

УДК 004.67

DOI: 10.31040/2222-8349-2025-0-4-184-194

**ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО СТРАТЕГИЧЕСКОМУ ПЛАНИРОВАНИЮ
ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ
ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЧЕЛОВЕКА**

© В.В. Мартынов, З.А. Давлетова

Целью исследования являются анализ и классификация данных для создания достоверного цифрового двойника человека – субъекта экономических отношений, а также разработка моделей сбора, передачи, интеграции обработки этих данных для построения архитектуры цифрового двойника человека для интеллектуальной поддержки процесса стратегического планирования территориального развития. Определено место цифрового двойника человека в общей системе цифровых технологий. Рассмотрены этические вопросы создания цифрового двойника человека, угрозы и перспективы использования такой цифровой модели. Выделены отличия цифрового двойника человека от цифрового двойника машин. Проанализированы источники данных и предложена классификация данных для создания цифрового двойника человека. Авторами разработана модель интегрированной многоуровневой архитектуры цифрового двойника человека. Смоделирован процесс поддержки принятия решений по стратегическому планированию территориального развития на основе технологий цифрового двойника человека, агент-ориентированного подхода, использования онтологий, обеспечивающих достоверность прогнозов развития макросистем.

Ключевые слова: цифровой двойник человека, многоуровневая интегрированная архитектура, стратегическое планирование, имитационное моделирование, агент-ориентированный подход, поддержка принятия решений.

Введение. Для устойчивого развития России требуется формирование системы стратегического планирования, которая была бы способна прогнозировать влияние масштабных национальных проектов на развитие макроэкономической системы в целом.

В связи с этим актуальным становится вопрос выбора инструментария для эффективного стратегического планирования. Агент-ориентированное моделирование зарекомендовало себя как эффективный инструмент получения реалистичных прогнозов сложных социально-экономических процессов [1]. Его неоспоримое преимущество заключается в возможности прогнозирования поведения самых разных индивидов общества в зависимости от управлеченческих воздействий и изменения внешних условий. Агент-ориентированное моделирование помогает создать искусственное общество и проводить эксперименты по изучению влияния управлеченческих решений на макроэкономическую ситуацию, выявлять эффективность

национальных проектов и стратегий территориального развития. С помощью этого инструмента формируется цифровой двойник гражданина.

Реализация проекта создания цифрового двойника человека является крайне актуальной задачей, поскольку будет способствовать выводу нашей страны в лидеры в наукоемких отраслях и технологической независимости, к последующему экспорту технологий, коммерциализации научных результатов и получению прибыли в долгосрочной перспективе.

На технологии цифровых двойников возлагаются большие ожидания, на их развитие направляются значительные инвестиции. К данной тематике проявляется научный интерес и в последнее время существенно возросло количество публикаций, посвященных исследованиям применения технологий цифровых двойников в самых разных сферах человеческой деятельности. В [2] рассмотрены примеры внедрения технологий цифровых двойников в образовательном процессе на примере

МАРТЫНОВ Виталий Владимирович – д.т.н., Уфимский университет науки и технологий,
e-mail: vvmartynov@bk.ru

ДАВЛЕТОВА Зульфия Альфировна – к.т.н., Уфимский университет науки и технологий, Институт социально-экономических исследований УФИЦ РАН, e-mail: davletova11@mail.ru

университетов в Германии, Финляндии, Швейцарии, Австралии. В [3] проанализированы возможности и перспективы применения цифровых двойников людей в здравоохранении для оптимизации стратегии лечения пациентов. Цифровой двойник человека, кроме того, может послужить инструментом управления социумом: для предотвращения беспорядков, гражданских волнений, стимулирования позитивной политической активности [4]. В [5] представлены исследования, проводимые в области человекоориентированных цифровых двойников, их технологий и схем реализации для различных промышленных приложений. В целом анализ публикационной активности позволяет сделать вывод, что исследований в области создания цифрового двойника человека гораздо меньше, чем цифровых двойников технологического оборудования и производственных процессов [6], тем не менее данная область исследований очень перспектива и способна открыть новые возможности в производстве, бизнесе, социальной сфере.

Для получения прогнозов высокой точности влияния стратегических решений на макроэкономическую ситуацию на основе имитационного моделирования важно учесть параметры, объясняющие поведение индивида, для этого о нем должна быть собрана исчерпывающая полная информация и составлен его достоверный цифровой двойник. Таким образом, цель данного исследования заключается в анализе и классификации данных для создания достоверного цифрового двойника человека – субъекта экономических отношений, а также в разработке моделей сбора, передачи, интеграции обработки этих данных для построения архитектуры цифрового двойника человека для интеллектуальной поддержки процесса стратегического планирования территориального развития.

Для достижения заявленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выявить отличия цифрового двойника человека от цифровых двойников машин,
- провести систематизацию данных для построения цифрового двойника человека, определить источники данных и их поставщиков,
- построить модель архитектуры цифрового двойника человека.

В Российской Федерации намечен курс к цифровой трансформации экономики, внедрению инновационной модели экономического роста, принято множество стратегических планов на разных уровнях власти, однако, можно констатировать тот факт, что на данный момент

страна отстает по многим параметрам от экономик ведущих стран мира, что говорит о неэффективности системы стратегического планирования. Такое положение дел обуславливается следующими причинами: формальным определением целевых показателей, отсутствием контроля по их достижению, низким уровнем исполнительной дисциплины, несогласованностью стратегических планов различных ведомств и Правительства. Наличие таких системных проблем требует обновления методологии, методов и инструментов стратегического управления. Использование технологий цифрового двойника человека, агент-ориентированного моделирования, интеллектуальной обработки знаний позволяют обосновать стратегии развития макросистемы за счет прогнозирования результатов управленических решений и оценки их эффективности.

Место цифрового двойника человека в общей системе цифровых технологий. Вся концепция цифрового двойника человека основана на прорывных и сквозных технологиях, так как предполагает совместное использование технологий Big Data, IoT, искусственного интеллекта, блокчейн, дополненной и виртуальной реальности, облачных и периферийных вычислений. Цифровой двойник человека занимает центральное место в общей системе цифровых технологий (рис. 1).

Технологии IoT позволяют с использованием беспроводных каналов передачи информации собирать большие данные с датчиков и сенсоров для формирования цифрового двойника человека. Как правило, современные IoT-платформы реализованы с использованием облачных технологий, которые доказали свою эффективность в хранении и обработке больших объемов информации самой различной структуры, определенной разработчиками. В качестве примеров IoT-платформ можно привести такие продукты, как например Microsoft Azure IoT, Google Cloud, IBM WatsonIoT, Cisco IoT Cloud Connect [1].

Создание цифрового двойника человека подразумевает в том числе работу с персональными данными граждан, поэтому важно не допустить утечку информации и обеспечить безопасность ее передачи и использования. Технологии блокчейн позволяют решить этот вопрос: осуществить аутентификацию источника данных, гарантировать неизменность передаваемой информации, создавать цифровые сертификаты, подтверждающие подлинность информационных активов.

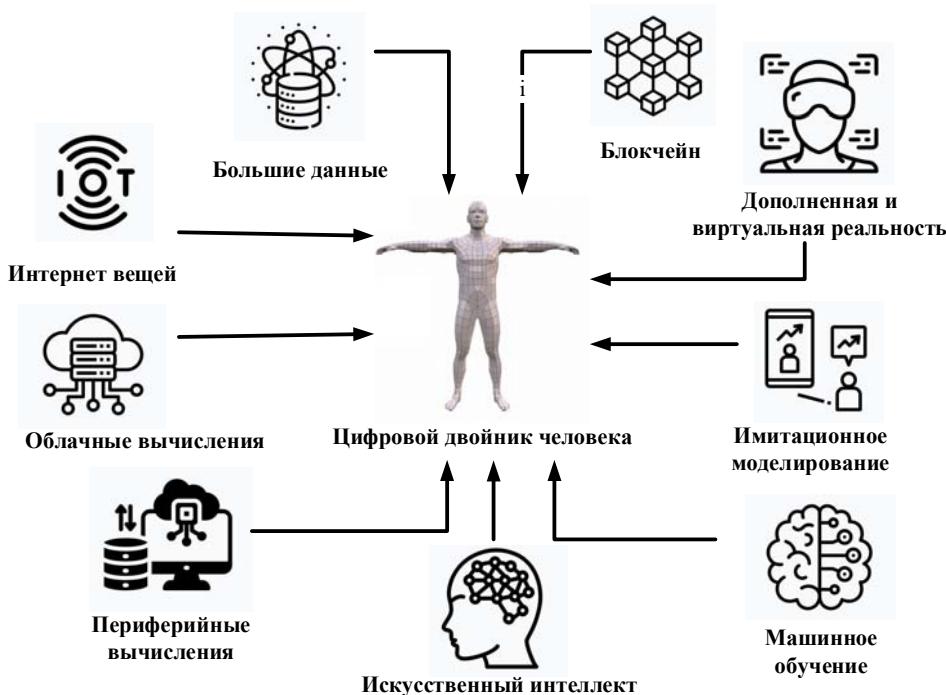


Рис. 1. Цифровой двойник человека в системе цифровых технологий

Технологии дополненной и виртуальной реальности дают новые возможности для обучения, создают эффект погружения в реальную среду. С их помощью можно работать с реальными объектами, находящимися в опасной среде. Технологии AR и VR способствуют увеличению скорости осмысления информации, экономят время, уменьшают количество ошибок.

Технологии периферийных вычислений (Edge computing) предназначены для первичной обработки больших данных, генерируемых датчиками, непосредственно в местах их сбора, тогда как в облако передается уже гораздо меньший объем данных. Такой подход позволяет экономить вычислительные ресурсы и время.

Отличия цифрового двойника человека от цифрового двойника машины. Концепция цифрового двойника имеет большой потенциал в контексте цифровой трансформации. Цифровой двойник человека – это понятие, и поддерживающая технология, которая окажет существенное влияние на экономику, общество и людей.

Задача создания цифрового двойника человека гораздо сложнее чем цифрового двойника машины [7]. Отличительной особенностью цифрового двойника человека является то, что в его основе лежит генетическая и биографическая составляющие [8]. Генетический код определяет физические и интеллектуальные склон-

ности, биографический код может быть собран с помощью датчиков, камер, микрофонов, также это общая персональная информация о человеке. В создании цифрового двойника человека важен междисциплинарный подход: должны быть задействованы знания из разных областей наук, это должен быть своеобразный синтез биологии, психологии, информационных технологий. Накопившийся огромный объем информации о каждом индивиде может быть использован с применением поведенческих наук для прогнозирования увольнения с работы, совершения преступлений, участия в гражданских волнениях.

Знания человека – это часть биографических данных, которая в значительной мере определяют его поведение. Различаются три области знаний человека: декларативные и процедурные знания, а также физическое и психологическое представление знаний [9]. Декларативные знания включают знания о терминах, правилах, предметах, явлениях, которые существуют и описываются в учебных пособиях, справочниках, руководствах, следовательно, данный тип знаний можно формализовать и использовать в моделях поведения человека. Декларативное знание не гарантирует того или иного поведения человека, так как формулируется на общем уровне для применения в различных контекстах и ситуациях.

Процедурные знания возникают в процессе применения человеком декларативных знаний на практике. На основе индивидуального опыта определяется эффективность и варианты использования декларативных знаний. Поскольку у каждого человека свои индивидуальные особенности интерпретации знаний, процедурные знания трудно поддаются формализации, их проблематично использовать для формирования достоверного прогноза принятия индивидом тех или иных решений.

Третий тип подразумевает физическое и психологическое представление знаний человека, но в настоящий момент науке мало известно о том, как в человеческом мозге происходит формирование знаний [10], что обуславливает сложности в формализации и этой информации.

Цифровой двойник человека может быть полезен, к примеру, для прогнозирования течения различных заболеваний и выбора оптимального способа лечения, но может нести и потенциальную угрозу для своего обладателя, сделать его объектом тотального контроля, стать источником риска потери репутации. Однако человек способен в личных интересах влиять на формирование своего цифрового двойника, благодаря знанию о его существовании и своей свободной воле. Человек может изменить свое поведение, зная, что данные о нем собираются, даже вопреки своим обычным предпочтениям. Стремление к автономии является одной из базовых потребностей человека, людям свойственно сопротивляться ограничению свободы их действий. Сложность в прогнозировании поведения людей заключается в ситуативном контексте и его постоянном изменении, так, например, указания от одних лиц могут быть выполнены, а от других восприниматься как ограничение свободы действий, эта реакция может меняться по прошествии времени и изменения внешних условий.

Свободная воля – это важнейшая характеристика человека, которая позволяет ему выбирать: действовать в соответствии с правилами или нарушать их. Человек может противостоять своим предпочтениям, откладывать потребности и действовать произвольно, принятие того или иного решения зависит от ситуации и внешних обстоятельств. Свободное волеизъявление можно считать основой для творческих решений, которые никогда раньше не принимались. Сложно формализовать и передать логическими правилами опыт и знания людей, которые влияют на их решения. К тому же воспри-

ятие одной и той же ситуации, и знания, вынесенные из нее, могут различаться у разных индивидов.

В целом можно сформулировать следующие отличия цифрового двойника человека от цифровых двойников машин:

1. Затруднен сбор данных, доступ к определенной категории информации защищен законодательством.

2. Моделирование поведения человека представляет большие сложности и отличается непредсказуемостью.

3. В отличие от машины человеком обладает разумом, осознанностью и возможностью влиять на ход событий и менять его.

4. Цифровой двойник промышленного объекта постоянно подключен к своему аналогу, в то время как обеспечить постоянную непрерывающуюся связь цифрового двойника человека к его физическому аналогу крайне затруднительно. Таким образом, пользователи и эксперты вынуждены постоянно обновлять цифровую модель человека посредством ввода новых данных о физическом аналоге.

Анализ и классификация данных для создания цифрового двойника человека. Даные, которые формируют цифровой двойник человека и позволяют прогнозировать его состояние и поведение, крайне многообразны. Источниками данных могут быть активность пользователя в сети Интернет и его цифровые следы, результаты медицинских обследований, полученные в процессе медицинских вмешательств. Следовательно, есть побочные пути получения информации из Сети и естественные, возникающие в процессе жизнедеятельности людей.

Сбор данных для создания цифрового двойника человека крайне затруднителен и возможен в том случае, если владельцы этих данных – частные компании и государственные органы объединят свои усилия, и для обработки полученной информации будут организованы междисциплинарные исследования.

На рис. 2 отображены виды данных для создания цифрового двойника человека.

Генетический и биографический код несомненно имеют сильнейшее влияние друг на друга. Дополнительная информация для создания цифрового двойника человека формируется на результатах анализа биографического и генетического кодов человека, полученные знания также должны быть использованы для создания достоверной цифровой модели.



Рис. 2. Виды данных для создания цифрового двойника человека

Сегодня индивидуальная последовательность ДНК человека может быть легко определена с помощью новых технологий секвенирования [11], и этот процесс становится все более доступным. Гораздо более сложная задача – выяснить, что определяет последовательность ДНК, то есть какую информацию она содержит, это является предметом научных исследований. Понимание геномов отдельных людей и использование знаний о них может служить для разработки персонализированных методов лечения.

Биографические данные могут быть зафиксированы и обработаны, это то, что определяет среду, условия и образ жизни человека. Биографический и генетический коды влияют друг на друга, о чем свидетельствуют последние исследования в области эпигенетики, науки изучающей влияние человеческого поведения и окружающей среды на активацию тех или иных генов.

Последовательность ДНК остается постоянной в течении жизни, но какие гены активируются благодаря ферментам зависит от внешних условий (стресс, травма, питание). Особый интерес здесь представляют исследования идентичных близнецов, которые имеют одинаковые геномы. Есть случаи, когда близнецы имеют генетическую предрасположенность к определенной болезни, но болеет только один близнец; другой остается здоровым. Доказано, что изменения в том, как считывается ДНК, не только влияют на человека, но и могут иметь

влияние на следующее поколение [12]. Полный (глобальный) цифровой двойник человека, по сути, должен содержать все потенциально измеряемые типы данных. Но есть данные, которые невозможно сохранить или измерить, к которым относится свободная воля человека, его знания, опыт и она представлена вне цифрового двойника.

Систематизированные данные для создания цифрового двойника человека представлены в табл. 1.

Гражданин для государства и бизнеса интересен как субъект экономических отношений, налогоплательщик и потребитель, поэтому одна из важнейших категорий для сбора данных – экономические показатели, куда входит общая персональная и идентификационная информация, банковские и финансовые данные. Показатели второй группы, куда входят генетические, физические, психические характеристики человека, в большей степени определяются его генетическим кодом. Третья группа показателей характеризует социальную принадлежность и мировоззрение, формируются под влиянием ближайшего окружения и в зависимости от внешних условий, обстоятельств жизни и социальной активности индивида. Четвертая группа показателей образуется как следствие активности человека в сети Интернет и на базе сбора данных о нем техническими устройствами, в том числе на основе технологии IoT.

Классификация данных для создания цифрового двойника человека

| Поставщик (источник) данных | Тип данных | Атрибуты |
|---|---|---|
| 1. Экономические характеристики | | |
| Государственные органы | Общая персональная информация | Фамилия, имя и отчество, пол, дата рождения, город рождения, гражданство, образование, расовая и этническая принадлежность, статус (работающий, безработный, студент, пенсионер и т.д.) |
| | Идентификационная информация | Паспортные данные, индивидуальный номер налогоплательщика, страховой номер индивидуального лицевого счета |
| Банки | Банковские данные | Доходы, затраты, кредитная история |
| Предприятия-работодатели | Финансовые данные | Заработка плата, налоги, отчисления в фонды |
| 2. Генетические, физические, психические характеристики | | |
| Медицинские учреждения | Физические параметры | Рост, вес, ширина плеч, объемы, цвет волос и глаз, размер одежды, телосложение и т.д. |
| | Физиологические параметры | Частота сердечных сокращений, мышечное напряжение, частота моргания и т.д. |
| Министерство внутренних дел | Биометрические данные | Отпечатки пальцев, рисунок радужной оболочки глаза и сетчатки, голос |
| Работодатели, учебные заведения, Площадки для поиска работы и размещения резюме | Психосоциальные параметры | Активность, ответственность, склонность к сотрудничеству |
| | Ментальные параметры | Опыт, навыки, способности, рабочая нагрузка |
| Эксперты | Эмоциональные и поведенческие параметры | Темперамент, коммуникабельность, самоконтроль, самооценка, способность работать в коллективе, взаимодействие с системой |
| | Психические характеристики | Тип нервной системы, психические заболевания, когнитивные способности (память, внимание, логика, воображение, речь) |
| Медицинские учреждения, лаборатории, Министерство внутренних дел | Генетический код | ДНК, наследственные заболевания, наследственные способности, склонности, предрасположенности |
| 3. Социальная принадлежность и мировоззрение | | |
| Органы государственной власти, работодатели, сообщества | Социальная принадлежность | Социальный класс, принадлежность к субкультурам, членство в профсоюзах |
| Образовательные учреждения, сообщества | Этническая принадлежность | Владение языком, этническое образование |
| Образовательные учреждения, сообщества, органы государственной власти | Убеждения | Философские убеждения, религиозные убеждения, политические взгляды, партийная принадлежность |
| 4. Сетевая активность и цифровой след | | |
| Операторы мобильной связи, ИТ-компании, провайдеры | Цифровой след | Данные о геолокации, IP-адреса, куки, данные социальных сетей |
| Телекоммуникационные компании, поставщики облачных услуг, центры обработки данных | IoT-данные | Данные с IoT-устройств и камер видеонаблюдения |

Архитектура цифрового двойника человека. Цифровые двойники можно назвать одним из ведущих драйверов Индустрии 4.0. Разработка архитектуры цифровых двойников является ключевой задачей их создания, поскольку позволяет рационально спроектировать процессы сбора и интеграции разрозненных неструктурированных данных, эффективной обработки поступившей информации, взаимодействия разнообразных сервисов и приложений, поддерживающих принятие решений по управлению физическим объектом.

На рис. 3 представлена предлагаемая архитектура цифрового двойника человека.

Архитектура цифрового двойника человека должна соответствовать следующим параметрам:

Включать три ключевых аспекта понятия «цифровой двойник»: сам физический актив, его цифровое представление и зеркальную связь между ними, которая считается важнейшей особенностью цифровых двойников [13].

Обладать открытостью и соответствовать стандартам для поддержания возможности функционального расширения и совместимости с сервисами и приложениями окружающей экосистемы, находящейся в процессе постоянной эволюции. Обеспечивать наличие информаци-

онной связи в реальном времени между физическим объектом и его цифровым представлением для создания целостной киберфизической системы с возможностью управления ею, как на физическом, так и на виртуальном уровнях [14].

Обладать функциональной полнотой и способностью к масштабируемости, иметь повышенную надежность, учитывать взаимосвязь между интегрированными подсистемами и процессами.

Цифровой двойник человека симулирует все возможные режимы работы объекта в течение его жизни, учитывает влияние внешних факторов и процессов управления, позволяет предсказывать будущее состояние и поведение физического объекта. Цифровой двойник непрерывно обучается и обновляет свои параметры, получая информацию от множества сенсоров, правильно представляет состояние физического объекта [15]. При обучении им используются текущие данные от сенсоров, от устройств управления, от внешней среды, он объединяет фактические данные со знаниями, полученными от инженеров, опытных специалистов в данной области. Цифровой двойник использует исторические данные, накопленные на предыдущих этапах.

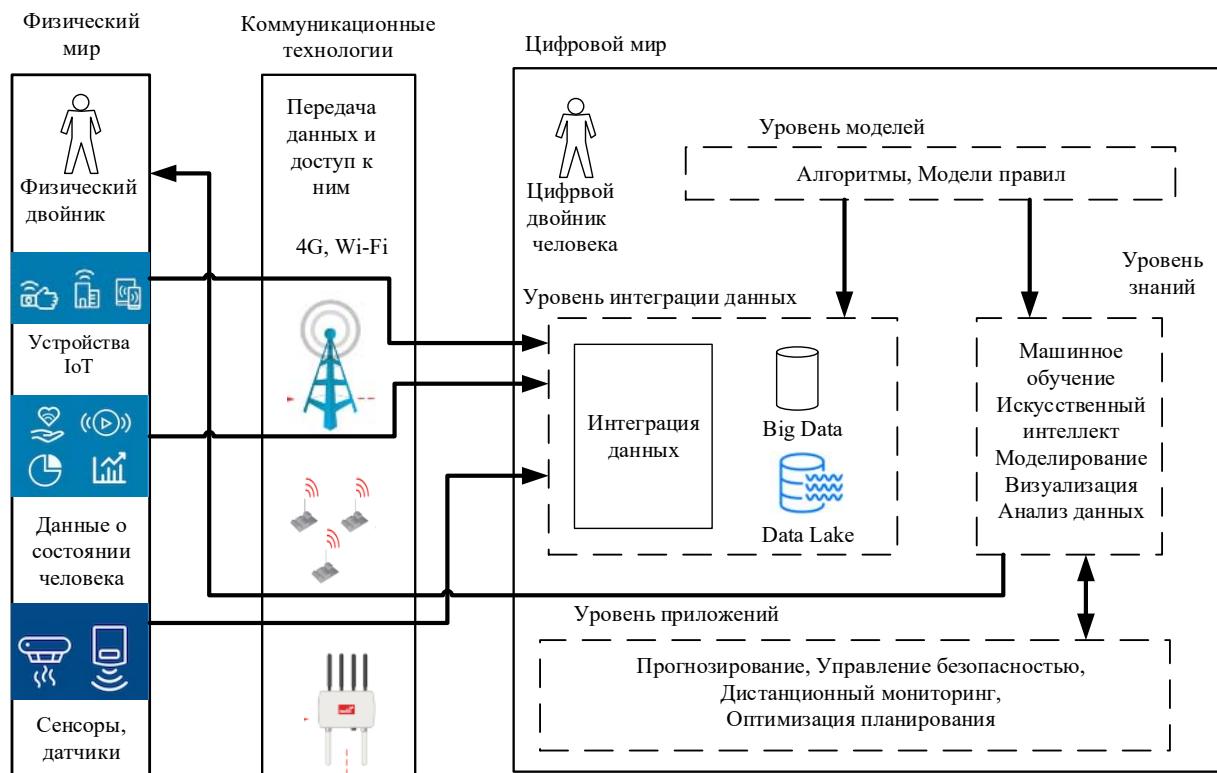


Рис. 3. Архитектура цифрового двойника человека

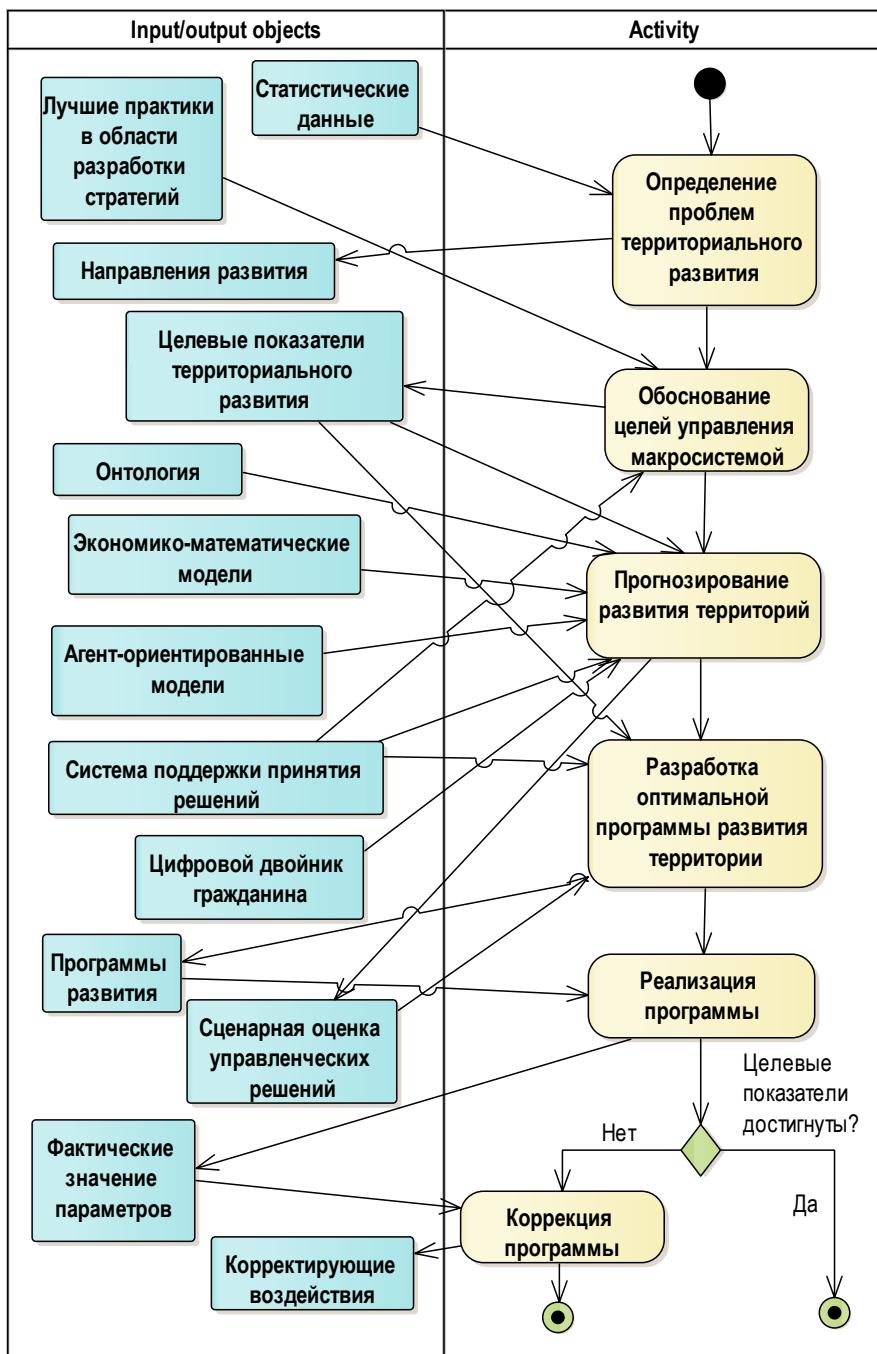


Рис. 4. UML-диаграмма активности процесса поддержки принятия решений на всех этапах стратегического планирования

Информационная поддержка процесса стратегического планирования территориального развития. Процесс стратегического планирования включает этапы целеполагания, прогнозирования, планирования и реализации программ. На рис. 4 представлена UML-диаграмма активности процесса поддержки принятия решений на всех этапах стратегического планирования.

На этапе целеполагания определяются направления, цели и приоритеты социально-экономического развития. Анализ данных официальной государственной статистики дает представление о текущем состоянии макросистемы. Важно отобрать и использовать лучшие практики стратегического планирования для постановки целей и определения ключевых показателей территориального развития.

Прогнозирование является чрезвычайно важным этапом стратегического планирования, поскольку анализ альтернативных сценариев развития макросистемы при изменениях внешней среды позволяет разработать оптимальный план социально-экономического развития при существующих ресурсных ограничениях. Для обеспечения точности прогнозов необходим серьезный инструментарий, который должен включать экономико-математические и агент-ориентированные модели, онтологии, модели цифрового двойника гражданина и систему поддержки принятия решений.

Технологии цифрового двойника человека важны для построения качественных прогнозов развития макросистем, так как позволяют определить закономерности в поведении различных представителей общества в ответ на управляемые воздействия, осуществляемые органами исполнительной власти.

Сценарная оценка управляемых решений, полученная на этапе прогнозирования, позволяет обосновать принимаемые планы, национальные проекты и программы развития, в ходе реализации которых необходим постоянный мониторинг фактических значений ключевых показателей макросистемы для выявления возможного отклонения от намеченной траектории развития. В случае выявления отклонений необходима коррекция управляемых решений.

Заключение. В ходе исследования были получены следующие результаты, обладающие новизной:

1. Предложена модель многоуровневой интегрированной архитектуры цифрового двойника человека для решения задач социально-экономического управления.

Необходимой и важной ее характеристикой являются соответствие общепринятым стандартам, что обеспечивает возможность ее масштабирования и адаптации к эволюционирующим технологиям окружающей экосистемы.

Разработанная модель архитектуры цифрового двойника человека позволяет рационально спроектировать процессы сбора и интеграции разрозненных неструктурированных данных, эффективной обработки поступившей информации, взаимодействия разнообразных сервисов и приложений, поддерживающих принятие решений по управлению физическим объектом.

2. Разработана классификация данных для создания цифрового двойника человека. Опре-

делены основные группы показателей, позволяющие интегрировать данные биографического и генетического кодов человека.

Практическая значимость предлагаемой модели архитектуры цифрового двойника человека заключается в решении следующих задач с ее использованием:

- поддержка принятия решений при управлении макросистемой,
- оценка эффективности стратегических планов и национальных проектов,
- прогнозирование изменения целевых показателей макроэкономики в зависимости от изменений внешних условий и реализации стратегий развития,
- внедрение инновационных цифровых решений в управление экономическими процессами, переход к цифровой экономике.

Внедрение технологий цифрового двойника человека в процессы стратегического планирования развития макроэкономических систем позволит учитывать текущие потребности и глобальные вызовы, устранить несогласованность принимаемых органами власти различных уровней решений, сформировать четкую систему анализа и эффективного использования управляемой информации, повысить качество формируемых прогнозно-плановых оценок по основным параметрам развития экономики.

Исследование выполнено в рамках Государственного задания УФИЦ РАН № 075-00571-25-00 на 2025 г. и на плановый период 2026 и 2027 годов.

Литература

1. Низамутдинов М.М., Давлетова З.А. Агент-ориентированная модель прогнозирования влияния качества жизни населения на миграционное движение в разрезе федеральных округов РФ // Управленческие науки. 2024. Т. 14. № 4. С. 6–23.
2. Hazrat M.A. et al. Developing a Skilled Workforce for Future Industry Demand: The Potential of Digital Twin-Based Teaching and Learning Practices in Engineering Education // Sustainability. 2023. V. 15. № 23. URL: <https://doi.org/10.3390/su152316433>
3. Meijer C., Uh H.-W., Bouhaddani S. Digital Twins in Healthcare: Methodological Challenges and Opportunities // Journal of Personalized Medicine. 2023. V. 13. № 10. URL: <https://doi.org/10.3390/jpm13101522>
4. Логинов Е.Л., Шкута А.А. Искусственный интеллект и BIG DATA для управления социумом в условиях стратегических бифуркаций: цифровой двойник человека как партнера-клиента-оппонента органов

управления // Искусственные общества. 2019. Т. 14. № 3. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800006309-8-1/>

5. Asad U. et al. Human-Centric Digital Twins in Industry: A Comprehensive Review of Enabling Technologies and Implementation Strategies // Sensors. 2023, V. 23, № 8. URL: <https://doi.org/10.3390/s23083938>

6. Martynov V.V., Filosova E.I., Zvereva N.N. Computer Technologies for Modeling the Competencies of Employees of Industrial Enterprises as Part of a Digital Twin of a Person // Proceedings – 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. 2023. P. 911–915.

7. El Saddik A. Digital twins: The convergence of multimedia technologies // IEEE MultiMedia. 2018, V. 25, № 2. P. 87–92.

8. Grabler I. et al. The Digital Twin of Humans: eBook. Cham: Springer Nature, 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-26104-6>

9. Billett S., Harteis C., Gruber H. Developing occupational expertise through everyday work activities and interactions: The Cambridge handbook of expertise and expert performance. Dordrecht: Springer, 2014. URL: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8902-8>

10. Man K., Damasio A. Homeostasis and soft robotics in the design of feeling machines // Nature Machine Intelligence. 2019. V. 1. № 10. P. 446–452.

11. Wetterstrand K.A. DNA sequencing costs: Data from the NHGRI genome sequencing program (GSP). URL: www.genome.gov/sequencingcostsdata

12. Huypens P. et al. Epigenetic germline inheritance of diet-induced obesity and insulin resistance // Nature Genetics. 2016. V. 48. № 5. P. 497–499.

13. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems // Book. Cham: Springer. 2017. 327 p.

14. Гапанович Д.А., Тарасова В.А., Сухомлин В.А., Куприяновский В.П. Анализ подходов архитектурного проектирования цифровых двойников // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Т. 10. № 4. С. 71–83.

15. Botin-Sanabria D.M. et al. Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review // Remote Sens. 2022. V. 14. № 6. URL: <https://doi.org/10.3390/rs14061335>

ital Twin-Based Teaching and Learning Practices in Engineering Education // Sustainability, 2023, vol. 15, no. 23, URL: <https://doi.org/10.3390/su152316433>

3. Meijer C., Uh H.-W., BouhaddaniS. Digital Twins in Healthcare: Methodological Challenges and Opportunities // Journal of Personalized Medicine, 2023, vol. 13, no. 10, URL: <https://doi.org/10.3390/jpm13101522>

4. Loginov E., Shkuta A. Artificial Intelligence and BIG DATA for Social Management in the context of strategic bifurcations: a digital double of man as a partner-client-opponent of the governing bodies // Artificial societies, vol. 14, no. 3, DOI: 10.18254/S207751800006309-8

5. Asad U. et al. Human-Centric Digital Twins in Industry: A Comprehensive Review of Enabling Technologies and Implementation Strategies // Sensors, 2023, vol. 23, no. 8, URL: <https://doi.org/10.3390/s23083938>

6. Martynov V.V., Filosova E.I., Zvereva N.N. Computer Technologies for Modeling the Competencies of Employees of Industrial Enterprises as Part of a Digital Twin of a Person // Proceedings – 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, 2023, pp. 911–915.

7. El Saddik A. Digital twins: The convergence of multimedia technologies // IEEE MultiMedia, 2018, vol. 25, no. 2. pp. 87–92.

8. Grabler I. et al. The Digital Twin of Humans: eBook. Cham: Springer Nature, 2023, URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-26104-6>

9. Billett S., Harteis C., Gruber H. Developing occupational expertise through everyday work activities and interactions: The Cambridge handbook of expertise and expert performance. Dordrecht: Springer, 2014, URL: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8902-8>

10. Man K., Damasio A. Homeostasis and soft robotics in the design of feeling machines // Nature Machine Intelligence, 2019, vol. 1, no. 10, pp. 446–452.

11. Wetterstrand K.A. DNA sequencing costs: Data from the NHGRI genome sequencing program (GSP). URL: www.genome.gov/sequencingcostsdata

12. Huypens P. et al. Epigenetic germline inheritance of diet-induced obesity and insulin resistance // Nature Genetics, 2016, vol. 48, no. 5, pp. 497–499.

13. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems // Book. Cham: Springer, 2017. 327 p.

14. Gapanovich D.A., Tarasova V.A., Sukhomlin V.A., Kupriyanovskiy V.P. Analysis of approaches to architectural design of digital twins // International Journal of Open Information Technologies, 2022, vol. 10, no. 4, pp. 71–83.

15. Botin-Sanabria D.M. et al. Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review // Remote Sens., 2022, vol. 14, no. 6, URL: <https://doi.org/10.3390/rs14061335>

References

1. Nizamutdinov M.M., Davletova Z.A. Agent-based model for forecasting the impact of the population life quality on migration movement in the context of the Russian Federation federal districts // Управленические науки = Management Sciences, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 6–23.

2. Hazrat M.A. et al. Developing a Skilled Workforce for Future Industry Demand: The Potential of Dig-



SUPPORT FOR DECISION-MAKING IN STRATEGIC PLANNING OF TERRITORIAL DEVELOPMENT BASED ON HUMAN DIGITAL TWIN TECHNOLOGIES

© V.V. Martynov¹, Z.A. Davletova^{1,2}

¹Ufa University of Science and Technology,
32, ulitsa Zaki Validi, 450076, Ufa, Russian Federation

²Institute of Social and Economic Researches – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre
of the Russian Academy of Sciences,
69, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

The aim of this study is to analyze and classify data to create a reliable digital twin of a person – a subject of economic relations, as well as to develop models for collecting, transmitting, integrating, and processing this data to build the architecture of a human digital twin for the intellectual support of the process of strategic planning of territorial development. The place of a human digital twin in the overall system of digital technologies is determined. The ethical issues of creating a human digital twin, the threats and prospects for using such a digital model are considered. The differences between a human digital twin and a machine digital twin are highlighted. Data sources are analyzed and a classification of data for creating a human digital twin is proposed. The authors have developed a model of an integrated multi-level architecture of a human digital twin. The decision-making support process for strategic planning of territorial development is modeled based on human digital twin technologies, an agent-oriented approach, and the use of ontologies that ensure the reliability of macrosystem development forecasts.

Keywords: human digital twin, multi-level integrated architecture, strategic planning, simulation modeling, agent-based approach, decision support.