

**Л.И. Баранов, А.Н. Царев, Ф.С. Торубаров, А.С. Кретов, В.В. Петрова, А.В. Васильев, С.М. Думанский, О.А. Тихонова, Т.М. Буланова, М.В. Калинина, П.А. Шулепов, И. Дибиргаджиев, А.С. Самойлов**

## ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК РАБОТНИКА ОБЪЕКТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭТАПЕ ПРЕДСМЕННОГО КОНТРОЛЯ

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Леонид Иванович Баранов, e-mail: lbaranov@fmbcfmba.ru

### РЕФЕРАТ

Введение. Цифровой двойник. Цифровой двойник в медицине на примере компании Philips. Цифровой двойник как объект медицинского информационного пространства. Цифровой двойник как абстракция. Цифровой двойник работника объекта использования атомной энергии на этапе предсменного контроля. Заключение.

**Ключевые слова:** *рабочник объекта использования атомной энергии, цифровой двойник, предсменный контроль, информационное медицинское пространство, абстракция*

**Для цитирования:** Баранов Л.И., Царев А.Н., Торубаров Ф.С., Кретов А.С., Петрова В.В., Васильев А.В., Думанский С.М., Тихонова О.А., Буланова Т.М., Калинина М.В., Шулепов П.А., Дибиргаджиев И., Самойлов А.С. Цифровой двойник работника объекта использования атомной энергии на этапе предсменного контроля // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2024. Т. 69. № 1. С. 33–40. DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-1-33-40

DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-1-33-40

**L.I. Baranov, A.N.Tsarev, F.S. Torubarov, A.S. Kretov, V.V. Petrova, E.Vasilyev, S.M. Dumansky, O.A. Tikhonova, T.M. Bulanova, M.V. Kalinina, P.A. Shulepov, I. Dibirgadzhiyev, A.S. Samoilov**

## Digital Twin of Worker of Nuclear Facility at the Stage of Pre-Shift Control

A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: L.I. Baranov, e-mail: lbaranov@fmbcfmba.ru

### АБСТРАКТ

Introduction. Digital twin. Digital twin in medicine using the example of Philips. Digital twin as an object of medical information space. Digital twin as an abstraction. Digital twin of worker of nuclear facility at the stage of pre-shift control. Conclusion.

**Keywords:** *worker of nuclear facility, digital twin, pre-shift control, medical information space, abstraction*

**For citation:** Baranov LI, Tsarev AN, Torubarov FS, Kretov AS, Petrova VV, Vasilyev EV, Dumansky SM, Tikhonova OA, Bulanova TM, Kalinina MV, Shulepov PA, Dibirgadzhiyev I, Samoilov AS. Digital Twin of Worker of Nuclear Facility at the Stage of Pre-Shift Control. Medical Radiology and Radiation Safety. 2024;69(1):33–40. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-1-33-40

### Введение

В настоящее время условия труда персонала предприятий атомной энергии предполагают высокую степень ответственности и связаны со значительными психическими нагрузками, в связи с чем особое внимание должно быть уделено функциональному состоянию центральной нервной системы. Соответственно, обеспечение радиационной безопасности объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), является приоритетной задачей не только специалистов Госкорпорации «Росатом», но и медицинских организаций, сопровождающих эти предприятия. Для обеспечения профессиональной надёжности с точки зрения человеческого фактора, для отдельных категорий работников, получающих разрешение на право работ в области использования атомной энергии, Федеральным законом ФЗ-35 от 8 марта 2011 г. предусмотрено проведение обязательных медицинских осмотров и психофизиологических обследований в медицинских организациях, подведомственных ФМБА России. В отношении оперативного персонала ОИАЭ (определенного в соответствии с приложением № 4 к приказу Минздрава России от 28.07.2020 № 749н), в целях выявления состояний и заболеваний, препят-

ствующих выполнению трудовых обязанностей, признаков воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов, в том числе алкогольного, наркотического или иного токсического опьянения и остаточных явлений такого опьянения, проводятся предсменные медицинские осмотры и психофизиологические обследования.

Для оптимизации процесса проведения процедуры предсменного контроля в медицинских организациях ФМБА России внедрена автоматизированная система медицинских осмотров и психофизиологических обследований ЭСМО. Использование указанной системы создает условия для сбора и накопления показателей функционального состояния работников ОИАЭ в виде цифровых данных, что, в свою очередь, позволяет рассмотреть этот процесс с точки зрения современных подходов, связанных с цифровизацией и, в частности, с концепцией цифровых двойников.

Цифровой двойник (ЦД), появившийся в промышленности как концепция и для представления промышленных объектов, все чаще упоминается в области медицины и здравоохранения, принимая вид рабочего инструмента.

Несмотря на большую популярность ЦД, а также достаточно продолжительное время развития (авторство концепции ЦД в большинстве случаев связывают с Майклом Гривсом, который датирует отправную точку 2002/03 г. [1, 2]), в 2021 г. даже сам автор отмечал, что «мы находимся на концептуальной стадии цифровых двойников» [3]. Отчасти это может быть связано с тем, что при всей кажущейся простоте предложенной концепции, обилие нюансов, сопровождающее реализацию «двойника» в цифровом или реальном пространстве заставляет уточнять определение нового понятия с учетом специфики применения и масштаба каждой отдельной решаемой с его помощью задачи. Тем не менее, различные официально принятые определения ЦД, выдвинутые крупными консорциумами или предлагаемые в рамках государственных стандартов, в своей основе по-прежнему опираются на первоначальную концепцию, что может свидетельствовать о едином подходе, продиктованном сходным общим представлением о ЦД.

Ранее, новизна концепции ЦД определялась новыми возможностями, предоставляемыми использованием рождающегося виртуального пространства как технологической платформы визуального и поведенческого представления объектов реального мира, которые уже существовали или должны были появиться в результате реализации человеческих замыслов. В настоящее время, когда виртуальное пространство стало частью современной жизни, концепция ЦД может быть использована не только для создания новых ЦД, но и для того, чтобы интерпретировать ранее существующие надежные, хорошо зарекомендовавшие себя методы, с целью как адаптации апробированных методик к современным реалиям, так и поиска новых современных подходов к решению существующих проблем.

### Цифровой двойник

В настоящее время процесс формирования понятия ЦД продолжается. С одной стороны, ЦД стал популярным термином, с другой, – не изжил черты так называемого предтермина [4]. Как отмечалось выше, ЦД в настоящее время имеет множественные определения, как общего характера, так и с учетом специфики применения, однако первоначальная концепция, остающаяся

уже более 20 лет практически неизменной, по-прежнему является для них универсальной основой. Учитывая то, что сам автор к настоящему времени не изменил своего отношения ни к концепции, ни к собственным определению и классификации ЦД, данная работа построена целиком на предложенном им подходе как устоявшейся и последовательно продолжающей свое развитие системе. Необходимо отметить, что ЦД в рамках подхода М. Гривса изначально был предназначен для описания жизненного цикла промышленного продукта, однако, как будет показано ниже, это не влияет на его применение и в других областях. Приведем краткое описание ЦД по материалам работ [1–3, 5].

### Концепция ЦД

Первоначально модель ЦД была представлена в виде концепции «виртуального, цифрового эквивалента физическому продукту или цифровому двойнику», которая «состоит из трех основных частей: а) физические продукты в реальном пространстве, б) виртуальные продукты в виртуальном пространстве и в) соединения данных и информации, которые связывает виртуальные и реальные продукты вместе» [1].

Данная концепция не имела названия и была представлена как «идеальная» для управления жизненным циклом продукта. Название «цифровой близнец» она получила в 2010 г. в НАСА. В работе [2] описание концепции подверглось небольшим изменениям, что придало ей более общий вид: «Модель цифрового близнеца – это концепция, которая, как показано на рис. 1, состоит из трех основных элементов: фактического или предполагаемого физического элемента на левой стороне, который в настоящее время существует или будет существовать в физическом мире («Физический близнец»), виртуального или цифрового аналога на правой стороне, который существует в виртуальном или цифровом мире («Цифровой близнец»), и канала передачи данных и информации между этими двумя элементами («Цифровая нить»).

### Определение ЦД

В работе [5] приводится определение ЦД. Цифровой двойник (Digital Twin, DT) представляет собой



Рис. 1 Модель цифрового близнеца [2]  
Fig. 1. The digital twin model [2]

набор виртуальных информационных конструкций, которые полностью описывают потенциальный или фактический физический произведенный продукт от микроатомного уровня до макрографометрического. В оптимальном случае любая информация, которую можно было бы получить при проверке физического изготовленного продукта, может быть получена от его цифрового двойника.

#### Типы ЦД

В 2016 г. высокоуровневая недифференцированная модель, представленная выше, была разделена на типы:

- Прототип цифрового близнеца (Digital Twin Prototype, DTP) – прототип продукта с вариантами или всех продуктов, которые могут быть созданы.
- Экземпляр цифрового близнеца (Digital Twin Instance, DTI) – сами отдельные продукты или все продукты, которые появились.
- Агрегат цифровых близнецов (Digital Twin Instance, DTA), совокупность всех DTI или всех продуктов, которые были созданы.

В работе [5] типы были кратко обозначены следующим образом:

Прототип ЦД (DTP). Этот тип цифрового двойника описывает прототип физического артефакта. Он содержит наборы информации, необходимые для описания и создания физической версии, которая дублирует виртуальную версию. Эти информационные наборы включают, но не ограничиваются ими, требования, полностью аннотированную 3D-модель, спецификацию материалов (со спецификациями материалов), спецификацию процессов, спецификацию услуг и спецификацию утилизации.

Экземпляр цифрового близнеца (DTI). Этот тип цифрового двойника описывает конкретный соответствующий физический продукт, с которым индивидуальный цифровой двойник остается связанным на протяжении всего срока службы этого физического продукта. В зависимости от требуемых вариантов использования этот тип цифрового двойника может содержать, но опять же не ограничивается, следующим набором информации: Полностью аннотированная 3D-модель с общим определением размеров и допусков [...], спецификация процесса, где перечислены операции, которые были выполнены при создании этого физического экземпляра, наряду с результатами любых измерений и тестов на экземпляре, сервисной записью, описывающей выполненное в прошлом обслуживание и замененные компоненты, а также рабочие состояния, полученные на основе фактических данных датчиков, текущих, прошлых фактических и прогнозируемых на будущее.

Агрегат цифровых двойников (DTA). Этот тип цифрового двойника представляет собой совокупность всех экземпляров цифрового двойника. В отличие от DTI, данные могут не представлять собой независимую структуру данных. Это может быть вычислительная конструкция, которая имеет доступ ко всем экземплярам и запрашивает их либо разово, либо проактивно. В инициативном порядке DTA может постоянно проверять показания датчиков и соотносить эти показания датчиков со сбоями, чтобы обеспечить возможность прогнозирования.

Кроме типов, еще было введено понятие пространства цифрового двойника (Digital Twin Environment, DTE) – это интегрированное многодоменное пространство физических приложений для работы с цифровыми двойниками для различных целей. Или, например, по определению [6] «логическая среда, в которой программ-

ные и иногда аппаратные компоненты взаимодействуют для моделирования всей системы или подсистемы».

#### Цифровой двойник в медицине на примере решения компании Philips

Как было отмечено выше, ЦД предназначались в первую очередь для использования в сфере промышленного производства и, в частности, для управления жизненным циклом продукта (создание, производство, эксплуатация/поддержка, ликвидация). Однако развитие информационного пространства, способствующее расширению популярности и использования виртуальных продуктов и конструкций, не могло не привлечь внимания специалистов других сфер деятельности. Так, например, в 2018 г. в блоге компании Philips под заголовком «Возникновение цифрового двойника: какую пользу может получить здравоохранение?», на тот момент, технический директор Хенк ван Хутен (Henk van Houten) задается вопросом «Если цифровые близнецы предлагают так много возможностей для поддержания работоспособности физических систем и устройств, можем ли мы применить ту же концепцию к людям?» [7]. Спустя три месяца в следующей работе он рассказывает о построении ЦД сердца [8].

Приведенный Хенк ван Хутеном пример построения ЦД [8] основан на HeartModel, созданной к 2015 г. HeartModel – клиническое приложение, которое позволяет кардиологам оценивать несколько функций сердца, имеющих отношение к диагностике и лечению пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Оно автоматически генерирует 3D-изображения левых камер сердца пациента на основе набора 2D-ультразвуковых изображений. HeartModel также вычисляет, насколько хорошо сердце прокачивает кровь, что является важным показателем возможной сердечной недостаточности. В основе работы HeartModel – модель сердца, отражающая общие знания о структурном устройстве сердца, об изменении его расположения и форме. Модель была построена на основе обучения на примерно тысяче ультразвуковых изображений. На основе изображений сердца конкретного пациента, HeartModel преобразует общую модель в персональную (рис. 2).



Рис. 2 Как HeartModel создает персонализированную модель вашего сердца [8]  
Fig. 2. How HeartModel creates a personalized model your heart [8]

По мнению автора, сила этого подхода в том, что он сочетает научно подтвержденные знания анатомии сердца с передовым анализом данных.

В блоге Philips представлен несолько иной подход к построению ЦД, который отражает специфику медицины. Построение ЦД для промышленности основывается на результатах конструкционного подхода для создания продукта, аналогов которого, в отдельных случаях, может не существовать. В описываемом же примере построения ЦД сердца, основой является «научно подтвержденные знания анатомии сердца с передовым анализом данных», то есть для решения медицинских задач, прототип ЦД строится в первую очередь на ранее сформированном научно-обоснованном подходе к решению аналогичных медицинских задач.

Тем не менее, предложенные ранее типы ЦД (DTP, DTI) остаются по-прежнему актуальными. Если рассмотреть пример построения ЦД сердца с точки зрения представленных выше типов ЦД, то DTP в данном случае будет цифровая модель сердца, которая содержит предварительные знания о его общем структурном устройстве, а DTI – построенная на ее базе отдельная персонализированная модель, отражающая реальный орган конкретного пациента.

Медицинская специфика также будет проявляться в том, что массовое распространение и интенсивное использование ЦД может привести к тому, что DTP, совершенствование которого непосредственно связано с развитием DTA, может со временем утратить свою самостоятельность и будет привязанным к фиксированной версии DTA.

Несмотря на то, что в блоге Philips приводится частный пример и упоминаются только фирменные решения, приведенные в указанных записях рассуждения носят достаточно общий характер, чтобы считать подход компании показательным.

Интервал между записями в блоге составляет всего три месяца. Конечно же, за такой короткий срок разработать и применить передовую технологию практически невозможно. Собственно и в записи указывается на запуск основного технического решения, лежащего в основе последующего процесса создания ЦД, тремя годами раньше – 2015 г. (а, в свою очередь, её разработка относит стартовую позицию еще на более ранний рубеж). Таким образом, этот пример становится показательным еще и за счет того, что хорошо иллюстрирует тот факт, что ЦД это не только нечто искусственно синтезированное и адаптированное для практического использования, но и результат новых возможностей и явлений, возникающих по мере расширения цифровизации общества на всех уровнях и, в частности, в медицине.

### Цифровой двойник как объект медицинского информационного пространства

В публикациях о ЦД обычно основное внимание уделено проблемам, касающимся их формирования, и очень редко обсуждается среда их существования. В сфере промышленности это вполне объяснимо – ЦД создаются и хранятся в соответствующих информационных системах, предназначенных для поддержки выпуска новой продукции. Но как описать пространство для ЦД, если этот ЦД относится к человеку? Несложно предположить, что в таком случае необходимо принимать во внимание не только технические аспекты, но и правила и ограничения, свойственные общественным отношениям. С другой стороны, встает проблема характеристики ЦД с учетом того, что создать абсолютно эквивалентную цифровую модель человека (по край-

ней мере в настоящее время) невозможно, к тому же это может не представлять необходимости с учетом специфики решаемых задач.

В примере из блога компании Philips, запись, посвященная созданию ЦД сердца человека, начинается с предположения: «Возможно, самая захватывающая часть цифровизации здравоохранения – это не цифровизация как таковая. Скорее, это соединение физического мира людей и объектов с виртуальным миром цифровой информации». И это единственное упоминание о «мире виртуального», хотя от уровня его совершенства напрямую будет зависеть степень плотности соединения с реальным, а цифровизация в своем развитии и создает «виртуальный мир цифровой информации».

Несмотря на то, что понятие «виртуальный» получило широкое распространение, с точки зрения лингвистики оно само объект исследований и является «полисемантическим, десемантизованным, содержащим в себе противоположные группы значений» [9]. «Виртуальный» может использоваться и в значении «действительный» и в значении «мнимый». Кроме того, это понятие не отражает технической сути явления. В связи с этим в дальнейшем изложении перейдем к официально представленной терминологии.

Приведем следующие официальные определения:

- информация – сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления [10];
- информационные технологии – процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов [10];
- информационный объект – совокупность данных и программного кода, обладающая свойствами (атрибутами) и методами, позволяющими определенным образом обрабатывать данные. Самостоятельная единица применения и хранения в ИИС [11];
- информационное пространство – совокупность информационных ресурсов, созданных субъектами информационной сферы, средств взаимодействия таких субъектов, их информационных систем и необходимой информационной инфраструктуры [12];
- информационный ресурс – информация, источник информации либо информационная система, содержащие различные сведения, в том числе обновляемые [13] (данное определение предложено в [13] на основании представленного анализа различных источников, поскольку «легальная дефиниция [...] отсутствует»).

В рамках этих определений ЦД – информационный объект или информационный ресурс информационного пространства, полученный в результате анализа и преобразования информации на основе использования информационных ресурсов, а также применения информационных технологий.

Из определения информационного пространства видно, что оно масштабируется в широких пределах и, несколько упрощая, может быть физически представлено как одним компьютером, так и, например, всей сетью Интернет в целом. Именно возможность повсеместного присутствия информационного пространства в совокупности с средствами доступа и хранения превращает персональные наборы данных в полноценные ЦД, когда цифровые копии реальных объектов и явлений становятся доступными как информационные объекты или информационные ресурсы, которые могут поддерживать двустороннюю связь с оригиналами вне зависимости от расстояния или времени.

Дополнительно необходимо отметить следующее: область медицины накладывает особые требования для доступа к персональным данным пациента, к которым, несомненно, относится ЦД как носитель персональных данных человека. Соответственно, учитывая требование [14] «обработка персональных данных в информационных системах в сфере здравоохранения осуществляется с соблюдением требований, установленных законодательством Российской Федерации в области персональных данных, и соблюдением врачебной тайны», а также, что согласно [15] «субъекты критической информационной инфраструктуры – государственные органы, государственные учреждения, российские юридические лица и (или) индивидуальные предприниматели, которым на праве собственности, аренды или на ином законном основании принадлежат информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления, функционирующие в сфере здравоохранения [..]» информационное пространство для ЦД медицинского назначения должно иметь специфические черты организации, удовлетворяющие всем требованиям законодательства и представлять собой особый вид – «медицинское информационное пространство».

### Цифровой двойник как абстракция

Важным свойством ЦД является свойство воплощения реальных объектов в виде неограниченного количества абстракций, каждая из которых представляет только те черты прототипа (оригинала), которые важны для конкретных целей. При этом количество ЦД ограничено только необходимостью их применения.

Под «абстракцией» здесь подразумевается следствие сразу трех определений:

- Абстракция – сокращенное по длительности или степени без потери смысла понятие, используемое для дифференциации между реальной системой и моделью реальной системы [16].
- Абстракция – процесс отсечения единичного, случайного или несущественного для последующих шагов работы [17].
- Абстракция выделяет существенные характеристики некоторого объекта, отличающие его от всех других видов объектов, и таким образом четко описывает его концептуальные границы с точки зрения наблюдателя [18].

Из потенциальных возможностей применения абстракций, воплощаемых в информационных объектах и ресурсах, следует весьма ценное свойство ЦД с точки зрения использования для нужд медицины: возможности персонализации обобщенных искусственно созданных моделей. Так, в [8] на примере сердца показана представляемая ЦД возможность перехода от искусственно созданной общей анатомической модели, основанной на популяционных данных, к персональной, отражающей уникальные характеристики. Кроме того, информационный объект представляет собой абстракцию реального органа (сердца), не только в силу того, что он создан для его отражения только как «насоса, питающего жизнь» (точнее, модель предназначена для измерения объемов, обычно наблюдаемых в клинической практике и адаптируема к индивидуальным особенностям без наличия выраженных структурных изменений [19]), хотя для целей использования такого ЦД, представленных в статье, этого вполне достаточно, но и как отдельного автономного объекта, который в природе не существует.

Еще одной сильной стороной таких абстракций является то, что они, в частности, представляя из себя ло-

гически связанный набор показателей, описывающих реальный объект только с интересующей точки зрения (на определенном уровне абстракции), будучи объектами информационного пространства, могут представлять собой эквивалент прототипа в информационном пространстве.

Подобные объекты могут быть очень полезны, например, для описания состояния здоровья для выявления соответствия (несоответствия) нормативам профессионально значимых психологических и психофизиологических характеристик.

### Цифровой двойник работника объекта использования атомной энергии на этапе предсменного контроля состояния здоровья

Специфика работы на объектах использования атомной энергии не только предъявляет особые требования к здоровью работников, но и предполагает постоянный контроль за его состоянием. Объем показателей здоровья, подлежащих контролю, и периодичность проверок определены набором соответствующих документов. Процедура контроля утверждена приказами Минздрава России [21, 22], а требования к реализации методик обследования описаны в методических указаниях [20].

Если рассмотреть данные регламенты как основу построения ЦД, то, по аналогии с вышеупомянутым примером, можно найти очень много общих мест. Для определенности будем рассматривать только участок предсменного контроля здоровья как отдельный этап трудового процесса. На этом этапе сотрудник рассматривается только с точки зрения индивидуального состояния здоровья, которое в свою очередь характеризуется установленным набором параметров, удовлетворяющих принятым нормативам. Нормативы являются средними значениями для популяции. Значения для установленного набора параметров получают при помощи медицинских изделий, предназначенных для проведения медицинских исследований состояния организма человека. Результаты предсменного медицинского осмотра заносятся в информационную систему (банк данных [20]).

Рассмотрим последовательно процесс прохождения этапа предсменного контроля с точки зрения концепции, определения и соответствия типам ЦД, описанных выше. Для последовательности изложение «виртуальное пространство» будет рассматриваться как «информационное пространство», а, соответственно, «виртуальный объект» в данном случае – как «информационный ресурс».

#### Концепция ЦД

I. Фактический или предполагаемый физический элемент, который в настоящее время существует или будет существовать в физическом мире («физический близнец»).

«Фактическим элементом физического мира» в данном случае является работник ОИАЭ, проходящий предсменный осмотр.

II. Виртуальный или цифровой аналог, который существует в виртуальном или цифровом мире («цифровой близнец»).

Как уже было отмечено, в рамках данного обсуждения рассматривается процедура определения годности к выполнению ежедневных трудовых обязанностей таких работников. Эта процедура четко регламентирована соответствующими документами, которые практически устанавливают уровень абстракции описания каждого работника, представляющего собой на данном участке производства носителя определенного набора параметров. Совокупность представленных в наборе парамет-

тров его полностью описывает. Такой подход, будучи необходимым для отображения реального объекта в информационное пространство, полностью обусловлен особенностями реального пространства: дать необходимую объективную оценку в ограниченный период времени, то есть построение ЦД происходит в соответствии с обычным порядком, свойственным реальному пространству.

Согласно методическим указаниям, «данные медицинских и психофизиологических обследований работников объектов использования атомной энергии сохраняются в банке данных лечебных учреждений и психофизиологических лабораторий». Таким образом, документом предусмотрен перенос данных работников ОИАЭ в информационное пространство. Заметим, что определение информационного пространства не содержит никаких количественных характеристик, сосредотачивая внимание на его основных составляющих. Соответственно, даже единственный компьютер, используемый для проведения процедуры психофизиологического обследования, используемый также для хранения банка данных предсменного контроля, может быть рассмотрен как инфраструктурный объект локального информационного пространства. Современные же решения, получившие широкое распространение (например, система «ЭСМО»), используя инфраструктуру связи глобальных масштабов, являются уже частями глобального информационного пространства.

Таким образом, виртуальным или цифровым аналогом будет определенный, строго периодично пополняемый набор однородных цифровых записей, взаимно однозначно соотносимый с конкретным работниками, прошедшим контрольные обследования.

III. Канал передачи данных и информации между этими двумя элементами («цифровая нить»).

Канал передачи данных носит комбинированный характер и состоит комплекса медицинских изделий, предназначенных для проведения медицинских исследований состояния организма человека, средств передачи информации и банка данных цифровых записей.

#### Определение ЦД

ЦД, описанный выше в виде концепции, будет полностью соответствовать определению, предложен-

ному автором концепции (см. выше), с учетом уровня абстракции рассматриваемого явления. На принятом уровне абстракции (набор параметров, установленный руководящими документами, с которым сопоставлены периодически обновляемые данные, получаемые в момент присутствия их физического носителя) ЦД будет представлять информационный объект (т.к. банк данных – автоматизированное хранилище информации, включает базу данных (БД) и программную систему управления базами данных [17]) медицинского информационного пространства, который будет связан со своим физическим прототипом цифровыми нитями все время, которое отведено на контакт.

#### Замечание к определению ЦД

Несмотря на то, что концепция ЦД развивается уже почти 20 лет и находит все больше применений, с ней связанные устойчивые понятия, и собственно само определение ЦД появились относительно недавно. Формулировки, представленные авторитетными представителями промышленности или закрепленные в государственных стандартах, относятся к концу 2020 г. – середине 2021 г. Однако большинство из них изначально не являются универсальными, при том что, как было отмечено выше, мы по-прежнему находимся на уровне концепции. В связи с этим есть некоторые различия по поводу определений. В [4] освещая эту проблему, графически представили границы понятия ЦД в публикациях (рис. 3).

Как видно из рисунка, есть два основных подхода – представление в виде модели и представление в виде копии. По мнению авторов, обозначение «копия» подходит наилучшим образом. Если рассматривать с этих позиций ЦД, представленный Philips, то это более «модель, способная прогнозировать поведение физического двойника», к ЦД же предсменного осмотра более подходит определение «цифровая копия объекта». Однако на уровне концепции различия практически исчезают.

#### Типы ЦД

Если рассматривать ЦД работника ОИАЭ на этапе предсменного контроля с точки зрения типов, то DTP – это набор параметров, определенных руководящими документами; DTI – объект хранения банка данных,



Рис. 3. Границы понятия «цифровой двойник» в современных публикациях [23]

Fig. 3 The boundaries of the concept of «digital twin» in modern publications [23]

связанных с конкретным работником; DTA – может быть рассмотрен в виде нормативных значений, поскольку эти значения, будучи средними для популяции, практически определяют «нормального работника»; DTE – медицинское информационное пространство.

Таким образом, можно утверждать, что в результате организации процедуры предсменных осмотров работником объектов атомной энергии возникают их цифровые двойники. Причем, будучи объектами медицинского информационного пространства, они могут быть использованы и в других целях как в режиме online, так и в виде пассивных цифровых копий.

## Заключение

По мере углубления процессов цифровизации и роста числа новых возможностей, связанных с применением соответствующих технологий, некоторые апробированные методики, не теряя своей актуальности, не только получают новое прочтение, но и становятся источниками качественно новых результатов. Цифровые двойники, предложенные первоначально для контроля жизненного цикла продукта как концепция, становятся все более востребованным способом описания взаимодействия с информационным пространством и представляют средство решения реальных проблем в более комфортных цифровых условиях.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication // Researchgate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/275211047\\_Digital\\_Twin\\_Manufacturing\\_Excellence\\_through\\_Virtual\\_Factory\\_Replication](https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication). (Available 13.09.2022).
2. Grieves M. Intelligent Digital Twins and the Development and Management of Complex Systems [version 1; peer review: 4 approved]. URL: <https://digitaltwin1.org/articles/2-8>. (Available 07.08.2023).
3. Gonzalez C.M. 6 Questions with Michael Grieves on the Future of Digital Twins URL: <https://www.asme.org/topics-resources/content/6-question-with-michael-grieves-on-the-future-of-digital-twins>. (Available 06.07.2023).
4. Прохоров А., Лысачев М. Боровков А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Корпоративное издание РОСАТОМ. М.: ООО «АльянсПринт», 2020. 401 с.
5. Grieves M. Origins of the Digital Twin Concept. URL: [https://www.researchgate.net/publication/307509727\\_Origins\\_of\\_the\\_Digital\\_Twin\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept). (Дата обращения: 06.07.2023). DOI:10.13140/RG.2.2.26367.61609.
6. URL: <https://www.redhat.com/en/resources/understanding-digital-twin-environments-detail>. (Дата обращения: 10.08.2023).
7. URL: <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/blogs/innovation-matters/20180830-the-rise-of-the-digital-twin-how-healthcare-can-benefit.html>. (Дата обращения:11.07.2023).
8. URL: <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/blogs/innovation-matters/20181112-how-a-virtual-heart-could-save-your-real-one.html>. (Дата обращения:11.07.2023).
9. Зудилина Н.В. О некоторых причинах существования “платоновских” (“действительный”, “мнимый”) и “аристотелевских” (“возможный”, “эффективный”) значений, в которых выражен смысл слова “virtual” в русском языке // Вестник Московского университета. Серия 22. Теория перевода. 2019. № 3.
10. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ.
11. ГОСТ 33707-2016. (ISO/IEC 2382:2015) Информационные технологии (ИТ). Словарь.
12. О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы: Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203.
13. Что понимается под информационным ресурсом? // СПС Консультант+. Актуально на 10.08.2023.
14. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации: Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ (ред. от 24.07.2023).
15. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: Федеральный закон от 26.07.2017 N 187-ФЗ (ред. от 10.07.2023).
16. ГОСТ Р 54136-2010. Системы промышленной автоматизации и интеграция: Руководство по применению стандартов, структура и словарь.
17. Терминологический словарь автоматизации строительства и производственных процессов. DOI 10.34660/c0727-6092-6372-a. Электронный ресурс: <http://slovar-avt.ru/> (Дата обращения: 02.08.2023).
18. Буч Г., Максимчук Р.А., Энгл М.У., Янг Б.Дж., Коналлен Д., Хьюстон К.А. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / Пер. с англ. М.: ООО И.Д. Вильяме, 2008. 720 с.
19. HeartModelA.I. Removing the complexity of Live 3D Quantification. Электронный ресурс: [https://www.philips.com/c-dam/b2bhc/master/feature-details/aius/452299111691\\_heart-model\\_whitepaper\\_lr.pdf](https://www.philips.com/c-dam/b2bhc/master/feature-details/aius/452299111691_heart-model_whitepaper_lr.pdf). (Дата обращения: 17.08.2023).
20. Методические указания по проведению медицинских осмотров и психофизиологических обследований работников объектов использования атомной энергии. М., 1998. 28 с.
21. Об утверждении требований к проведению медицинских осмотров и психофизиологических обследований работников объектов использования атомной энергии, порядка их проведения, перечня медицинских противопоказаний для выдачи разрешения на выполнение определенных видов деятельности в области использования атомной энергии и перечня должностей работников объектов использования атомной энергии, на которые распространяются данные противопоказания, а также формы медицинского заключения о наличии (отсутствии) медицинских противопоказаний для выдачи разрешения на выполнение определенных видов деятельности в области использования атомной энергии: Приказ Минздрава России от 28.07.2020 № 749н.
22. Об утверждении порядка и периодичности проведения предсменных, предрейсовых, послесменных, послерейсовых медицинских осмотров, медицинских осмотров в течение рабочего дня (смены) и перечня включаемых в них исследований: Приказ Минздрава России от 30 мая 2023 г. № 266н.

## REFERENCES

1. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. Researchgate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/275211047\\_Digital\\_Twin\\_Manufacturing\\_Excellence\\_through\\_Virtual\\_Factory\\_Replication](https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication). (Available 13.09.2022).
2. Grieves M. Intelligent Digital Twins and the Development and Management of Complex Systems [version 1; peer review: 4 approved]. URL: <https://digitaltwin1.org/articles/2-8>. (Available 07.08.2023).
3. Gonzalez C.M. 6 Questions with Michael Grieves on the Future of Digital Twins URL: <https://www.asme.org/topics-resources/content/6-question-with-michael-grieves-on-the-future-of-digital-twins>. (Available 06.07.2023).
4. Prokhorov A., Lysachev M. Borovkov A. *Tsifrovoy Dvoynik. Analiz, Trendy, Mirovoy Opyt. Korporativnoye Izdaniye ROSATOM = Digital Twin. Analysis, Trends, World Experience. Corporate publication ROSATOM. Moscow Publ.*, 2020. 401 p. (In Russ.).

5. Grieves M. Origins of the Digital Twin Concept. URL: [https://www.researchgate.net/publication/307509727\\_Origins\\_of\\_the\\_Digital\\_Twin\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept). (Available 06.07.2023). DOI:10.13140/RG.2.2.26367.61609.
6. URL: <https://www.redhat.com/en/resources/understanding-digital-twin-environments-detail>. (Available: 10.08.2023).
7. URL: <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/blogs/innovation-matters/20180830-the-rise-of-the-digital-twin-how-healthcare-can-benefit.html>. (Available: 11.07.2023).
8. URL: <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/blogs/innovation-matters/20181112-how-a-virtual-heart-could-save-your-real-one.html>. (Дата обращения: 11.07.2023).
9. Zudilina N.V. About Some Reasons for the Existence of “Platonic” (“Real”, “Imaginary”) and “Aristotelian” (“Possible”, “Effective”) Meanings in which the Meaning of the Word “Virtual” Is Expressed in Russian. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 22. Teoriya Perevoda*. 2019;3 (In Russ.).
10. On Information, Information Technologies and Information Protection: Federal Law of July 27, 2006 No. 149-FZ. (In Russ.).
11. GOST 33707-2016. (ISO/IEC 2382:2015) Information Technology (IT). Dictionary. (In Russ.).
12. O Strategies for the development of the information society in the Russian Federation for 2017 - 2030: Decree of the President of the Russian Federation dated 05/09/2017 No. 203. (In Russ.).
13. What is meant by an information resource? // SPS Consultant+. Current as of 10.08.2023. (In Russ.).
14. On the Basics of Protecting the Health of Citizens in the Russian Federation: Federal Law of November 21, 2011 N 323-FZ (as Amended 24.07.2023). (In Russ.).
15. On the Security of Critical Information Infrastructure of the Russian Federation: Federal Law Dated July 26, 2017 N 187-FZ (as Amended on July 10, 2023) (In Russ.).
16. GOST R 54136-2010. Industrial Automation Systems and Integration: Standards Application Guide, Structure and Vocabulary. (In Russ.).
17. Terminological Dictionary of Automation of Construction and Production Processes. DOI 10.34660/c0727-6092-6372-a. URL: <http://slovar-avt.ru/> (Available: 02.08.2023). (In Russ.).
18. Butch G., Maksimchuk R.A., Engle M.W., Young B.J., Conallen D., Houston K.A. Object-Oriented Analysis and Design with Example Applications. Moscow Publ., 2008. 720 p. (In Russ.).
19. HeartModelA.I. Removing the complexity of Live 3D Quantification. URL: [https://www.philips.com/c-dam/b2bhc/master/feature-details/aius/452299111691\\_heartmodel\\_whitepaper\\_lr.pdf](https://www.philips.com/c-dam/b2bhc/master/feature-details/aius/452299111691_heartmodel_whitepaper_lr.pdf). (Available: 17.08.2023).
20. Guidelines for Conducting Medical Examinations and Psychophysiological Examinations of Workers at Nuclear Energy Facilities. Moscow Publ., 1998. 28 p. (In Russ.).
21. On Approval of Requirements for Medical Examinations and Psychophysiological Examinations of Employees of Nuclear Energy Facilities, the Procedure for Conducting Them, a List of Medical Contraindications for Issuing Permission to Perform Certain Types of Activities in the Field of Atomic Energy Use and a List of Positions of Employees of Nuclear Energy Facilities That Are Subject to These Contraindications , as Well as Forms of a Medical Report on the Presence (Absence) of Medical Contraindications for Issuing Permission to Perform Certain Types of Activities in the Field of Atomic Energy Use: Order of the Ministry of Health of Russia dated July 28, 2020 No. 749n. (In Russ.).
22. On Approval of the Procedure and Frequency of Pre-Shift, Pre-Trip, Post-Shift, Post-Trip Medical Examinations, Medical Examinations During the Working Day (Shift) and the List of Studies Included in Them: Order of the Ministry of Health of Russia dated May 30, 2023 No. 266n (In Russ.).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Участие авторов.** Статья подготовлена с равным участием авторов.

**Поступила:** 20.10.2023. Принята к публикации: 27.11.2023.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Financing.** The study had no sponsorship.

**Contribution.** Article was prepared with equal participation of the authors.

**Article received:** 20.10.2023. Accepted for publication: 27.11.2023.