

Цифровые двойники и задача обеспечения долговременной сохранности документов

А. В. Соловьев

Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматривается постановка задачи долговременной сохранности документов и использование технологии цифровых двойников. Рассмотрены проблемы и риски обеспечения сохранности документов, а также негативные влияния разрушающих факторов на хранящиеся документы. Выделена проблема сохранности электронных документов. Обосновывается предположение о возможности использования технологий цифровых двойников для обеспечения долговременной сохранности в рамках цифровой трансформации экономики и общества. Приводится формальная постановка задачи обеспечения долговременной сохранности документов с использованием технологии цифровых двойников. Приводятся перспективы дальнейших исследований для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: долговременная сохранность, проблемы сохранности, цифровые двойники, цифровая трансформация, электронные документы, разрушающие факторы.

DOI 10.14357/20718632240402 EDN UEJFZA

Введение

Цифровизация экономики и общества давно уже стала мировой тенденцией трансформации промышленности и общественной жизни. В повседневную жизнь плотно вошли такие термины как дополненная (Augment Reality, AR) и виртуальная реальность (Virtual Reality, VR), 3D/4D-печать (3D/4D printing), искусственный интеллект (Artificial Intelligence, AI), промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT), цифровой двойник (Digital Twin, DT). Все чаще в литературе можно встретить утверждения о том, что четвертая промышленная революция или индустрия 4.0 (Industry 4.0) стала реальностью [1, 2]. Основные аспекты индустрии 4.0 подразумевают генерацию большого объема данных (в рамках IIoT) и интенсивное их использование для анализа при переходе к концепции интеллектуальной обработки данных и применении искусственного интеллекта (ИИ) [3].

Однако, слабо проработанными остаются вопросы, касающиеся организации долговременного хранения данных в рамках индустрии 4.0 [4]. В то же время, организация долговременной сохранности очень важна, так как в документах зачастую содержится информация по модернизации существующих производственных и технологических процессов. Традиционно наибольшие трудности при организации долговременного хранения данных возникают с архивными документами в бумажной форме. Однако, учитывая все большее количество данных и документов в цифровой форме, проблема их долговременной сохранности также крайне важна. Так данные в цифровой форме, а также соответствующая документация по технологическим и производственным процессам являются ключевыми факторами в рамках индустрии 4.0, при этом сроки хранения таких документов либо не ограничены, либо составляют десятилетия, а ценность их очень высока [5].

Следует отметить, что согласно [6] при длительном хранении, вследствие больших объемов хранящихся документов, возможна только выборочная проверка состояния документов, контроль же за параметрами согласно [6] 1-2 раза в неделю не позволяет своевременно выявить риски хранения и возможной порчи документов.

Вследствие этого, а также учитывая соотношение хранящихся объемов документов к реставрируемым объемам в год как 10000 : 1, можно утверждать, что в случае порчи документов, спасти средствами реставрации можно лишь ничтожно малую часть документов. Это утверждение подтверждается исследованиями [7, 8]. Кроме этого, ежегодное поступление документов к реставрируемым объемам оценивается как 200 : 1, что тоже говорит о невозможности своевременно выявить испорченные документы и реставрировать (восстанавливать) их в нужных объемах.

Иными словами, возникает противоречивая ситуация между необходимостью долговременного хранения и низкой проработкой вопроса обеспечения сохранности и сложностью контроля сохранности порождает необходимость решения крайне актуальной научно-практической задачи повышения долговечности (сохраняемости) документов долговременного хранения путем перевода их в цифровой вид.

1. Краткий обзор использования технологий цифровых двойников

Технологии цифровых двойников (DT) последние годы стали очень популярны, а актуальность и необходимость их использования подчеркивается лавинообразным ростом публикаций за последние 3-4 года.

Краткий обзор публикаций по теме технологий DT показывает, что большинство публикаций рассматривают технологии DT как неотъемлемую часть производства при его цифровой трансформации [9 - 13].

Использование DT на производстве позволяет с помощью создания цифровой модели продукции производства (детали, технического устройства, прибора и т.д.) моделировать ее работу, и, согласно большинству современных публикаций, крайне актуально. Если модель, т.е. собственно DT, адекватна промышленному

изделию, то ее использование позволяет своевременно выявить проблемы изделия и, тем самым, повысить его качество и конкурентоспособность. Использование DT возможно начиная от стадии проектирования и заканчивая стадиями испытаний и эксплуатации. Для связи модели (DT) и реального промышленного изделия прямо предполагается использование технологий IoT для контроля всех параметров работы и режимов эксплуатации [9, 11].

Согласно ряду исследований [14], моделирование объекта или создание цифрового двойника возможно не только для промышленного изделия, но и для производства в целом. Могут моделироваться не только все стадии производства продукции, но и работа предприятия, начиная со стадии проектирования и заканчивая виртуальными испытаниями и сертификацией. Для этого кроме понятия цифровой двойник, как высокоадекватная математическая модель продукции и предприятия, водится также понятие цифровой тени, как модели поведения объекта на всех режимах работы, и понятие цифровой сертификации, как проведение серии виртуальных испытаний на всех режимах работы изделия.

Важной составляющей технологии DT является этап проектирования промышленной продукции [15]. В работах подчеркивается важность создания цифровых двойников на этапе проектирования продукции. Доказывается повышение эффективности разработки промышленной продукции при таком подходе.

Несмотря на то, что в основном технологии DT используются в сфере реального промышленного производства, их использование распространяется и на другие сферы экономики и общества. Важной сферой применения технологий DT является управление городом в целом как в рамках реализации концепции умного города [16], а также в рамках цифровой трансформации управления городскими службами и коммуникациями [17]. Также декларируется повышение эффективности при применении технологии DT для моделирования социальных процессов в обществе [18], для геохимического мониторинга окружающей среды [19]. Отмечается также актуальность и эффективность использования цифровых двойников в банковской сфере [20], при анализе геомагнитной активности Земли [21].

Интересным с точки зрения исследования применения технологий ДТ является исследование [22], в котором приведена эталонная архитектура цифрового двойника. Эта архитектура использована для цифровой трансформации описаний уникальных водно-болотных угодий. В этой же работе показано, что парадигма «Цифровой двойник как услуга» (Digital Twin as a Service, DTaaS) может эффективно использоваться для цифровой трансформации, включая такие варианты применения как интеллектуальное плановое обслуживание, мониторинг в реальном времени, дистанционное управление и прогнозирование. В работе [22] приведены результаты, подтверждающие, что существует значительная взаимосвязь между DTaaS и массовой персонализацией.

В исследовании [23] рассматривается важность массовой персонализации, т.к. по мнению авторов работ [22, 23] массовая персонализация – общая цель последних промышленных революций. В [23] предлагается эталонная модель архитектуры для достижения массовой персонализации, которая способствует переходу к Индустрии 5.0 посредством внедрения человеко-ориентированного подхода в Индустрии 4.0, что должно повысить устойчивость результата цифровой трансформации.

Однако, несмотря на стремительную цифровую трансформацию и необходимость организации надежного и долговременного хранения документов, в том числе и электронных, технология ДТ для этого до сих пор не используется. При этом высокие риски порчи и потери ценных и особо ценных документов [7; 8; 24] делают проблему повышения эффективности долговременного хранения крайне актуальной.

Оцифровка хранящихся документов является хоть и важной и необходимой мерой, однако цифровая копия не способна, например, заменить документ, имеющий юридическую значимость. Повсеместная оцифровка документов не решает проблему хранения, т.к. в результате получается цифровой образ документа на определенный момент времени, который не имеет связи с документом-оригиналом и который также нужно хранить в нестабильной цифровой программно-аппаратной среде [24].

Что же такое цифровой двойник документа долговременного хранения? Можно ввести определение. Цифровой двойник документа долговременного хранения – это цифровая копия реально существующего документа, который имеет связь с документом-оригиналом, осуществляемую цифровыми средствами (программными и аппаратными), в котором моделируются процессы, происходящие в реально существующем документе-оригинале. Так, цифровая копия документа, не имея связи с документом-оригиналом, не моделирует происходящие в документе-оригинале процессы старения и влияние разрушающих факторов, которые описаны ниже в данной статье.

При организации долговременного хранения могут использоваться популярные в настоящее время облачные решения. Это актуально, например, когда, размещение программно-аппаратной части в помещении архива невозможно из-за несоблюдения или нарушения требований к хранению, отсутствие помещений, недостаточного энергообеспечения. Однако использование облачных решений не является «панацеей», т.к. все те же проблемы нестабильной программно-аппаратной среды, описанные в [24], также влияют и на программно-технические решения, обеспечивающие конкретные облачные решения хранения цифровых документов и данных.

2. Обзор основных рисков и разрушающих факторов при долговременном хранении документов

Рассмотрим основные риски при долговременном хранении документов, а также использующиеся средства контроля сохранности документов.

Необходимо отметить, что в первую очередь риск повреждения или утраты документов при долговременном хранении связан с несоблюдением условий хранения, подробно описанных в [6, 7].

К необходимым условиям обеспечения долговременной сохранности необходимо отнести прежде всего:

- наличие зданий, позволяющих организовать долговременную сохранность;

- наличие средств хранения, соответствующих требованиям долговременной сохранности;
- наличие отопления;
- наличие вентиляции, соответствующей требованиям долговременного хранения;
- наличие нормальных санитарно-биологических условий хранения;
- наличие требуемых для долговременного хранения световых условий;
- наличие соответствующих климатических условий;
- наличие достаточного энергообеспечения.

Кроме этого, есть проблема с долговечностью носителей информации как бумажных [25, 26], так и цифровых [27, 28].

Если кратко резюмировать суть проблемы, то можно сделать следующие утверждения по срокам хранения различных носителей информации при соблюдении условий хранения:

- бумага из древесной целлюлозы – 150-300 лет;
- бумага из древесной массы – 50-100 лет;
- кино- и фотодокументы – 30-40 лет;
- цифровые носители информации (CD/DVD-диски, SSD- и HDD-диски, флэш-накопители, магнитные ленты) – 10-30 лет.

Выше приведены усредненные данные по наиболее часто встречающимся носителям информации. Не рассмотрены такие носители, как пергамент, папирус и, считающиеся перспективными, кварцевые цифровые носители по причине их малой распространенности, дороговизны или полного отсутствия в настоящее время.

Еще одной проблемой долговременной сохранности является проблема долговечности информационного слоя, формирующего документ на соответствующем носителе. Имеется в виду проблема с долговечностью красителей, магнитных, оптических, кино, фото и иных слоев, собственно представляющими содержание информации на соответствующих носителях.

Рассмотрим типовые негативные влияния разрушающих факторов ($Des = \{dd_i\}$), которые воздействуют на документы (носитель, красители и т.д.) при организации долговременного хранения (подробнее [7; 8; 29]).

- Воздействие света (dd_1). Например, при интенсивном воздействии солнечного света

документы, в зависимости от их типа, могут полностью выцветать за 50-200 часов.

- Воздействие температуры среды хранения (dd_2). Химические реакции старения бумаги и текстов (красителей) ускоряются в 2-3 раза при повышении температуры на 10°C.

- Воздействие воды (под воздействием понимается не только непосредственное воздействие, но и повышенная влажность воздуха) (dd_3). С точки зрения сохранности наиболее безопасным считается предел изменений относительной влажности воздуха в диапазоне 30-60-30%. В противном случае скорость разрушения документов увеличивается в 10-15 раз.

- Воздействие отсутствия вентиляции (dd_4). Вентиляция воздуха позволяет избегать образования закрытых застойных зон инерционного микроклимата в помещениях архива с повышенной опасностью биопоражения документов (в том числе и компакт дисков с органическим слоем).

- Воздействие «скученности» документов (dd_5). Даже при поддержании необходимого светового режима, а также режимов влажности, температуры, вентилируемости в помещениях, хранить документы необходимо с достаточной изоляцией для избегания образования закрытых застойных зон инерционного микроклимата в массе документов.

- Механическое воздействие (dd_6). Основные механические воздействия, согласно статистике [7, 8], происходят еще до передачи на долговременное хранение. Но возможны повреждения и при организации хранения, например, при выдаче документов из архива во временное пользование.

- Биологическое воздействие (плесень, насекомые, бактерии) (dd_7). Например, плесневое поражение становится возможным при температуре 10-40°C и относительной влажности выше 65-68%. Скорость роста поражения от 0,3 до 15 см в сутки в зависимости от влажности и температуры окружающей среды.

- Химическое воздействие среды хранения (dd_8). Зависит от химического состава воздуха. Например, скорость кислотной коррозии материалов в городских условиях в 2-10 раз выше, чем за городом из-за разницы в химическом составе окружающей среды.

Для электронных документов следует добавить влияние таких разрушающих факторов, как:

- Воздействие электромагнитных полей (dd_9).
- Потеря аутентичности (dd_{10}) из-за несанкционированного изменения документа.
- Неинтерпретируемость (невозможность интерпретировать последовательность бит, составляющих электронный документ) (dd_{11}), например, из-за отсутствия через продолжительное время программно-технических средств, позволяющих декодировать формат хранения документа.
- Воздействие изменений программно-аппаратной среды хранения (dd_{12}), приводящих к невозможности использовать документ.

Подробнее проблемы долговременной сохранности цифровых данных и электронных документов описаны в работе автора [24].

Кроме описанных выше проблем и рисков, возникающих при организации долговременного хранения, есть и проблемы внедрения технологии DT. Несмотря на актуальность задачи цифровизации, обозначенной в программе цифровой экономики [30], и констатации в ней важности таких направлений как AR, VR и IoT внедрение технологии DT вызывает сложности из-за высокой стоимости проектов, нехватку специалистов в данной предметной области, отсутствие нормативных документов, регламентирующих использование технологии.

Тем не менее, при организации долговременного хранения ценных и особо ценных документов нужно учитывать тот факт, что их потеря или повреждение могут обернуться колоссальными издержками: политическими, экономическими, имиджевыми. Это, в свою очередь, может привести к негативным последствиям и затратам, которые могут превысить затраты на создание программно-технических решений обеспечения долговременного хранения.

Сохранение ценных документов (электронных, бумажных и иных) – важная государственная задача, которая в условиях цифровизации должна решаться на качественно новом уровне.

Приведем постановку задачи организации долговременного хранения архивных документов с помощью технологий DT.

3. Долговременное хранение документов с помощью цифровых двойников. Формализация задачи

Перед тем, как перейти к формальной постановке задачи, введем ряд важных определений. *Долговременное хранение* – обеспечение сохранности документа в течение не менее 5 лет. *Сохранность* – свойство документа существовать в качестве доступного и аутентичного свидетельства (доказательства) в произвольный момент времени.

При переходе к цифровой экономике сроки хранения документов могут намного превосходить сроки функционирования программно-аппаратной среды их хранения. Так, например, документы по личному составу должны храниться 50 лет (до 2003 года – 75 лет). Особо ценные документы могут храниться еще дольше.

Сложность решения задачи организации долговременного хранения документов состоит в том, что при создании документа мало кто задумывается, что документ предстоит сохранять в течение длительного времени в неблагоприятной среде хранения. Среда хранения, в том числе и электронная, подвержена изменениям. Тем самым на документ влияет целый ряд неблагоприятных факторов, способствующих его разрушению или порче.

Дополнительным риском является то, что до передачи на долговременное хранение документ может храниться в ненадлежащих условиях и не сохранить свое первоначальное состояние сохранности.

В этой связи можно сформулировать задачу организации долговременного хранения как задачу стабилизации объекта хранения (документа) в условиях среды хранения, подверженной параметрическим возмущениям, нарушающим стабильность объекта хранения. Тогда задача организации долговременного хранения с помощью технологий DT относится к классу задач оптимального управления.

Цифровым двойником будем называть виртуальную копию объекта хранения, т.е. документа-оригинала, которая имеет связь с документом-оригиналом и позволяет моделировать процессы, происходящие в документе-оригинале. Цифровым двойником архива документов

будем называть виртуальную копию всего комплекса объектов и средств, обеспечивающих долговременное хранение всего множества документов-оригиналов в целом, в котором моделируются процессы, происходящие с реальными объектами и средствами, обеспечивающими долговременное хранение.

Цифровой двойник в этом плане отличается от цифровой копии, которая не имеет связи с реальным объектом-оригиналом.

Можно утверждать, что задачу обеспечения долговременной сохранности с помощью технологий DT можно классифицировать как задачу моделирования процесса долговременного хранения, в которой используются технологии AR, VR, IoT. Причем, от качества моделирования будет зависеть качество организации долговременного хранения. Тем самым предъявляются очень высокие требования к качеству моделирования и адекватности модели.

Тогда математическая постановка задачи может быть сформулирована в следующем виде.

Дано:

- Множество документов долговременного хранения $Doc = \{ d_i \}$.
- Множество типов документов долговременного хранения $Typ = \{ dt_i \}$.
- Множество требований к условиям хранения документов $Rul = \{ dr_i \}$.
- Множество реальных условий хранения документов $Con = \{ dc_i \}$.
- Множество разрушающих факторов (воздействий) на документы $Des = \{ dd_i \}$.

Подробнее типы документов $Typ = \{ dt_i \}$ и множества требований к условиям хранения $Rul = \{ dr_i \}$ определены в [6]. Формат данной статьи не позволяет привести их полностью.

Найти:

- Множество математических моделей контроля условий хранения $MCntl = \{ mc_i \}$.
- Множество моделей цифровых двойников $MDTwn = \{ md_i \}$.
- Множество способов и стратегий обеспечения долговременного хранения $MStg = \{ mst_i \}$.
- Множество моделей процессов, происходящих в хранящихся документах $MProc = \{ mp_i \}$.
- Множество технологических решений обеспечения долговременного хранения $MTech = \{ mth_i \}$.

- Множество показателей эффективности долговременного хранения $MQual = \{ mq_i \}$.

В дальнейших исследованиях предполагается найти решения поставленной задачи.

Заключение

Сохранение ценных документов (электронных, бумажных и иных) и цифровых данных – важная государственная задача, которая в условиях цифровизации должна решаться на качественно новом уровне. В статье отмечена важность этой задачи, перечислены риски в обеспечении сохранности документов, разрушающие факторы воздействия на документы различных типов, сделано предположение о возможности использования технологий цифровых двойников для обеспечения долговременной сохранности документов. Сформулирована постановка задачи обеспечения долговременной сохранности документов с помощью использования технологии цифровых двойников с использованием технологии цифровых двойников. Преимуществом использования технологии цифровых двойников при обеспечении долговременной сохранности является то, что задача обеспечения сохранности становится частью цифровой трансформации экономики и общества в целом и позволит защитить ключевые факторы производства цифровой экономики.

В перспективе планируется развить математический и алгоритмический аппарат для решения проблемы долговременной сохранности электронных документов с помощью технологий цифровых двойников, провести разработку математических моделей цифровых двойников документов и средств обеспечения сохранности, контроля условий хранения, процессов, происходящих в хранящихся документах. Планируется разработать систему показателей эффективности (качества) обеспечения сохранности, разработать множество технологических решений обеспечения долговременного хранения.

Литература

1. Mohamed, M. Challenges and benefits of industry 4.0: An overview // International Journal of Supply and Operations Management, 2018, № 5(3), pp.256-265.

2. Bai, Chunguang, et al. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective // *International journal of production economics*, 2020, № 229, 107776.
3. Bartodziej, C.J. The Concept Industry 4.0 // Springer Fachmedien Wiesbaden: Wiesbaden, Germany, 2017, pp.27–50.
4. Blobel, B. Application of industry 4.0 concept to health care // *Proceedings of the 17th International Conference on Wearable Micro and Nano Technologies for Personalized Health*, iOS Press: Amsterdam, Netherlands, 2020, Volume 273, p.23.
5. Schilz, A., Rehbein, M. Digitization of Cultural Heritage // *Handbook Industry 4.0: Law, Technology, Society*; Springer: Berlin, Heidelberg, 2022, pp.1193–1212.
6. Правила организации хранения, комплектования, учета и использования документов Архивного фонда Российской Федерации и других архивных документов в государственных и муниципальных архивах, музеях и библиотеках, научных организациях // Федеральное архивное агентство, 2022, URL: <https://archives.gov.ru/documents/rules/pravila-2020.shtml> (дата обращения 09.01.2024).
7. В.Ф. Привалов. Обеспечение сохранности архивных документов на бумажной основе: Методическое пособие. Росархив, ВНИИДАД, 2003, 112 с.
8. Crespo, C. The Preservation and Restoration of Paper Records and Books: A RAMP Study with Guidelines // *General Information Program and UNISIST, United Nations Educational 1984, Scientific and Cultural Organization*: Paris, France, 1984, p. 113.
9. Kirillov, D.S., Barchukova, T.A. Digital twins as the basis for the digital transformation of industrial enterprises // *Actual issues of economics and management*. Smolensk: Magenta, 2021, pp.161–164.
10. Botín-Sanabria, D.M., Mihaita, A.S.; Peimbert-García, R.E., Ramírez-Moreno, M.A., Ramírez-Mendoza, R.A., Lozoya-Santos, J.D.J. Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review // *Remote Sens*, 2022, №14, p.1335.
11. Wu, J., Yang, Y., Cheng, X.U.N., Zuo, H.; Cheng, Z. The development of digital twin technology review // *Proceedings of the 2020 Chinese Automation Congress (CAC)*, Shanghai, China, 6–8 November 2020.
12. Rudskoy, A.I. Digital industry based on digital twins // *Devices*, Moscow, 2021, № 3 (249), pp. 9–16.
13. Rozhok, A.P., Zykova, K.I., Sushev, S.P., Revetria, R. The use of digital twin digital twin in the industrial sector // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Innovative Technologies for Environmental Protection in the Modern World*, 2021, 012032.
14. Borovkov, A.I., Ryabov, Yu.A., Kukushkin, K.V., Maruseva, V.M., Kulemin, V.Yu. Digital twins and digital transformation of DIC enterprises // *Bulletin of the East Siberian Open Academy*, 2019, №32, pp.1–39.
15. Jiang, Y., Yin, S., Li, K., Luo, H.; Kaynak, O. Industrial applications of digital twins // *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 2021, 379, 20200360.
16. Deng, Tianhu, Keren Zhang, Zuo-Jun Max Shen. A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities // *Journal of Management Science and Engineering*, 2021, № 6 (2), pp.125–134.
17. Alamir, H.S., Zargaryan, E.V. The concept of building a digital city twin // *Information technologies, system analysis and management (ITSAU-2021)*. Collection of works of the XIX All-Russian scientific conference of young scientists, graduate students and students. Rostov-on-Don - Taganrog, 2021, pp.340–343.
18. Gorodishcheva, A.N., Kovalev, G.P., Gorodishchev, A.V. Modelling social processes as part of the smart digital twin paradigm // *Materials of the XXVI International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of the General Designer of Rocket and Space Systems Academician M.F. Reshetnev*. In 2 parts. Krasnoyarsk, 2022, pp. 209–211.
19. Valiev, V.S., Ivanov, D.V., Shamaev, D.E., Khasanov, R.R. Creation of digital twins within the digital transformations of environmental monitoring // *Russian Journal of Applied Ecology*, 2022, № 3(31), pp.29–33.
20. Tishchenko, A.A. Building a collateral portfolio management system from the point of view of the applicability of digital twin technology // *Management, economics and law: problems, research, results*. 2021, pp.212–217.
21. Vorobev, A.V., Pilipenko, V.A., Vorobeva, G.R., Khrisodulo, O.I. Development and application of problem-oriented digital twins for magnetic observatories and variation stations // *Information and Control Systems*, 2021, № 2 (111), pp.60–71.
22. Shohin Ahelerooff, Xun Xu, Ray Y. Zhong, Yuqian Lu. Digital Twin as a Service (DTaaS) in Industry 4.0: An Architecture Reference Model // *Advanced Engineering Informatics*, 2021, № 47(2), 101225. doi: 10.1016/j.aei.2020.101225.
23. Shohin Ahelerooff, Huiyue Huang, Xun Xu, Ray Y. Zhong. Toward sustainability and resilience with Industry 4.0 and Industry 5.0 // *Frontiers in Manufacturing Technology*, 2022, № 2. doi: 10.3389/fmtec.2022.951643.
24. Solovyev, A.V. Long-Term Digital Documents Storage Technology // *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2020, Vol. 641, pp.901–911. doi: 10.1007/978-3-030-39225-3_97.
25. Кудряев, В.А. и др. Организация работы с документами. М.: ИНФРА-М, 1999, 575 с. ISBN 5-86225-757-8.
26. Банасюкевич, В.Д., Устинов, В.А. Актуальные научные проблемы обеспечения сохранности архивных документов // *Отечественные архивы*, 2000, № 1, С. 10–18.
27. Шавырова, М.В., Грибков, Д.Н. Современные технологии обеспечения сохранности документов // *Электронное информационное пространство для науки, образования, культуры. Материалы VI всероссийской научно-практической конференции*. Научный редактор и составитель Д.Н. Грибков, 2019, С. 218–224.
28. Муродова, С.Н. Продолжается погоня за носителями данных сверхвысокой емкости, которые переживут наше время // *Современные технологии: актуальные вопросы теории и практики. Сборник статей II Международной научно-практической конференции*. Пенза, 2022, С. 36–38.
29. Привалов, В.Ф., Любомирова, О.И. Проблемы сохранения текстов документов, созданных с применением печатающих компьютерных устройств: Аналитический обзор. ВНИИДАД, 1996, 18 с.

30. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утверждена распоряжением Правительства

Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р. М.:2017 – 88 с.

Соловьев Александр Владимирович. Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН, Москва, Россия. Главный научный сотрудник, доктор технических наук. Область научных интересов: системный анализ, системы управления базами данных, теория надежности, математическое моделирование, долговременное хранение электронных документов. E-mail: soloviev@isa.ru

Digital Twins and the Task of Ensuring Long-Term Keeping of Documents

A. V. Solovyev

Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The article discusses the formulation of the problem of long-term keeping of documents and the use of digital twin technology. The problems and risks of ensuring the safety of documents, as well as the negative effects of destructive factors on stored documents, are considered. The problem of the safety of electronic documents is highlighted. An assumption is made about the possibility of using digital twin technologies to ensure long-term safety as part of the digital transformation of the economy and society. A formal formulation of the problem of ensuring long-term keeping of documents using digital twin technology is given. Prospects for further research to solve the problem are given.

Keywords: long-term keeping, safety problems, digital twins, digital transformation, electronic documents, destructive factors.

DOI 10.14357/20718632240402 **EDN** UEJFZA

References

1. Mohamed, M. 2018. Challenges and benefits of industry 4.0: An overview. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(3): 256-265.
2. Bai, Chunguang, et al. 2020. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*. 229: 107776.
3. Bartodziej, C.J. 2017. *The Concept Industry 4.0*; Springer Fachmedien Wiesbaden: Wiesbaden, Germany: 27–50.
4. Blobel, B. 2020. Application of industry 4.0 concept to health care. *Proceedings of the 17th International Conference on Wearable Micro and Nano Technologies for Personalized Health*, iOS Press: Amsterdam, Netherlands, 273: 23.
5. Schilz, A., Rehbein, M. 2022. Digitization of Cultural Heritage. *Handbook Industry 4.0: Law, Technology, Society*; Springer: Berlin, Heidelberg: 1193–1212.
6. Federal Archival Agency (ROSARCHIV). 2022. Rules for the Organization of Storage, Acquisition, Accounting and Use of Documents of the Archival Fund of the Russian Federation and Other Archival Documents in State and Municipal Archives, Museums and Libraries, Scientific Organizations. Available online: <https://archives.gov.ru/documents/rules/pravila-2020.shtml> (accessed 09.01.2024).
7. Privalov, V.F. 2003. *Privalov Preservation of Paper Based Archival Documents: A Toolkit*. Rosarchiv, VNIIDAD: Moscow, Russia: 112 p.
8. Crespo, C. 1984. *The Preservation and Restoration of Paper Records and Books: A RAMP Study with Guidelines*. General Information Program and UNISIST, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: 113 p.
9. D.S. Kirillov, D.S., Barchukova, T.A. 2021 Digital twins as the basis for the digital transformation of industrial enterprises. *Actual issues of economics and management*. Smolensk, Magenta: 161-164.
10. Botin-Sanabria, D.M., Mihaita, A.S.; Peimbert-García, R.E., Ramírez-Moreno, M.A., Ramírez-Mendoza, R.A., Lozoya-Santos, J.D.J. 2022. Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review. *Remote Sens*, 14: 1335.
11. Wu, J., Yang, Y., Cheng, X.U.N., Zuo, H.; Cheng, Z. 2020. The development of digital twin technology review // *Proceedings of the 2020 Chinese Automation Congress (CAC)*, Shanghai, China, 6–8 November 2020.
12. Rudskoy, A.I. 2021. Digital industry based on digital twins. *Devices*, 249: 9–16.
13. Rozhok, A.P., Zyкова, K.I., Sushev, S.P., Revetria, R. 2021. The use of digital twin digital twin in the industrial sector. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Innovative Technologies for Environmental Protection in the Modern World: 012032.
14. Borovkov, A.I., Ryabov, Y.A., Kukushkin, K.V., Maruseva, V.M., Kulemin, V.Y. 2019. Digital twins and digital

- transformation of DIC enterprises. Bulletin of the East Siberian Open Academy. Russian Academy of Natural Sciences: Krasnoyarsk, Russia: 1–39.
15. Jiang, Y., Yin, S., Li, K., Luo, H.; Kaynak, O. 2021. Industrial applications of digital twins. *Philos. Trans. R. Soc.* 379: 20200360.
 16. Deng, T., Keren, Z., Zuo-Jun, M.S. 2021. A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance towards smart cities. *J. Manag. Sci. Eng.* 6: 125–134.
 17. Alamir, H.S., Zargaryan, E.V. 2021. The concept of building a digital city twin. *Information Technologies, System Analysis and Management (ITSAU)*: 340–343.
 18. Gorodishcheva, A.N., Kovalev, G.P., Gorodishchev, A.V. 2022. Modelling social processes as part of the smart digital twin paradigm. *Materials of the XXVI International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of the General Designer of Rocket and Space Systems Academician M.F. Reshetnev*: 209–211.
 19. Valiev, V.S., Ivanov, D.V., Shamaev, D.E., Khasanov, R.R. 2022. Creation of digital twins within the digital transformations of environmental monitoring. *Russian Journal of Applied Ecology*, 3(31): 29–33.
 20. Tishchenko, A.A. 2021. Building a collateral portfolio management system from the point of view of the applicability of digital twin technology. *Management, economics and law: problems, research, results*: 212–217.
 21. Vorobev, A.V., Pilipenko, V.A., Vorobeva, G.R., Khristodulo, O.I. 2021. Development and application of problem-oriented digital twins for magnetic observatories and variation stations // *Information and Control Systems*, 2 (111): 60–71.
 22. Shohin Ahelerooff, Xun Xu, Ray Y. Zhong, Yuqian Lu. 2021. Digital Twin as a Service (DTaaS) in Industry 4.0: An Architecture Reference Model. *Advanced Engineering Informatics*, 47(2): 101225. doi: 10.1016/j.aei.2020.101225.
 23. Shohin Ahelerooff, Huiyue Huang, Xun Xu, Ray Y. Zhong. 2022. Toward sustainability and resilience with Industry 4.0 and Industry 5.0. *Frontiers in Manufacturing Technology*, 2. doi: 10.3389/fmtec.2022.951643.
 24. Solovyev, A.V. 2020. Long-Term Digital Documents Storage Technology. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 641: 901–911. doi: 10.1007/978-3-030-39225-3_97.
 25. Kudryaev, B.A., Galakhov V.V., Korneev I.K. et al. 1999. *Organization Work With Documents*. INFRA-M: Moscow, Russia, 575 p. ISBN 5-86225-757-8.
 26. Banasyukevich, B.D., Ustinov, V.A. 2000. *Actual Scientific Problems of Ensuring the Preservation of Archival Documents*. *Domest. Arch.* 1: 10–18.
 27. Shavyrova, M.V., Gribkov, D.N. 2019. Modern technologies for ensuring the safety of documents. *Electronic Information Space for Science, Education, Culture, Proceedings of the Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference*: 218–224.
 28. Murodov, S.N. 2022. The race continues for ultra-high-capacity storage media that will outlive our time. *Modern Technologies: Topical Issues of Theory and Practice, Proceedings of the Collection of Articles of the II International Scientific and Practical Conference*: 36–38.
 29. Privalov, V.F., Lubomirov, O.I. 1996. Problems of saving texts of documents created using printing computer devices: Analytical review. *VNIIDAD*, 18 p.
 30. The Government of the Russian Federation. 2017. PROGRAM “Digital Economy of the Russian Federation” approved by the order of at July 28, 2017. № 1632-r: 88.

Solovyev Alexandr V. Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences. Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 44/2 Vavilova str., Moscow, 119333, Russia. E-mail: soloviev@isa.ru