

# Мой цифровой двойник

**В.А. Ефимушкин**, ведущий советник, Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, главный ученый секретарь Международной академии связи, к.ф.-м.н., доцент; v.efimushkin@ac.gov.ru

УДК 004.654.02:519.872.4

DOI: 10.34832/ELSV.2020.13.12.005

**Аннотация.** Предлагается новая, еще не исследованная сфера применения сквозных цифровых технологий виртуальной и дополненной реальности, нейротехнологий и искусственного интеллекта на базе облачных технологий, больших данных, технологий распределенных реестров и квантовых вычислений: создание персонального (ПЦД) и производственного (ПрЦД) цифрового двойника с разнообразным и глубоким самообучаемым функционалом в целях совершенствования жизнедеятельности человека в процессе работы, отдыха, перемещения, конкретных мероприятий и др. Рассмотрены базовые аспекты создания персонального цифрового двойника, области его применения, архитектура и функциональная архитектура платформы ПЦД, типы запросов и сценарии их обработки. Представлен подход к построению аналитических моделей ПЦД в виде графо-матричных моделей, а также к их расчету. Дается прогноз дальнейшего развития направления ПЦД.

**Ключевые слова:** сквозная цифровая технология, цифровой двойник, персональный цифровой двойник, виртуальная реальность, дополненная реальность, искусственный интеллект, база знаний, облачные технологии, нательная сеть, сеть подвижной радиотелефонной связи.

## ВВЕДЕНИЕ

Возможность всегда оставаться на связи в совокупности с применением сквозных цифровых технологий виртуальной и дополненной реальности, нейротехнологий и искусственного интеллекта на базе облачных технологий, больших данных, технологий распределенных реестров и квантовых вычислений позволяет человеку создать своего цифрового двойника с разнообразным и глубоким самообучаемым функционалом, тем самым обеспечив ему оптимизацию жизнедеятельности во времени и в пространстве: в процессе работы, отдыха, перемещений, конкретных мероприятий и т.д.

Технология «цифровой двойник» (ЦД, или Digital Twin, DT), как интегратор многих сквозных цифровых технологий (СЦТ) и их субтехнологий, выступает технологией-драйвером. Она относится к субтехнологии «Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции» СЦТ «Новые производственные технологии» [1] и реализуется на основе создания и применения многоуровневой матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений, на основе математических моделей разных классов, уровней сложности и адекватности (в общем случае описываемых нестационарными нелинейными уравнениями в частных производных), на основе проведения виртуальных испытаний, применения виртуальных стендов и виртуальных полигонов [2], перехода к содержательным большим данным (Smart Big Data).

Особое внимание в технологии цифровых двойников уделяется разработке и внедрению цифровой платформы их создания (в том числе ЦД-прототипов,

ЦД-экземпляров и агрегированных ЦД), способной учитывать десятки тысяч целевых показателей и ресурсных ограничений, использующей смежные СЦТ искусственного интеллекта (ИИ; Artificial Intelligence, AI) и нейротехнологий, больших данных, распределенных реестров.

## ПЕРСОНАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК

Технология ЦД ориентирована на производственную сферу. В сравнении с традиционными подходами разработка изделий и продукции на основе технологии ЦД может обеспечивать снижение временных, финансовых и иных ресурсных затрат до 10 раз и более [2].

ЦД, по сути, это компьютерная модель физического объекта, которым может быть любая машина или оборудование: двигатель, элемент сборочной линии, тоннелепроходческий щит и т.п. Технология ЦД развивается так быстро, что Gartner включил ее в свой отчет о 10 основных технологических тенденциях еще в 2017 г. Сегодня 13% организаций, реализующих проекты интернета вещей, уже используют ЦД и 62% — либо находятся в процессе организации использования ЦД, либо планируют сделать это [3]. По оценке Gartner, к концу 2020 г. будут подключены к обработке в «облаке» до 21 млрд датчиков и конечных элементов интернета вещей, а ЦД будут созданы для миллиардов вещей в ближайшем будущем.

Программное обеспечение технического ЦД принимает реальные данные о физическом объекте или системе в качестве входных и производит в качестве выходных данных прогноз или результаты моделирования

того, как эти физические объекты или системы будут изменяться с учетом этих входных данных.

Важнейшим направлением применения технологических подходов рассматриваемой СЦТ может стать создание цифровых двойников и для людей. В работе [4] введено понятие «Персональный цифровой двойник» (ПЦД) и определены его базовые положения.

Причем речь идет не о едином цифровом профиле физического лица и платформе, где будет храниться информация о гражданине в виде ссылок на юридически значимые записи в государственных информационных системах в целях автоматизации системы взаимодействия с ними в социальной сфере, предусмотренных федеральным проектом «Цифровое государственное управление» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [5]. ПЦД человека должен представлять собой программное обеспечение, реализующее модель его поведения на основе внесенных и собранных в процессе функционирования ПЦД данных и формирующее информационные предложения для человека в целях оптимизации его поведения, совершенствования его жизнедеятельности.

## ТЕХНОЛОГИИ ПЦД

Для реализации ПЦД должны использоваться:

- технологии облачных вычислений, сбора, хранения и обработки в «облаке» данных о человеке, а также о связанной с его деятельностью окружающей среде;
- ИИ и нейротехнологии для анализа входных данных, прогнозирования развития ситуаций и выработки рекомендаций по определению и коррекции поведения человека;
- средства доставки данных от человека, а также предложений и рекомендаций ему с использованием в момент передачи оптимальных по пропускной способности возможных средств связи, включая сети на базе любых технологий широкополосной и узкополосной подвижной радиотелефонной связи;
- средства наиболее быстрого доведения до человека полученной от ПЦД информации и формирования данных от человека для ПЦД, включая аппаратуру аудио- и визуального представления данных и определения местоположения, направления и скорости перемещения: смарт-очки, наручные смарт-устройства с расширенным функционалом, эргономичные микрофон и аудиоустройства постоянного ношения, смартфон, любые внешние мониторы с реализацией подключения к ним по технологии Digital Signage [6], устройства на базе технологий виртуальной и дополненной реальности, специальные нательные датчики. Может использоваться как несколько носимых устройств, так и одно — с

полнофункциональной реализацией. Все носимые человеком устройства, включая датчики, объединяются в нательную беспроводную сеть с концентратором и узлом доступа в сеть связи/интернет, реализованными, например, в смартфоне или планшете [7].

Сегодня известны два варианта реализации технического ЦД. Первый основан на описании устройства, 3D-рендеринге и подробной информации обо всех датчиках устройства с непрерывной записью их показаний в ЦД, в результате чего образуется программная модель, полностью имитирующая реальное устройство. Второй вариант не ограничивается формированием «чистого» двойника, но ориентирован на применение данных о состоянии устройства за некоторый рассматриваемый период для моделирования поведения устройства в ближайшем будущем, прогнозирования возможных неожиданных ситуаций, требующих внимания и специальной подготовки к ним [8].

Говоря о ПЦД, следует рассматривать вариант, обеспечивающий сбор максимально полных данных о жизнедеятельности человека, сопровождающийся формированием наиболее эффективных, экономичных по принятым в модели критериям оценки, приемлемых для него рекомендаций с целью принятия решения.

Возможность применения ПЦД поднимает как исключительно важную задачу обеспечения безопасности всех данных о человеке в «облаке», алгоритмов их обработки, процессов передачи данных между носимыми электронными устройствами, а также при организации сеанса связи с ПЦД в «облаке». Рекомендуемыми технологиями для обеспечения информационной безопасности, помимо традиционных, являются СЦТ «Технологии распределенных реестров» и «Квантовые коммуникации», технологии биометрической идентификации. Важнейшими становятся вопросы идентификации и аутентификации субъекта персональных данных [9]. Очевидно, ПЦД может быть допущен к реализации лишь на отечественных платформах на базе оборудования и программ российского происхождения, включая программное обеспечение применяемого ИИ, при гарантии категорического выполнения самых жестких регламентов информационной безопасности, учитывающих соответствующие модели рисков и угроз.

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЦД

Потенциальные возможности ПЦД могут быть раскрыты при всестороннем его применении, во всех областях деятельности (ОД) человека. Это предполагает, соответственно, формирование для реализации ПЦД широкой базы личных данных, разработку типовых и специализированных алгоритмов анализа и решение возникающих в процессе жизнедеятельности человека задач. ПЦД может выступать в качестве личного помощника, которому делегируются многие задачи. ПЦД обладает

знаниями о предпочтениях в еде, музыкальном вкусе, любимых фильмах, может делать покупки в супермаркетах, бронировать билеты, выполнять переговорные функции.

Таким образом, целевая задача ПЦД — стать постоянно действующим квалифицированным советником и помощником человека в любой ОД и в любой жизненной ситуации.

Рассмотрим некоторые наиболее значимые области деятельности человека и назовем лишь некоторые функции ПЦД в каждой из этих ОД.

#### 1. Планирование:

- формирование и уточнение суточных, недельных, месячных, квартальных и годовых планов человека, специальных планов и личных дорожных карт;
- напоминание о мероприятиях планов;
- формирование задач и вариантов их решения при реализации мероприятий планов с учетом необходимых условий, требований и складывающихся обстоятельств.

#### 2. Здоровье:

- мониторинг и анализ состояния человека на основе данных от датчиков, расположенных на теле человека и в носимых устройствах;
- предупреждение человека об изменении его состояния, требующего срочного принятия лекарств, отдыха, посещения или вызова врача;
- напоминание человеку о необходимости принятия лекарства или осуществления лечебной процедуры в соответствии с действующим расписанием, планового посещения врача;
- информирование службы скорой помощи и близких человека в случае резкого ухудшения его здоровья, сопровождаемое передачей координат его нахождения, данных о его самочувствии в текущий момент, при необходимости — о медицинском полисе, а также другой информации; контроль прибытия скорой помощи.

#### 3. Производственная деятельность.

Специфика данной области в том, что человек может иметь свой производственный ЦД на работе, функционал которого ориентирован на оптимизацию выполнения работником должностных обязанностей.

Как показывает практика, для технических цифровых двойников предпочтительной является интеграция развернутых на предприятии ЦД в составного, объединяющего данные по всему оборудованию для анализа и оптимизации общих операций. Хотя подобный процесс отличается высокой сложностью, 61% компаний, внедривших ЦД, уже интегрировали по крайней мере одну пару ЦД и еще больше компаний — 74% — планируют продолжить или начать делать это в ближайшие пять лет [3].

Рассматривая ПЦД человека и его производственного ЦД (ПрЦД), для достижения лучших результатов

следует применять подход, аналогичный указанному выше, а именно: обеспечить интеграцию некоторых функций ПЦД и ПрЦД, располагающихся, например, в корпоративном «облаке». Подобная интеграция может заключаться в синхронизации определенных заранее функций обоих двойников либо в передаче на заданный период времени контроля над выполнением ряда задач от ПЦД к производственному двойнику.

В принципе, выполнение всех производственных функций может быть реализовано в ПЦД, однако это допустимо при существенной независимости работника от общих производственных задач, звена управления и процессов других работников. В противном случае, когда ПрЦД работников компании интегрированы, оптимальное управление процессами не позволяет полностью перевести производственные функции в ПЦД.

Задача создания ПрЦД работника компании/организации, как и ПЦД человека, сформулирована в [4]; в литературе, насколько известно автору, вопросы ПЦД, ПрЦД и их создания не рассматривались. Эффект от реализации технологии ПЦД человека и ПрЦД работника может превзойти самые смелые ожидания, что актуализирует проблему и определяет необходимость исследований в данном направлении, разработки аналитических и имитационных моделей функционирования ПЦД человека и ПрЦД для различных отраслей экономики и социальной сферы. Например, внедрение интегрированной системы ПрЦД работников подразделений управления государственных корпораций и компаний с государственным участием, цифровая трансформация которых осуществляется в настоящее время, может существенно повысить эффективность производственной деятельности.

Далее кратко перечислим некоторые другие значимые ОД человека, вклад ПЦД в оптимизацию которых может оказаться крайне высоким.

#### 4. Передвижение человека:

- выбор оптимальных по заданным критериям маршрутов, увязанных с рациональным планированием времени, с учетом мест проведения мероприятий и с другими факторами.

#### 5. Отдых и досуг:

- формирование рекомендаций по месту, времени, компании для отдыха и досуга с учетом предпочтений и расписания человека, возможностей переноса (при необходимости) мероприятий, сопровождаемое предоставлением полной информации о рекомендуемых мероприятиях, автоматическим бронированием и покупкой билетов при одобрении мероприятия человеком, и т.д.

#### 6. Управление финансами и инвестиционными активами:

- денежные переводы;
- платежи по счетам, за покупки;
- пуш- и SMS-уведомления о платежах и переводах;

- пополнение баланса мобильной связи и других услуг;
- информирование о динамике инвестиционного портфеля, рекомендации по внесению изменений в инвестиционный портфель;
- справки по банковским вопросам и предложениям, истории операций с инвестиционным портфелем.

## 7. Покупки:

- контроль и напоминание об обязательных покупках в заданное время;
- предоставление информации о товарах/услугах и возможностях оптимизации итогового ценника;
- предоставление информации о возможности покупок в интернете, их доставки и т.д.

## 8. Физкультура и спорт:

- контроль расписания занятий спортом;
- формирование и контроль программы физических упражнений;
- мониторинг физического состояния и развития человека;
- формирование рекомендаций по совершенствованию физического состояния человека.

## 9. Питание:

- диетологический контроль, в том числе с учетом аллергических реакций (при их наличии), пищевой непереносимости, врачебных рекомендаций;
- формирование предложений по месту питания в зависимости от местоположения человека, отзывов посетителей и типа кухни;
- формирование рекомендаций по меню.

## 10. Информационное обеспечение:

- предоставление в соответствии с расписанием новостной информации по указанной тематике в выбранном мультимедиа-формате;
- поиск информации заданной детализации и широты охвата по запросу;
- обеспечение информационной поддержки участия человека в плановых и незапланированных мероприятиях;
- оповещение, передача информации о возникновении критической ситуации, изменении окружающей среды — обо всем, что требует срочного реагирования;
- превентивный сбор информации, потенциально востребованной в жизнедеятельности человека, в том числе для обучения ПЦД.

Указанные ОД составляют лишь наиболее общую для людей часть множества ОД в приложении к ПЦД, которое является достаточно широким и зависит от индивидуальных особенностей, обязанностей, привычек и запросов человека. Так, для человека важными являются обязанности и мероприятия, связанные с семьей; могут быть актуальными области деятельности, связанные с его хобби, учебной, дачей, автомобилем и т.п.

В целом, глубина реализации в ПЦД каждой ОД че-

ловека может различаться, развиваться со временем в зависимости от объемов накапливаемых данных, касающихся жизнедеятельности человека, по мере расширения множества возможных ситуаций с применением все более изощренных методов их анализа, алгоритмов обработки данных и взаимодействия ПЦД с человеком.

## ГОЛОСОВЫЕ АССИСТЕНТЫ

Рассмотрим место ПЦД относительно получивших широкое распространение голосовых ассистентов, называемых иногда, при реализации расширенных функций, цифровыми ассистентами. Голосовой ассистент, по сути, это бот с искусственным интеллектом, имеющий функции распознавания голоса, обработки естественного языка, выбора наиболее релевантного ответа на запрос. Наиболее популярные голосовые ассистенты представлены в таблице.

Компании соревнуются, добиваясь уникальности своих разработок, но их голосовые ассистенты зачастую близки по функциональности. В качестве приме-

## Популярные голосовые ассистенты

Ассистент (компания)	Краткая характеристика
Алиса (Яндекс)	Отечественная технологическая разработка, курс валют, управление навигатором, советы по досугу, разговорная функция и др.
Siri (Apple)	Настройки, требует активации, простая в управлении, выполняет типовые команды
Alexa (Amazon)	Широкий функционал, включение подсветки дисплея смартфона, управление вызовами абонентов, заполнение контента из онлайн-сервисов
Assistant (Google)	Хорошая отзывчивость на команды, управление музыкой, навигатором и вызовами абонентов телефонной книги, открытие приложений, написание SMS
Cortana (Microsoft)	Продвинутый помощник для ПК и ноутбуков (в офисном пакете 365), планирование дня, напоминания, маршруты, управление приложениями e-mail, музыкой по предпочтению, синхронизация с другими устройствами
Олег (Группа Тинькофф)	Помощник в сфере финансов и лайфстайл-услуг, интегрированных в сервисы «Группы Тинькофф»
Bixby (Samsung)	Упрощение работы с самим устройством с целью выполнить любую задачу, которая может быть поставлена посредством голосовой команды, создание оригинальных команд
Robin (Robin Labs)	Уникальный спутник для водителей, позволяющий им без отрыва рук от руля передавать сообщения, осуществлять телефонные вызовы, смотреть новости, расписание, будильник
Xiao Ai (Xiaomi)	Диалог с пользователем, прием звонка и перевод его в текст на экране, отправка надиктованных сообщений, будильник, напоминания, новости, погода и пробки, помощь в работе в социальных сетях, управление умным домом
Маруся (Mail.ru Group)	Ответы на вопросы, функция запоминания, новости, погода, поиск билетов, завуалированные запросы, беседы, запуск музыки
Варвара (ЦРТ)	Встроенная биометрия, возможность подключения из «облака», доступ к почте, мессенджерам, мобильному банку
Celia (Huawei)	Фаза развития помощника, погода, передача сообщений, переключение треков
Салют (Сбер)	Заказ еды, перевод денег, вызов такси, запись к парикмахеру, другие сервисы



ра рассмотрим голосовой ассистент «Олег» от «Группы Тинькофф», отличающийся достаточно развитой функциональностью [10]. «Олег» может распознавать и интерпретировать запросы пользователей, задавать уточняющие вопросы, беседовать на разные темы, совершать денежные переводы на счета в банке «Тинькофф» и в Сбере, пополнять баланс мобильного телефона, бронировать место в ресторане, покупать билеты в кино, давать советы из «Тинькофф Журнала», консультировать по банковским вопросам и акциям, заказывать и отправлять на почту электронные документы. Ассистент интегрирован в сервис «Тинькофф Мобайл»: отвечает на звонки абонентов, переводит аудиосообщение в текст и отправляет его по SMS, фиксирует факт страхового случая клиентов «Тинькофф Страхования»; планируется его интеграция в другие сервисы экосистемы «Тинькофф» (инвестиции, путешествия и др.). Ассистент построен на технологии распознавания и синтеза речи Tinkoff VoiceKit. Синтез речи разрабатывался на основе нейросетевых моделей WaveNet, Tacotron, Deep Voice. Для обучения голосового помощника используется суперкомпьютер «Колмогоров» [11]; в перспективе он будет задействован для предиктивной аналитики.

Сегодня полезность голосового ассистента измеряется в основном не его интеллектом, а качеством распознавания речи и интеграцией с различными приложениями и сервисами. Будущее этого рынка определяют следующие факторы: объем голосового поиска превалирует над печатным; голос, например, при вождении и в ряде других случаев — наиболее удобный вариант; речевое взаимодействие со смартфоном становится обычным. По прогнозам, к 2021 г. в мире будет около 7,5 млрд устройств, выполняющих голосовые запросы. Кроме того, некоторые ученые утверждают, что IQ искусственного интеллекта удваивается приблизительно каждые два года и голосовой ассистент постепенно достигнет уровня человека [12].

Тем не менее самые продвинутые голосовые ассистенты не могут сегодня претендовать на роль ПЦД даже в минимальной реализации — они пытаются решать лишь некоторые частные задачи по сравнению с главной задачей ПЦД: обеспечение поддержки жизнедеятельности человека в любых ОД и в любых ситуациях. В отличие от голосовых ассистентов ПЦД создается, настраивается и развивается во многом самим человеком или при его непосредственном участии.

### АРХИТЕКТУРА ПЦД

На рис. 1 предлагается укрупненная архитектура ПЦД, где  $ОД_i$  —  $i$ -я область деятельности человека;  $ИР_i$  — информационные ресурсы в  $ОД_i$ ;  $РСУ_i$  — ресурсы служб и услуг в  $ОД_i$ ;  $БД_i$  —  $i$ -я база данных;  $Ч^*$  — другой человек;  $ПЦД^*$  — ПЦД другого человека;  $НБС$  — натальная беспроводная сеть;  $Т$  — терминал;  $N$  — число ОД;  $VM$  — виртуальная машина.

Искусственный интеллект, являясь системой ПЦД,

моделирующей ход рассуждений эксперта на основании имеющихся в базе знаний данных, определяет структуру базы знаний ПЦД, функциональные и технические требования к ее подсистемам и наполняющим ее базам данных (БД) по всем ОД, включая интерфейсы пользователя, взаимодействия с ИИ и средствами ее автоматического наполнения, автоматического управления базой знаний, диагностики подсистем и др.

Методы ИИ и построение базы знаний должны соответствовать принципам гибридного представления знаний и использовать все доступные варианты описания решений в базе знаний, как поверхностной, так и глубинной степени сложности, с определением на основе метазнаний при обрыве цепочки правил следующих действий для продолжения решения задачи, с подсистемой моделирования внешнего окружения и связи с ним.

Методы развития базы знаний ПЦД при взаимодействии с ИИ должны включать методы ее модификации в процессе работы ПЦД, машинного обучения с адаптацией к проблемной области для всех ОД, автоматического доказательства с выявлением закономерностей и выводом новых знаний из старых, интроспекции с определением противоречий и контролем корректной организации базы знаний, доказательством заключения с предоставлением хода рассуждений по нахождению решения.

Разработка методов обработки типовых запросов в ПЦД с помощью машинного обучения предполагает реализацию стандартных функций классификации, кластеризации, прогнозирования/регрессии, понижения размерности данных и их визуализации, восстановления плотности распределения вероятности по набору данных, выявления новизны, построения ранговых зависимостей.

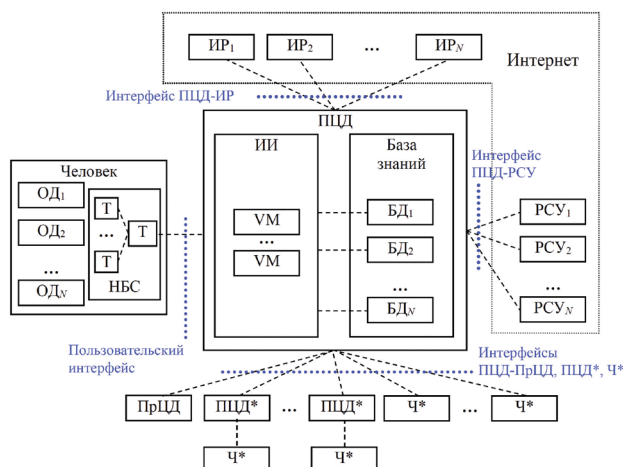
Следует отметить, что указанные требования к построению ИИ и базы знаний, необходимость обеспечения расширенного распределенного обучения и быстрого формирования логических выводов повышают требования к технической реализации ПЦД, в том числе на базе графических процессоров и энергонезависимой памяти, сетевого интерфейса NVMe-oF в системах хранения, программируемых логических интегральных схем и специализированных микросхем ИИ.

Ключевыми направлениями развития ИИ ПЦД сегодня являются распознавание речи, компьютерное зрение, понимание смысла текстов, аналитика и поддержка принятия решений. Разработка методов глубокого машинного обучения на нейросетях помогает усовершенствовать ИИ в этих направлениях, в создании приложений гибридного человеко-машинного интеллекта в рамках ПЦД.

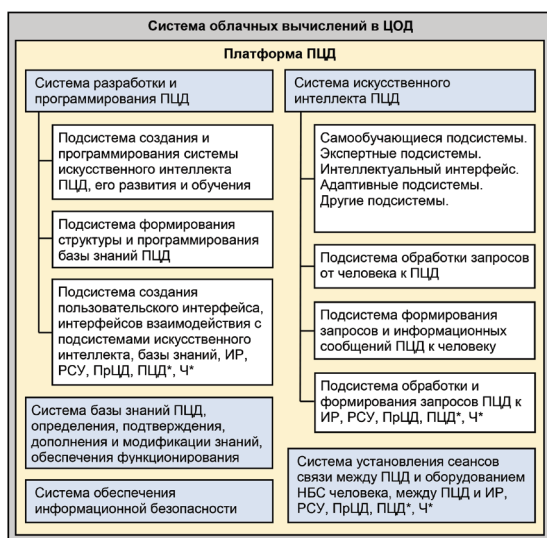
### ПЛАТФОРМА ПЦД

На рис. 2 предлагается укрупненная функциональная архитектура платформы ПЦД. Ее основным функцио-

**Рисунок 1**  
Архитектура ПЦД



**Рисунок 2**  
Функциональная архитектура платформы ПЦД



нальным назначением является предоставление средств разработки и создания/программирования ПЦД универсального типа, применимых для большинства людей, и профильных, специализированных — для обеспечения надежного и устойчивого функционирования ПЦД, эффективной эксплуатации и развития платформы.

Существенным требованием к платформе ПЦД является предоставление неподготовленному пользователю возможностей конструирования начального варианта своего ПЦД из стандартных элементов (building blocks) для выбранных ОД по понятному на интуитивном уровне алгоритму действий. Это предполагает наличие в системе разработки и программирования ПЦД платформы развитых библиотек программных модулей, реализующих функциональные элементы, покрывающие многие возможные запросы человека в разных ОД. Естественно, должны присутствовать низкоуровневые

средства программирования специальных реализаций и эксперты по данной платформе для разработки ПЦД в соответствии с требованиями заказчика/пользователя.

В дальнейшем развитие технологий, предположительно, позволит перейти к тактильному программированию алгоритмов на сенсорных панелях с применением многоуровневых библиотек стандартных элементов и интерфейсов их взаимодействия с аудиокоррекцией сформированных инструкций без применения традиционного кодирования. Подобные средства, усиленные модельно-ориентированным проектированием, приведут к существенному упрощению и ускорению развития и наполнения как самой платформы, так и создаваемых на ее базе конкретных ПЦД.

Создание ПЦД на базе платформы включает в себя необходимость решения вполне конкретных задач выбора применяемых методов (глубокого обучения либо линейных моделей, машинного обучения), анализа данных и выявления значимых паттернов. Организационная схема решения задачи, требования к данным, их достаточности, методика сбора и предобработки данных, выбранные архитектуры нейронных сетей или более простых алгоритмов, развертывание либо портирование алгоритмов, принципы обучения и дообучения систем — все эти вопросы необходимо проработать при реализации платформы ПЦД.

## ТИПЫ ЗАПРОСОВ И СЦЕНАРИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Запросы к ПЦД со стороны человека можно классифицировать по следующим основным группам:

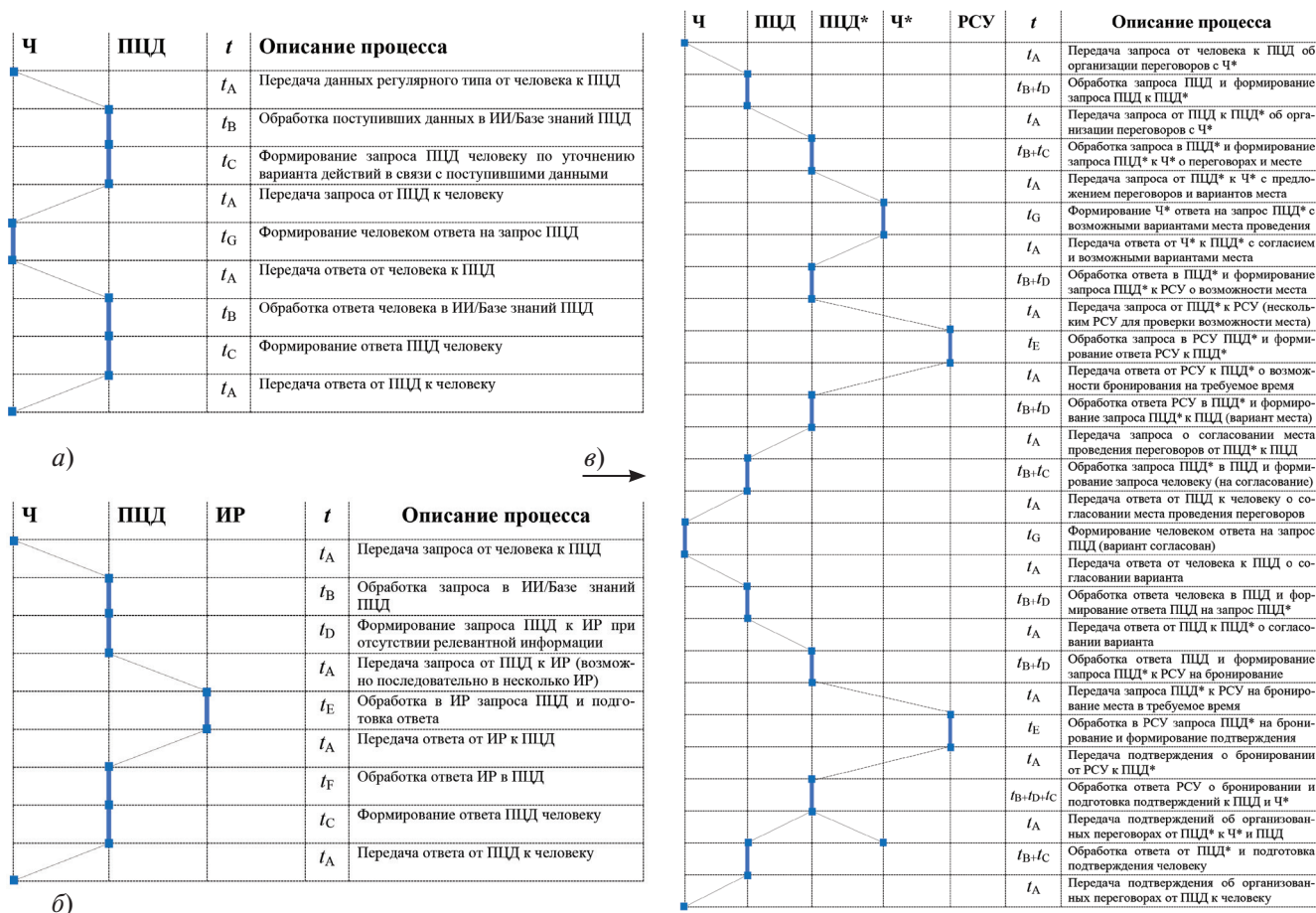
- 1) регулярная передача данных. Предполагает автоматическую передачу данных от терминалов (датчиков) нательной сети о состоянии человека, его местоположении по моментам срабатывания таймеров или датчиков в случае возникновения запрограммированных ситуаций;
- 2) запрос информации. Запросы этого типа могут быть достаточно частыми, и в соответствии с ними ПЦД осуществляет поиск требуемой информации в базе знаний и во внешних ИР/PCY;
- 3) организационный запрос. Запросы этого типа могут быть достаточно частыми, и в соответствии с ними ПЦД осуществляет поиск требуемой информации в базе знаний и во внешних ИР/PCY;
- 4) коммуникационный запрос. Ориентирован на установление сеансов аудиовидеосвязи с другим человеком или с группой людей; при этом одновременно могут происходить передача мультимедийной информации, коммуникации с операторами PCY, при необходимости формирование и передача SMS и электронных сообщений в социальных сетях.

Со стороны ПЦД запросы к человеку классифицируются по следующим типам:

- 1) оповещение;
- 2) уточнение запроса человека;

Рисунок 3

Сценарии обработки запросов: а –  $\mathcal{C}_{\text{ПЦД},1}$  «Регулярная передача данных»; б –  $\mathcal{C}_{\text{ПЦД},2}$  «Запрос информации»; в –  $\mathcal{C}_{\text{ПЦД},3}$  «Организационный запрос» (на примере организации переговоров в рамках делового обеда)



- 3) согласование варианта;
- 4) согласование коммуникации.

Для сокращения записи будем обозначать запрос типа  $i$  от человека к ПЦД как  $\mathcal{C}_{\text{ПЦД},i}$  и, аналогично, запрос типа  $i$  от ПЦД к человеку –  $\mathcal{ПЦД}_{\text{ч},i}$ ,  $i = \overline{1,4}$ .

Запрос типа  $\mathcal{ПЦД}_{\text{ч},1}$  является, скорее, информационным напоминанием или сообщением о необходимости осуществления человеком некоторого действия, в том числе как реакция на запрос типа  $\mathcal{C}_{\text{ПЦД},1}$  и при возникновении ситуации актуальности для человека этой информации в данный момент. Примером является рекомендация взять с собой зонт при выходе на работу.

Запрос типа  $\mathcal{ПЦД}_{\text{ч},2}$  позволяет детализировать запрос человека при его расплывчатой, нечеткой формулировке и тем самым оптимизировать поиск релевантного решения.

Запрос типа  $\mathcal{ПЦД}_{\text{ч},3}$  обеспечивает выбор человеком устраивающего его варианта из предоставленного ПЦД множества решений.

По запросу типа  $\mathcal{ПЦД}_{\text{ч},4}$  человек принимает решение о возможности коммуникации с другим человеком или группой людей в данный момент, соглашается с пред-

ложенным способом коммуникации или предлагает какой-то иной.

С развитием ПЦД могут возникать и другие типы запросов  $\mathcal{C}_{\text{ПЦД}}$  и  $\mathcal{ПЦД}_{\text{ч}}$ . Аналогично можно классифицировать запросы от ПЦД в адрес ИР/PCY ( $\mathcal{ПЦД}_{\text{ИР}}$ ,  $\mathcal{ПЦД}_{\text{PCY}}$ ), в адрес другого ПЦД ( $\mathcal{ПЦД}_{\text{ПЦД}^*}$ ), ПрЦД человека ( $\mathcal{ПЦД}_{\text{ПрЦД}}$ ), запрос на коммуникацию с другим человеком ( $\mathcal{ПЦД}_{\text{ч}}$ ). При этом для успешной реализации одного запроса инициируются другие, порождая таким образом комплексный запрос, состоящий из последовательности запросов  $X_{Y,i}$ ,  $i = \overline{1,4}$ , где  $X, Y \in \{\mathcal{C}, \mathcal{C}^*, \mathcal{ПЦД}, \mathcal{ПЦД}^*, \text{ПрЦД}, \text{ИР}, \text{PCY}\}$ ,  $X \neq Y$ .

Название «Мой цифровой двойник» ожидаемо предполагает присутствие в статье примеров сценариев взаимодействия человека с ПЦД в каких-либо ОД хотя бы в упрощенной форме. Подобные сценарии даже в одной ОД при решении очень конкретной задачи могут быть крайне разнообразными и многофакторными. Примеры конкретных сценариев могут служить полем приложения творческих ресурсов уважаемого читателя в проекции на себя.

Далее рассматриваются обобщенные сценарии об-

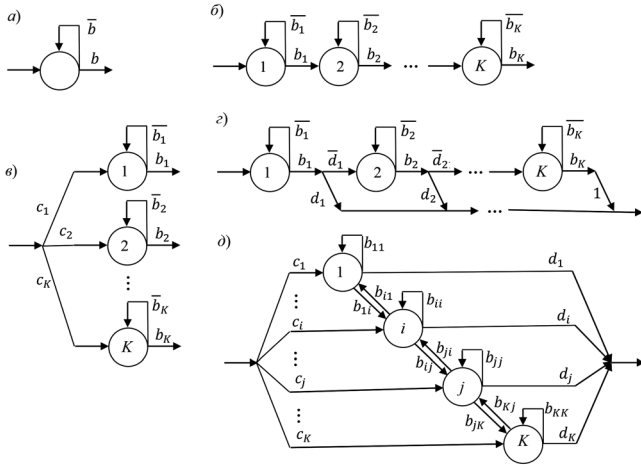




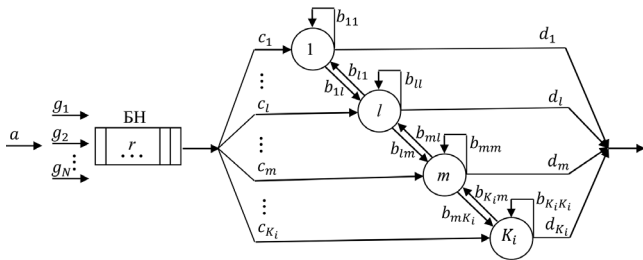


**Рисунок 5**

Модели генерации распределений в дискретном времени:  
 а – Geom; б – ED; в – HGeom; г – CD; д – PHD

**Рисунок 6**

СМО в дискретном времени  $\text{Geom}_N | \text{PHD}_N | 1 | r < \infty | f_0$



ними придать требуемый физический смысл и таким образом построить вполне адекватную графо-матричную модель процесса обработки в данном макросостоянии [13].

Например, время  $t_b$  обработки запроса в макросостоянии В описывается частным случаем распределения PHD: модель генерации макросостояния В может иметь структуру дерева с детерминированными участками и участками, описываемыми моделями генерации CD.

Отметим, наконец, что модель генерации распределения СВ совокупного времени обработки запроса, образованная заменой в графе на рис. 4 макросостояний моделями генерации распределений СВ времени пребывания в этих макросостояниях, представима моделью генерации распределения фазового типа. Более того, запросы, образующие комплексный запрос, также можно представить в виде макросостояний верхнего уровня, представимых, в свою очередь, в виде графов макросостояний, аналогично указанному выше, и, таким образом, перейти к двухуровневой графо-матричной модели.

Для моделей генерации с различными дискретными распределениями вероятность обслуживания в течение  $l$  тактов вычисляется по следующим формулам:

а) для Geom с параметром  $b$ :

$$s_l = \bar{b}^{l-1} b, l = 1, 2, 3, \dots, 0 < b \leq 1;$$

б) для ED с  $K$  этапами и параметрами  $b_1, b_2, \dots, b_K$  обслуживания на этапах 1, 2, ...,  $K$  соответственно:

$$s_l = \sum_{i_1 + \dots + i_K = l} \prod_{j=1}^K (\bar{b}_j^{i_j-1} b_j); l = K, K+1, \dots; 0 < b_j \leq 1; j = \overline{1, K};$$

в) для HGeom с вероятностями  $\mathbf{c}^T = (c_1, c_2, \dots, c_K)$  постановки на этапы 1, 2, ...,  $K$ ,  $c_i \geq 0$ ,  $i = \overline{1, K}$ ,  $c_i = 1$ , и параметрами обслуживания  $b_1, b_2, \dots, b_K$ :

$$s_l = \sum_{j=1}^K c_j \bar{b}_j^{l-1} b_j, l = 1, 2, 3, \dots; 0 < c_j \leq 1, c_i = 1, 0 < b_j \leq 1; j = \overline{1, K};$$

г) для CD с параметрами обслуживания  $b_1, b_2, \dots, b_K$  и вероятностями  $d_1, d_2, \dots, d_K$  ухода из системы после окончания обслуживания на этапах 1, 2, ...,  $K$ , соответственно:

$$s_l = \sum_{m=1}^K d_m \sum_{i_1 + \dots + i_m = l} \left( \prod_{j=1}^{m-1} (\bar{b}_j^{i_j-1} b_j \bar{d}_j) \bar{b}_m^{i_m-1} b_m \right), l = 1, 2, 3, \dots,$$

$$0 < b_j \leq 1; j = \overline{1, K}, 0 \leq d_m < 1; m = \overline{1, K-1}; d_K = 1;$$

д) для PHD с введенными выше параметрами:

$$s_l = \mathbf{c}^T \mathbf{B}^{l-1} \mathbf{d}; l = 1, 2, 3, \dots$$

Таким образом, в качестве модели ПЦД может применяться однолинейная СМО в дискретном времени (рис. 6) с ординарным неоднородным поступающим потоком заявок (запросов), распределенным по геометрическому закону со средним  $1/a$ ;  $0 < a < 1$ ; поступившая заявка с вероятностью  $g_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $g_i = 1$ , является  $i$ -заявкой, соответствующей запросу одного из рассматриваемых типов и ОД,  $a_i = g_i a$ , с распределением длительности обслуживания фазового типа с PHD-представлением  $(c_i, \mathbf{B}_i)$  порядка  $K_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ , буферным накопителем (БН) конечной емкости  $r$ ,  $r < \infty$ , для хранения заявок (запросов от человека и других участников процесса обработки запроса),  $R = r + 1$ .

Поскольку  $r < \infty$ , порядок событий в СМО имеет значение, поэтому будем полагать, что окончание обслуживания заявки происходит раньше поступления заявки в БН в случае наступления этих событий в одном такте. Заявка, поступившая на переполненную СМО, получает отказ и не оказывает влияния на функционирование системы и входящий поток. Рассматривается множество  $f_0$  беспriorитетных дисциплин выбора заявок из БН на обслуживание.

Функционирование в дискретном времени введенной СМО  $\text{Geom}_N | \text{PHD}_N | 1 | r < \infty | f_0$  можно описать однородной цепью Маркова  $\phi_n$  по моментам  $nh$ ,  $n \geq 0$ , над пространством состояний  $X = \{(0), (i, k, q) : k = \overline{1, K}, i = \overline{1, N}, q = \overline{1, R}\}$ . Здесь (0) — отсутствие заявок в СМО,  $i$  — номер типа

обслуживаемой заявки,  $k$  — номер этапа, на котором находится  $i$ -заявка,  $q$  — общее число заявок в системе. В сделанных предположениях  $\Phi_n$ ,  $n \geq 0$ , неразложима и апериодична, стационарное распределение вероятностей  $\mathbf{p} = (p_x, x \in X)$  существует и его можно найти из системы уравнений равновесия

$$\begin{aligned} -ap_0 + \bar{a} \sum_{i=1}^N \mathbf{p}_{i1}^T \mathbf{d}_i &= 0; \\ \mathbf{p}_{i1}^T (\bar{a} \mathbf{B}_i - \mathbf{I}) + u(2-q) a_i p_{0i} \mathbf{c}_i^T + u(q-1) a \mathbf{p}_{i,q-1}^T \mathbf{B}_i + a_i \sum_{j=1}^N (\mathbf{p}_{jq}^T \mathbf{d}_j) \mathbf{c}_i^T + \\ + \bar{a} g_i \sum_{j=1}^N (\mathbf{p}_{j,q+1}^T \mathbf{d}_j) \mathbf{c}_i^T &= 0, q = \overline{1, r}, i = \overline{1, N}; \\ \mathbf{p}_{ir}^T (\mathbf{B}_i - \mathbf{I}) + a \mathbf{p}_{i,r-1}^T \mathbf{B}_i + a_i \sum_{j=1}^N (\mathbf{p}_{jr}^T \mathbf{d}_j) \mathbf{c}_i^T &= 0, i = \overline{1, N}; \end{aligned}$$

и нормировочного условия

$$p_0 + \sum_{i=1}^N \sum_{q=1}^R \mathbf{p}_{iq}^T \mathbf{1} = 1.$$

Здесь

$$\mathbf{p}_{iq}^T = (p_{1iq}, p_{2iq}, \dots, p_{ikiq}), \mathbf{d}_i = (\mathbf{I} - \mathbf{B}_i) \mathbf{I}, u(q) = \begin{cases} 0, q \leq 0; \\ 1, q > 0; \end{cases}$$

размерности  $\mathbf{I} = \text{diag}\{1, 1, \dots, 1\}$  и  $\mathbf{1}^T = (1, 1, \dots, 1)$  ясны из контекста.

Определим

$$\begin{aligned} \mathbf{B} = \text{diag}\{\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, \dots, \mathbf{B}_N\}, \mathbf{c}^T &= (g_1 \mathbf{c}_1^T, g_2 \mathbf{c}_2^T, \dots, g_N \mathbf{c}_N^T), \mathbf{d}^T = (\mathbf{d}_1^T, \mathbf{d}_2^T, \dots, \mathbf{d}_N^T); \\ \mathbf{p}_q^T &= (\mathbf{p}_{1q}^T, \mathbf{p}_{2q}^T, \dots, \mathbf{p}_{Nq}^T), q = \overline{1, R}. \end{aligned}$$

**Теорема.** В сделанных предположениях стационарное распределение  $\mathbf{p}$  вычисляется по формулам

$$p_0 = \left[ \mathbf{v} \left( \mathbf{I} + \sum_{q=2}^r \mathbf{W}^{q-1} + \mathbf{W}^r \tilde{\mathbf{W}} \right) \mathbf{1} \right]^{-1};$$

$$\mathbf{p}_q^T = \begin{cases} p_0 \mathbf{v}, q = 1, \\ p_0 \mathbf{v} \mathbf{W}^{q-1}, q = \overline{2, r}, \\ p_0 \mathbf{v} \mathbf{W}^r \tilde{\mathbf{W}}, q = R, \end{cases}$$

где

$$\mathbf{v} = a \mathbf{c}^T \mathbf{H}^{-1}(\bar{a}), \mathbf{W} = a \mathbf{B} \mathbf{H}^{-1}(\bar{a}), \tilde{\mathbf{W}} = a \mathbf{B} \left( \mathbf{I} + \frac{a}{\bar{a}} \mathbf{1} \mathbf{c}^T \right) \mathbf{H}^{-1}(1);$$

$$\mathbf{H}^{-1}(z) = (\mathbf{I} - z \mathbf{B})^{-1} - \frac{\bar{z}}{\sum_{i=1}^N g_i B_i(z)} (\mathbf{I} - z \mathbf{B})^{-1} \mathbf{1} \mathbf{c}^T (\mathbf{I} - z \mathbf{B})^{-1};$$

$$B_i(z) = z \mathbf{c}_i^T (\mathbf{I} - z \mathbf{B}_i)^{-1} \mathbf{d}_i, i = \overline{1, N}.$$

Доказательство теоремы приведено в [13], где так-же рассмотрены частные случаи для распределений

длительности обслуживания Geom, ED, HGeom, CD. Полученное решение позволяет находить различные вероятностно-временные характеристики функционирования системы и, соответственно, ПЦД.

## ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ

Создание ПЦД и ПрЦД, платформ их разработки в текущем десятилетии может стать синергетически интегрирующим направлением для развития цифровых технологий в Российской Федерации во всех областях деятельности человека.

Сегодня просматриваются два этапа реализации ПЦД: первый — до 2027 г. и второй — до 2032 г. На первом этапе в качестве основных вех можно выделить следующие: НИИ и компании проводят НИОКР в области ИИ и нейротехнологий в применении к ПЦД, создают пилотные проекты платформ ПЦД, включая новые средства программирования и библиотеки стандартных элементов; распознавание видео, речи и ее смыслового содержания достигает уровня безошибочности; ПЦД включает все основные ОД человека; сценарии обработки запросов в ПЦД достигают среднего уровня детализации; развиваются технические средства натальной сети человека и ее взаимодействия с ПЦД; создаются российская и международная ассоциации исследователей, разработчиков и операторов ПЦД и платформ ПЦД, которые формируют концепции, функциональные и технические спецификации ПЦД и ПрЦД, облик регуляторных требований и требований к информационной безопасности; повсеместно проводится пилотное тестирование. Развитие направления ПЦД возможно, в том числе, при поддержке государства в рамках государственно-частного партнерства.

На втором этапе реализуются результаты разработок и программно-аппаратные решения в рамках ПЦД; сценарии достигают глубокого уровня детализации; внедряются и эксплуатируются рабочие платформы ПЦД; реализуется взаимодействие ПЦД между собой и с ПрЦД; осуществляется стандартизация ПЦД, в частности в рамках Международного союза электросвязи; решаются вопросы регуляторного обеспечения, тарификации и биллинга.

Дальнейшее (2040 г.) коренное преобразование «всех форм и видов деятельности человека становится возможным на базе нейроинтерфейсных операциональных систем нового поколения, способных на основе регистрации и расшифровки показателей активности мозга обучаться для операций с ячейками памяти ИИ» [15].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье в развитие работы [4] предлагается создание персонального цифрового двойника с целью совершенствования жизнедеятельности человека. Эта задача нетривиальная, для достижения успеха необходимо задействовать различные цифровые технологии,

технологии информационной инфраструктуры [16], включая новейшие технологии подвижной радиотелефонной связи [17, 18]. Для реализации и обеспечения функционирования ПЦД требуется разработать универсальные и специализированные платформы различной производительности, поддерживающие от тысяч узкопрофильных ПЦД до миллионов общеприменимых для большинства людей ПЦД, соответствующие нормативные правовые акты, в том числе направленные на обеспечение в ПЦД абсолютной информационной безопасности большого и постоянно расширяющегося массива данных о человеке, его деятельности, привычках, здоровье и т.п.

Рассмотрены базовые аспекты создания ПЦД, области его применения, предложены архитектура ПЦД и функциональная архитектура платформы ПЦД, типы запросов и сценарии их обработки. Предлагается под-

ход к построению аналитических моделей функционирования ПЦД в виде графо-матричных моделей и к их расчету.

Дается прогноз дальнейшего развития направления ПЦД. За ПЦД человека, как и за специальными производственными цифровыми двойниками работников в самых разных отраслях экономики и социальной сферы, большое будущее. Однако уже сегодня создание облачных платформ обеспечения процессов разработки, наполнения и функционирования ПЦД человека и ПЦД работников является одним из наиболее перспективных направлений деятельности в области цифровой трансформации экономики и общества.

Автор надеется, что данная статья послужит стимулом к инициации системных исследований, разработок и созданию ПЦД, ПрЦД и платформ ПЦД.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт федерального проекта «Цифровые технологии». – URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/pasport-federalnogo-proekta-tsifrovyye-tehnologii.pdf>.
2. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии». – URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019npt.pdf>.
3. Gartner Survey Reveals Digital Twins Are Entering Mainstream Use; February 20, 2019. – URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mainstream>.
4. Ефимушкин, В.А. Совершенствование жизнедеятельности человека с применением персонального цифрового двойника / В.А. Ефимушкин // Труды XIV Междунар. отрасл. науч.-техн. конф. «Технологии информационного общества», 18-19 марта 2020 г. – М.: Медиа Паблшер, 2020. – С. 575-577.
5. Паспорт федерального проекта «Цифровое государственное управление». – URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/pasport-federalnogo-proekta-tsifrovoye-gosudarstvennoe-upravlenie.pdf>.
6. Аджемов, А.С. Архитектура и требования к системе представления информации Digital Signage / А.С. Аджемов, В.А. Ефимушкин // Научные труды ФГУП ЦНИИС. – М.: ЦНИИС, 2011. – С. 45-56.
7. Movassaghi, S. Wireless Body Area Networks: A Survey / S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, et al. // IEEE Communications Surveys and Tutorials. – 2014. – Vol. 16, Iss. 3. – P. 1658-1686.
8. Puri, D. Oracle's digital twin simplifies design process for complex IoT systems / D. Puri – URL: <https://www.networkworld.com/article/3235962/oracles-digital-twin-simplifies-design-process-for-complex-iot-systems.html>.
9. Докучаев, В.А. Цифровизация субъекта персональных данных / В.А. Докучаев, В.В. Маклачкова, В.Ю. Статеев // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2020. – Т. 14, № 6. – С. 27-32.
10. «Тинькофф банк» разработал головного помощника по имени «Олег» // Ведомости. – URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2018/12/06/788659-tinkoff>.
11. Хабибрахимов, А. Группа «Тинькофф» создала суперкомпьютер для развития технологии прогнозирования поведения клиентов / А. Хабибрахимов. – URL: <https://vc.ru/finance/63191>. Дата обращения: 02.04.2019.
12. Самые популярные голосовые помощники. – URL: <https://mentamore.com/covremennyye-tehnologii/populyarnyye-golosovyye-pomoshhniki.html>.
13. Ефимушкин, В.А. Анализ системы конечной емкости с обслуживанием общего вида и неоднородными заявками в дискретном времени / В.А. Ефимушкин // Модели информационных сетей. – М.: Наука, 1984. – С. 76-83.
14. Башарин, Г.П. Графо-матричные модели локальных вычислительных сетей / Г.П. Башарин, В.А. Ефимушкин // М.: Изд-во УДН, 1986. – 40 с.
15. Каплан, А.Я. Тезисы // Т. 29. Серия 04: НТИ: Большая ставка. Введение / А.Я. Каплан. – URL: [https://ridero.ru/books/skvoznye\\_tekhnologii/freeText](https://ridero.ru/books/skvoznye_tekhnologii/freeText).
16. Ефимушкин, В.А. Вопросы инфокоммуникационного обеспечения цифровой экономики / В.А. Ефимушкин // Электро-связь. – 2017. – № 10. – С. 83-88.
17. 5G Evolution and 6G. White Paper // NTT DOCOMO: January 2020, 17 p.
18. Ефимушкин, В.А. Анализ бизнес-рисков внедрения мобильных сетей 5G в условиях развития технологий 6G / В.А. Ефимушкин // Труды XIV Междунар. отрасл. науч.-техн. конф. «Технологии информационного общества», 18-19 марта 2020 г. – М.: Медиа Паблшер, 2020. – С. 573-574.

Получено 17.09.20