et al.] // Proceedings of the CEUR Workshop Proceedings. — 2020. — № 2615 (5). — P. 3–11. — DOI: 10.3390/app112411790.
31. Umar A.Z. Comparing Flowchart and Swim Lane Activity Diagram for Aiding Transitioning to Object-Oriented Implementation / A.Z. Umar, M.M. Gumel, H.S. Tuge // American Journal of Education and Technology. — 2022. — № 1 (2). — P. 88–106. — DOI: 10.54536/ajet.v1i2.612.
32. Gedam M. Proposed Secure 3-Use Case Diagram / M. Gedam, B.B. Meshram // International Journal of Systems and Software Security and Protection. — 2022. — № 13 (1). — P. 1–18. — DOI: 10.4018/ijssp.293237.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Trankvilevskij D.V. Sovremennoe sostojanie jepizootologicheskogo monitoringa za prirodnyimi ochagami infekcij v Rossijskoj Federacii [Current status of epizootological monitoring of natural foci of infections in the Russian Federation] / D.V. Trankvilevskij, V.A. Carenko, V.I. Zhukov // Medicinskaja parazitologija i parazitarnye bolezni [Medical parasitology and parasitic diseases]. — 2016. — № 2. — P. 19–24. [in Russian]
2. Trankvilevskij D.V. Sovremennoe sostojanie organizacii zoologo-jentomologicheskogo, jepizootologicheskogo monitoringa v Rossii [Current state of organisation of zoological-entomological, epizootological monitoring in Russia] / D.V. Trankvilevskij // Pest-Menedzhment [Pest Management]. — 2022. — № 3 (123). — P. 16–19. [in Russian]
3. Trankvilevskij D.V. Aktual'nye voprosy medicinskoj teriologii v rabote X s#ezda teriologicheskogo obshhestva pri RAN [Current issues of medical theriology in the work of the X Congress of the Theriological Society at the Russian Academy of Sciences] / D.V. Trankvilevskij, V.I. Zhukov, B.V. Romashov [et al.] // Zdorov'e naselenija i sreda obitaniya [Population Health and Habitat]. — 2016. — № 4 (277). — P. 51–56. [in Russian]
4. Kosova A.A. Metody modelirovaniya i prognozirovaniya dinamiki jepidemicheskogo processa infekcionnyh boleznej [Methods of modelling and forecasting the dynamics of the epidemic process of infectious diseases] / A.A. Kosova, V.I. Chalapa, O.P. Kovtun // Ural'skij medicinskij zhurnal [Ural Medical Journal]. — 2023. — № 22 (4). — P. 102–112. [in Russian]
5. Shabejkin A.A. Metodika provedeniya jepizootologicheskogo monitoringa v usloviyah gorodskoj aglomeracii [Methods of epizootological monitoring in urban agglomeration] / A.A. Shabejkin, V.V. Belimenko, V.V. Patrikeev [et al.] // Problemy veterinarnoj sanitarii, gigieny i jekologii [Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology]. — 2023. — № 120. — P. 111–119. [in Russian]
6. Belimenko V.V. Optimizacija jepizootologicheskogo monitoringa kleshhevnyh boleznej [Optimisation of epizootological monitoring of tick-borne diseases] / V.V. Belimenko, A.M. Guljukin // Problemy veterinarnoj sanitarii, gigieny i jekologii [Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology]. — 2019. — № 1 (29). — P. 82–87. — DOI: 10.25725/vet.san.hyg.ecol.201901013. [in Russian]
7. Belimenko V.V. Optimizacija informacionnyh potokov i cifrovizacija sistemy gosudarstvennogo jepizootologicheskogo monitoringa [Optimisation of information flows and digitalisation of the state epizootological monitoring system] / V.V. Belimenko, A.M. Guljukin, Z.A. Mahmadsheeva // Veterinariya i kormlenie [Veterinary Medicine and Feeding]. — 2018. — № 7. — P. 19–22. — DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2018-7-8. [in Russian]
8. Evstaf'ev I.L. Fauna melkih mlekopitajushhih Kryma i struktura ih arealov [Fauna of small mammals of Crimea and structure of their ranges] / I.L. Evstaf'ev, N.N. Tovpinec // Mlekopitajushhie Rossii: faunistika i voprosy teriogeografii [Mammals of Russia: faunistics and issues of theriogeography]. — 2019. — P. 68–71. [in Russian]
9. Tovpinec N.N. Analiz raritetnoj teriofauny Respubliki Krym i goroda Sevastopolja v svete Krasnoj knigi Rossijskoj Federacii [Analysis of the rare theriofauna of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol in the light of the Red Book of the Russian Federation] / N.N. Tovpinec // Nauchnye zapiski prirodnogo zapovednika «Mys Mart'jan» [Scientific Notes of the Natural Reserve "Cape Martyan"]. — 2022. — № 13. — P. 217–249. — DOI: 10.36305/2413-3019-2022-13-217-249. [in Russian]
10. Hang Z. Hybrid learning-based digital twin for manufacturing process: Modeling framework and implementation / Z. Hang, M. Fey, C. Liu [et al.] // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. — 2023. — № 82. — Article 102545. — DOI: 10.1016/j.rcim.2023.102545.
11. Yu H. Edge intelligence-driven digital twin of CNC system: Architecture and deployment / H. Yu, D. Yu, C. Wang [et al.] // Robotics and Computer-integrated Manufacturing. — 2023. — № 79. — P. 102418–102418 — DOI: 10.1016/j.rcim.2022.
12. Attaran M. Celik Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities / M. Attaran, B. Gokhan // Decision Analytics Journal. — 2023. — № 6 (80). — Article 100165. — DOI: 10.1016/j.dajour.2023.

13. Ayani M. Digital Twin: Applying emulation for machine reconditioning 51st / M. Ayani, M. Ganebäckb, H.C. Amos // CIRP Conference on Manufacturing Systems Procedia. — 2018. — № 72. — P. 243–248. — DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.139.
14. Van Dinter R. Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review / R. Van Dinter, B. Tekinerdoganb, C. Catal // Information and Software Technology. — 2022. — № 151. — Article 107008. — DOI: 10.1016/j.infsof.2022.
15. Warke V. Sustainable Development of Smart Manufacturing Driven by the Digital Twin Framework: A Statistical Analysis / V. Warke, S. Kumar, A. Bongale [et al.] // Sustainability. — 2021. — № 13. — P. 10139. — DOI: 10.3390/su131810139.
16. Leng J. Digital twin-driven rapid reconfiguration of the automated manufacturing system via an open architecture model / J. Leng, Q. Liu, S. Ye [et al.] // Robot. Comput. Integr. Manuf. — 2020. — № 63. — Article 101895. — DOI: 10.1016/j.rcim.
17. Shirokostup S.V. Rol' nejrosetevogo jepidemiologicheskogo prognozirovaniya v sistemah social'no gigienicheskogo monitoringa i jepidemiologicheskogo nadzora za zabolevaemost'ju kleshhevym jencefalitom i drugimi kleshhevymi prirodno-ochagovymi infekcijami [The role of neural network epidemiological forecasting in systems of social hygienic monitoring and epidemiological surveillance of morbidity of tick-borne encephalitis and other tick-borne natural focal infections] / S.V. Shirokostup, N.V. Luk'janenko, I.P. Saldan [et al.] // Sanitarnyj vrach [Sanitary Doctor]. — 2019. — № 12. — P. 28–35. — DOI: 10.33920/med-08-1912-03. [in Russian]
18. Oreshnik M.V. Arhitektura sistemy jepizootologicheskogo monitoringa [Architecture of the epizootological monitoring system] / M.V. Oreshnik, M.N. Borisevich // Social'no-jekonomicheskoe razvitie organizacij i regionov Belarusi: jeffektivnost' i innovacii [Socio-economic development of organisations and regions of Belarus: efficiency and innovations]. — 2015. — P. 253–256. [in Russian]
19. Gustokashin K.A. Jepizootologicheskij monitoring i modelirovanie s razrabotkoj kraevoj analiticheskoy programmy na osnove nejrosetej [Epizootological monitoring and modelling with the development of a neural network-based regional analytical programme] : abst. of diss. ... PhD in Veterinary Sciences / K.A. Gustokashin. — Barnaul, 2013. — 49 p. [in Russian]
20. Potapov V.P. Cifrovye dvojniki: strategii i podhody k sozdaniyu sistem jekologicheskogo monitoringa [Digital twins: strategies and approaches to the creation of environmental monitoring systems] / V.P. Potapov, S.E. Popov, E.L. Schastlivcev // Vychislitel'nye tehnologii [Computing Technologies]. — 2023. — № 28 (3). — P. 167–181. — DOI: 10.25743/ICT.2023.28.3.010. [in Russian]
21. Grehov S.K. Instrumenty jekologicheskogo monitoringa: "cifrovye dvojniki" i virtual'noe modelirovanie processov [Environmental monitoring tools: "digital twins" and virtual modelling of processes] / S.K. Grehov // Jekologicheskaja bezopasnost' v tehnosfernom prostranstve [Environmental safety in the technospheric space]. — 2018. — P. 20–22. [in Russian]
22. Kasimova A.R. Ispol'zovanie cifrovych dvojn timerov dlja resheniya jekologicheskikh zadach [Using digital twins to solve environmental problems] / A.R. Kasimova, A.A. Fazullina, A.A. Alekseeva [et al.] // Sovremennye tehnologii v oblasti zashhity okruzhajushhej sredy i tehnosfernoj bezopasnosti [Modern technologies in the field of environmental protection and technosphere safety]. — 2023. — P. 878–882. [in Russian]
23. Moretti M. In-process monitoring of part geometry in fused filament fabrication using computer vision and digital twins / M. Moretti, A. Rossi, N. Senin // Addit. Manuf. — 2021. — № 37. — Article 101609. — DOI: 10.1016/j.addma.2020.
24. Hänel A. Digital Twins for High-Tech Machining Applications- A Model-Based Analytics-Ready Approach / A. Hänel, A. Seidel, U. Frieß [et al.] // J. Manuf. Mater. Process. — 2021. — № 5. — 80 p. — DOI: 10.3390/jmmp5030080.
25. Jones D. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review / D. Jones, C. Snider, A. Nassehi [et al.] // CIRP J. Manuf. Sci. Technol. — 2020. — № 29. — P. 36–52. — DOI: 10.1016/j.cirpj.
26. Farsi M. Internet of Things Digital Twin Technologies and Smart Cities / M. Farsi, A. Daneshkhah, A. Hosseini-Far [et al.]. — Cham: Springer International Publishing, 2020. — P. 63–68. — DOI: 10.1007/978-3-030-18732-3.
27. Aydemir H. The digital twin paradigm for aircraft-Review and outlook / H. Aydemir, U. Zengin, U. Durak [et al.] // AIAA Scitech 2020 Forum. — 2020. — № 1. — P. 1–12. — DOI: 10.2514/6.2020-0553.
28. Otlov, uchet i prognoz chislennosti melkih mlekopitajushhih i ptic v prirodnyh ochagah infekcionnyh boleznej: metodicheskie rekomendacii 3.1. 0211-20 [Capture, accounting and forecasting of small mammals and birds in natural foci of infectious diseases: methodological recommendations 3.1. 0211-20]. — Moscow, 2020. — 45 p. [in Russian]
29. Sbor, uchet i podgotovka k laboratornomu issledovaniju krovososushhih chlenistonogih v prirodnyh ochagah opasnyh infekcionnyh boleznej: metodicheskie ukazaniya 3.1.0322-23 [Collection, accounting and preparation for laboratory examination of blood-sucking arthropods in natural foci of dangerous infectious diseases: guidelines 3.1.0322-23]. — Moscow, 2023. [in Russian]
30. Rožanec J.M. Towards actionable cognitive digital twins for manufacturing / J.M. Rožanec, L. Jinzhi, A. Košmerlj [et al.] // Proceedings of the CEUR Workshop Proceedings. — 2020. — № 2615 (5). — P. 3–11. — DOI: 10.3390/app112411790.
31. Umar A.Z. Comparing Flowchart and Swim Lane Activity Diagram for Aiding Transitioning to Object-Oriented Implementation / A.Z. Umar, M.M. Gumel, H.S. Tuge // American Journal of Education and Technology. — 2022. — № 1 (2). — P. 88–106. — DOI: 10.54536/ajet.v1i2.612.
32. Gedam M. Proposed Secure 3-Use Case Diagram / M. Gedam, B.B. Meshram // International Journal of Systems and Software Security and Protection. — 2022. — № 13 (1). — P. 1–18. — DOI: 10.4018/ijssp.293237.