

**<sup>1</sup>Ш.Ж. Сеилов, <sup>1</sup>Е.Ш. Журсинбек, <sup>1</sup>А.Т. Кузбаев, <sup>1</sup>Д.Ж. Сатыбалдина, <sup>1</sup>А.А. Сейлов, <sup>1</sup>Д.Ш. Шингисов, <sup>2</sup>В.Ю. Гойхман, <sup>3</sup>А.К. Леваков, <sup>4</sup>Н.А. Соколов**

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф.

М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>3</sup>Компания "Искрател", Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>4</sup>Компания "ПРОТЕЙ СТ", Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: seilov\_shzh@enu.kz

## СЕТЬ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ: МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

**Аннотация.** В последние годы в научно-технической литературе активно обсуждаются идеи по созданию цифровых двойников для решения широкого круга задач, которые возникают перед предприятиями различного рода. Достижения в областях информационных технологий и разработки необходимого программного обеспечения действительно позволяют получить новые важные результаты за счет создания цифровых двойников. В статье обсуждается предложение по построению сети цифровых двойников, используемой в качестве моделей для решения ряда актуальных задач в сложных системах электросвязи. В качестве примеров таких задач рассматриваются два приложения. Первое приложение – организация информационной обратной связи для предприятий, занятых в жизненном цикле телекоммуникационной сети: "формирование принципов модернизации, разработка оборудования, проектирование, строительство, эксплуатация". Второе приложение – мониторинг трафика, включая его атипичное поведение для того, чтобы избежать повторения ошибочных действий при возникновении нештатных ситуаций. Еще одна важная особенность сети цифровых двойников заключается в том, что она, по всей видимости, станет эффективным инструментом для проведения междисциплинарных исследований.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, сеть, система электросвязи, жизненный цикл, трафик, мониторинг, информационная безопасность, нештатная ситуация.

**Введение.** Использование функциональных возможностей кибернетической модели [1], названной цифровым двойником (Digital Twin), позволяет решить ряд сложных задач различного рода. Отличие цифрового двойника от привычных математических моделей [2] заключается в том, что он позволяет точнее отображать текущее состояние исследуемого объекта или процесса. При этом цифровой двойник может оперировать не только с реальностью, которая предполагается объективно существующей. Он также может работать с дополненной [3] и с измененной [4] реальностью. Эту особенность цифрового двойника иллюстрирует рисунок 1. Пунктирная линия под третьим номером указывает на связь между дополненной и измененной реальностью. Функциональные возможности такой связи – предмет отдельного изучения.

Особенности цифрового двойника, применительно к одному объекту, хорошо изложены в технической литературе [5, 6, 7]. Задача этой статьи заключается в разработке основ концепции, которая распространяет принципы применения цифровых двойников на совокупность объектов или процессов. В качестве примера такой совокупности выбрана сложная система электросвязи, обеспечивающая поддержку широкого набора услуг.

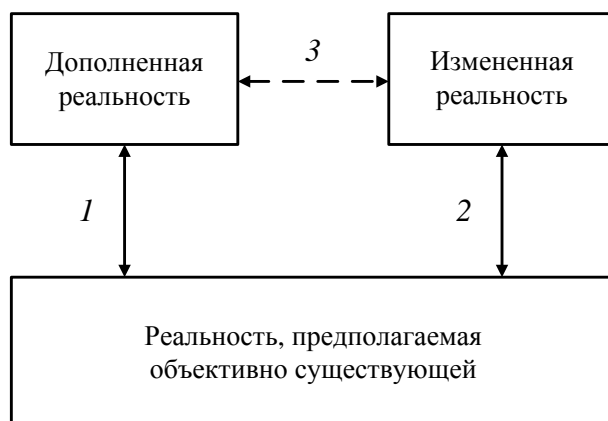


Рисунок 1. Два вида реальности

Обсуждаемая идея направлена на обеспечение устойчивого функционирования сложных систем электросвязи. Разработанные решения иллюстрируются на двух основных примерах.

Первый пример связан с организацией цепочки обратной связи для основных участников инфокоммуникационного рынка, занятых в жизненном цикле, который представлен таким набором операций:

- формирование принципов модернизации эксплуатируемой телекоммуникационной сети;
- разработка оборудования передачи, коммутации и обработки информации;
- составление проектной документации работ, позволяющей приступить к модернизации эксплуатируемой телекоммуникационной сети;
- проведение строительных работ, в результате которых обновляется система электросвязи в целом;
- организация процессов технической эксплуатации с учетом новых свойств системы электросвязи.

Второй пример связан с мониторингом обслуживаемого трафика. Для этого примера рассматривается частный случай, касающийся радикального изменения трафика вследствие возникновения нештатных ситуаций. Мониторинг трафика в таких ситуациях показал, что начинается резкий рост активности пользователей системы электросвязи. Если удастся найти рациональные решения по обслуживанию трафика в подобных случаях, то соответствующий опыт необходимо использовать всеми Операторами связи.

Статья состоит из четырех основных разделов. В первом разделе анализируются особенности математических моделей цифрового двойника. Второй раздел содержит предлагаемые концептуальные положения по созданию сети цифровых двойников. Два упомянутых выше примера применения рассматриваемой концепции изложены в третьем и четвертом разделах соответственно.

**1. Особенность математических моделей.** Одна из часто используемых математических моделей представляет собой черный, серый или белый ящик [2]. Черный ящик рассматривается как объект, о сути которого мы ничего не знаем кроме набора функций вида  $A(t)$ ,  $B(t)$ ,  $C(t)$  и  $D(t)$ . Эти функции описывают внешнее воздействие, операции, выполняемые черным ящиком, управляющие воздействия и результат соответственно. Для серого ящика, пример которого приведен на рисунке 2, помимо знания функций  $A(t)$ ,  $B(t)$ ,  $C(t)$  и  $D(t)$  доступна неполная информация о структуре и функциях исследуемого объекта. Модель в виде белого ящика применяется в тех случаях, когда информация о структуре и функциях исследуемого объекта считается полной и достоверной.

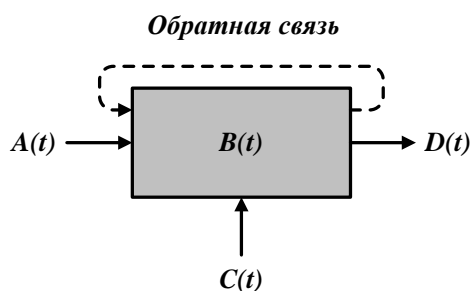


Рисунок 2. Модель "серого ящика"

Важная особенность рассматриваемой модели состоит в том, что в ней реализована петля обратной связи. Она зачастую позволяет заметно повысить ценность модели. К сожалению, на практике не всегда удается создать модель, в которой существует петля обратной связи. Одна из задач цифрового двойника – построение эффективной петли обратной связи, которая может менять свои функции с учетом особенности процессов, протекающих в системе электросвязи.

Эффективность использования математических моделей определяется рядом факторов, среди которых уместно выделить три важных положения:

- а) степень адекватности предлагаемой модели исследуемому объекту или процессу;
- б) точность математических операций, выполняемых в процессе исследования модели;
- в) корректность интерпретации математических результатов для принятия практических решений.

На рисунке 3 показаны три фазы: разработка модели, ее исследование и интерпретация полученных результатов. На каждой фазе реализуются процессы, которые приводят к накоплению ошибок. В результате некая зависимость  $F_1(x_1, x_2, x_m)$ , которую условно можно считать правильной, постепенно преобразуется в функцию  $F_2(y_1, y_2, y_n)$ . Эта функция содержит ряд ошибок, которые могут заметно исказить необходимые результаты.

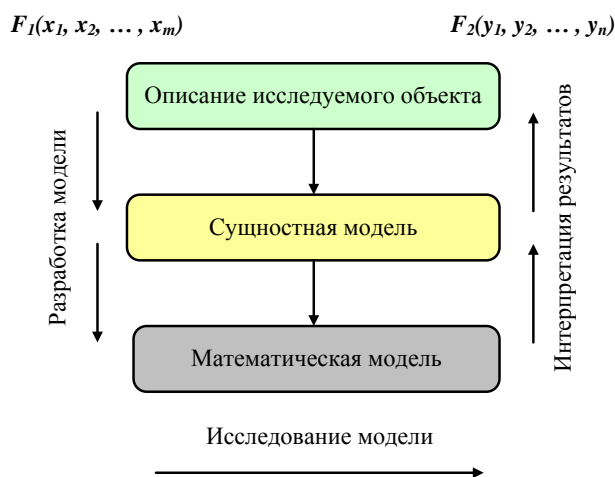


Рисунок 3. Этапы накопления возможных ошибок

Следует отметить, что достижения современной математики позволяют утверждать, что минимальные ошибки в исследовании модели соответствуют положению (б). Минимизация ошибок, определяемых положением (а) обеспечивается использованием модели в виде цифрового двойника. Степень адекватности может приближаться к максимально возможному уровню. В значительной мере такой же вывод относится к положению (в). Однако справедливость такого утверждения связана с использованием

модели в виде сети цифровых двойников. Данная гипотеза рассматривается в следующем разделе настоящей статьи.

**2. Модель сети цифровых двойников.** На первый взгляд, предлагаемая модель образуется как простая совокупность цифровых двойников (ЦД). На самом деле сеть цифровых двойников представляет собой более сложную конструкцию. На рисунке 4 показана модель, состоящая из семи цифровых двойников. Каждый цифровой двойник служит моделью одного объекта и/или процесса. Типичным примером исследуемого объекта служит узел коммутации. Интерфейсы между элементами модели обозначены как  $NNI_j$  – Network Node Interface (интерфейс узел-сеть)  $j$ -го типа. Рассматриваемая иллюстрация содержит три типа интерфейсов класса  $NNI_j$  –  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

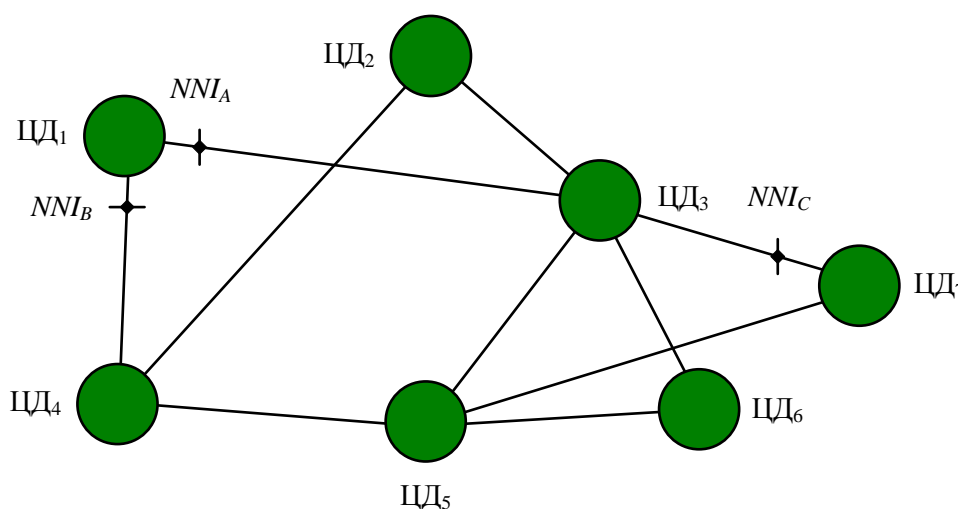


Рисунок 4. Сеть цифровых двойников

Различие интерфейсов определяется, в основном, стеком используемых протоколов [8]. На уровне сетевого доступа, как правило, используется технология Ethernet. На межсетевом и транспортном уровнях обычно доминирует стек протоколов TCP/IP. На прикладном уровне, скорее всего, потребуется разработка нового протокола или даже набора протоколов. Можно утверждать, что в сети цифровых двойников будут широко применяться технологии Big Data [9] – большие данные, Data Mining [10] – интеллектуальный анализ данных, Neural Networks [11] – нейронные сети и им подобные. Очевидно, что в сети цифровых двойников будут широко использоваться и облачные, и туманные вычисления [12, 13].

Информация, накопленная сетью цифровых двойников, станет хорошей базой для разработки сценариев развития телекоммуникационных сетей [14]. Обработка этой информации позволит снизить риски [15], неизбежные для развития сложных систем любого вида вследствие неопределенности и стохастичности движущих сил эволюционных процессов.

Утверждение подобного рода целесообразно проиллюстрировать несколькими примерами. Два таких примера рассматриваются в следующих разделах статьи.

**3. Сеть цифровых двойников и петли обратной связи.** Жизненный цикл системы электросвязи можно представить в виде пяти последовательных этапов, показанных на рисунке 5. Предполагается, что окончанием жизненного цикла системы электросвязи является качественно новый этап ее модернизации. Это обстоятельство и ограничение количества этапов объясняет использование слово "упрощенный" в названии предложенной модели.

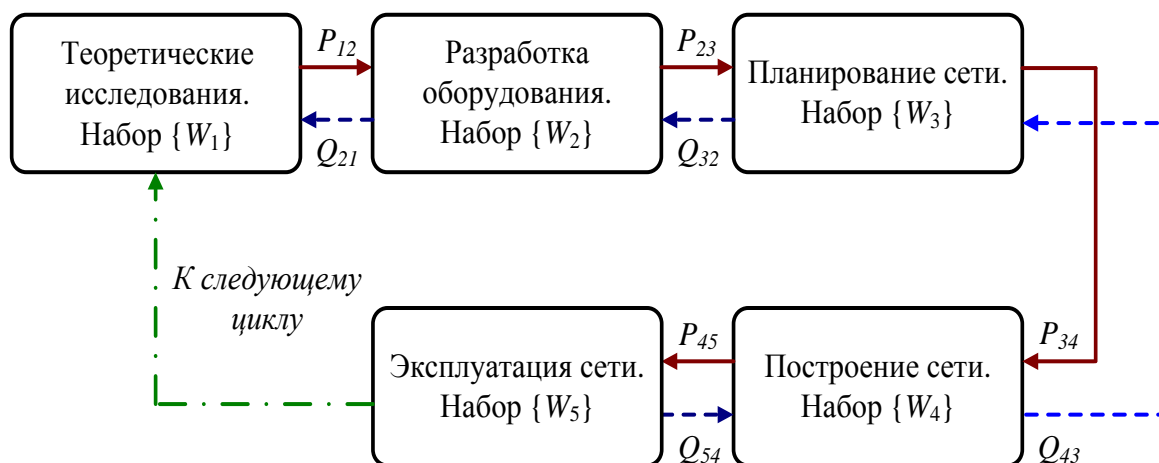


Рисунок 5. Упрощенный жизненный цикл телекоммуникационной сети

Набор  $W_1$  включает совокупность результатов теоретических исследований, которые формируют концепцию создания или модернизации системы электросвязи. Значения остальных наборов  $W_k$  ( $k = 2, 3, 4, 5$ ) определяются названиями соответствующих прямоугольников.

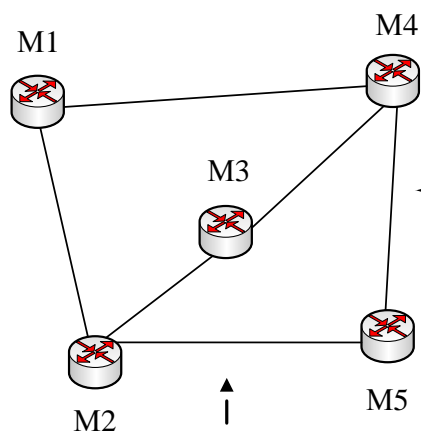
Часть полученных результатов используется разработчиками оборудования передачи, коммутации и обработки информации. При этом некоторые теоретические положения пересматриваются. Мера различия решений для этапов  $i$  и  $j$  ( $j=i+1$ ) обозначена как величина  $P_{ij}$ . Величина  $Q_{ij}$  считается мерой эффективности обратной связи между разработчиками решений для этапов  $i$  и  $j$  ( $j=i-1$ ).

Анализ основных этапов жизненного цикла, проведенный для ряда систем электросвязи, показал, что различия  $P_{ij}$  бывают весьма существенными, а эффективность обратной связи между разработчиками решений – близкой к нулю. Радикальное изменение сложившейся ситуации может быть обеспечено за счет создания сети цифровых двойников. Эта сеть позволит разработчику решений отслеживать все изменения, вносимые на последующих этапах, и вмешиваться в процессе развития системы электросвязи. Иными словами, могут быть минимизированы значения  $P_{ij}$ . Автоматизация обмена информацией обеспечивает максимизацию величин  $Q_{ij}$ .

**4. Сеть цифровых двойников и мониторинг трафика.** Результаты мониторинга трафика служат важной информационной базой для модернизации системы электросвязи [16]. Для реализации функций мониторинга трафика могут использоваться как программное обеспечение узлов коммутации, так и специализированные средства [17]. Показатели качества обслуживания для системы электросвязи определены рекомендациями Международного союза электросвязи [18]. Задача всех основных участников инфокоммуникационного рынка заключается в обеспечении нормированных показателей качества обслуживания мультисервисного трафика [19].

На рисунке 6 показана модель системы электросвязи (левый фрагмент) и ее цифровой двойник (правый фрагмент). Предполагается, что сеть связи состоит из пяти маршрутизаторов. Следовательно, сеть цифровых двойников будет насчитывать пять элементов. Цифровой двойник представляет собой неориентированный граф с вершинами  $a_i$  и ребрами  $b_{ij}$ . Термины, используемые в предлагаемой конструкции, заимствованы из концепции *diagraph* [20]. Эта концепция включает понятие "цифровой двойник" в качестве одного из основных компонентов.

Телекоммуникационная сеть



dia\$par.Enterprise

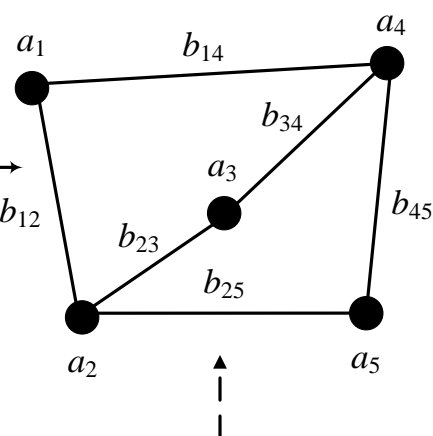


dia\$par.Mirror

$M$  - маршрутизатор

IEM – Intelligent Enterprise Managing

Неориентированный граф



dia\$par.Matrix

Рисунок 6. Создание цифрового двойника телекоммуникационной сети

Вершинам  $a_i$  и ребрам  $b_{ij}$  могут быть поставлены в соответствие различные атрибуты телекоммуникационной сети или их совокупность. Типичными примерами таких атрибутов служат: информация о стоимости используемых технических средств, показатели пропускной способности и характеристики надежности и живучести. С точки зрения рассматриваемого примера основной интерес связан с характеристиками обслуживаемого трафика, но оценки стоимости, надежности и живучести также могут быть востребованы.

Результаты, накопленные сетью цифровых двойников, полезны для решения ряда задач. Очень важным аспектом мониторинга трафика считается его поведение при возникновении чрезвычайных ситуаций [21]. Они служат характерным примером нештатных ситуаций, возникающих в системе электросвязи вследствие воздействия внешних факторов.

Трафик в подобных случаях растет лавинообразно. Этот процесс может усугубляться отказами части оборудования, которые наступают из-за разрушающих воздействий, свойственных ряду чрезвычайных ситуаций. Кроме того, может заметно меняться перечень услуг, востребованных пользователями системы электросвязи.

Прообраз сети цифровых двойников позволил решить ряд актуальных проблем, касающихся функционирования мультисервисной сети в условиях чрезвычайных ситуаций [22, 23]. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования петель обратной связи, пример которых был приведен в предыдущем разделе данной статьи.

Мониторинг трафика при возникновении чрезвычайных ситуаций служит примером пассивного использования тех функциональных возможностей, которые свойственны сети цифровых двойников. Дополнительные свойства сети цифровых двойников, которые в явном виде не присущи сложным системам, могут использоваться для прогноза их поведения при возникновении нештатных ситуаций различного рода.

Один из характерных примеров нештатных ситуаций – выброс наблюдаемых значений какого-либо процесса. В статистике выбросом считается наблюдаемое значение, заметно отличающееся от остальных элементов выборки [24]. Выбросы, как правило, возникают случайным образом. Они могут быть обусловлены ошибками измерений, а также свидетельствовать о наличии так называемого "тяжелого хвоста" [25]. Возможны также иные причины появления выбросов.

На рисунке 7 показано поведение некоей функции  $f(x)$ , для которой уместно выделить три диапазона по оси абсцисс. Первый диапазон включает значения рассматриваемой функции на отрезке  $[0, x_1]$ . На отрезке  $(x_1, x_2)$  никаких значений функции  $f(x)$  не зафиксировано. Последние изменения функции  $f(x)$  наблюдаются на отрезке  $[x_2, x_3]$ . На практике возможно также формирование более трех диапазонов изменения функции  $f(x)$ .

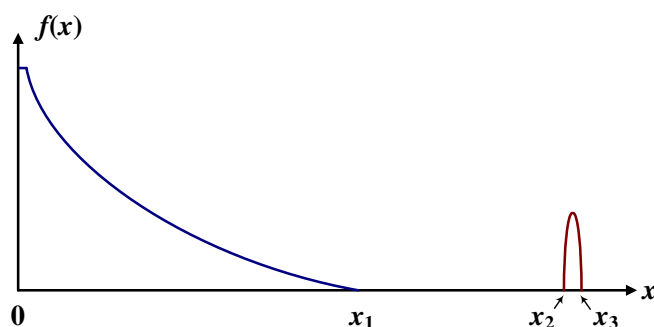


Рисунок 7. Пример поведения функции  $f(x)$

Подобные ситуации можно найти, анализируя результаты измерения трафика в Интернет. Они похожи на модель Тьюки-Хьюбера [26], для которой с весьма низкой вероятностью  $\varepsilon$  исследуемый процесс  $f(x)$  представим функцией  $h(x)$ . При этом с высокой вероятностью, равной  $(1 - \varepsilon)$ , наблюдается процесс, который описывается функцией  $g(x)$ :

$$f(x) = (1 - \varepsilon)g(x) + \varepsilon h(x).$$

В сети цифровых двойников можно проводить эксперименты, которые сложно осуществить, задействовав реальные объекты, без серьезных проблем для выполняемых бизнес-процессов. Например, поставлена задача по проверке качества работы телекоммуникационной сети в условиях существенного роста трафика. Если искусственно создать такой трафик, то в телекоммуникационной сети возникнет проблема с качеством обслуживания, что может привести к появлению жалоб и необходимости оплатить штрафы тем пользователям, которые заключили с Оператором связи соглашение об уровне обслуживания [27]. В сети цифровых двойников эксперимент с резким ростом трафика не приведет к отрицательным последствиям.

Применение модели Тьюки-Хьюбера и им подобных конструкций позволит получать прогностические оценки, необходимые для выбора пути модернизации сложных систем. Следует подчеркнуть, что прогнозы, основанные на использовании сети цифровых двойников, обычно дают ответ на вопрос: "Что будет?". Резонный вопрос: "Почему это может случиться?" требует самостоятельного исследования, для которого сеть цифровых двойников не всегда будет эффективным инструментом. Добиться приемлемого уровня эффективности можно в том случае, если изначально сложная система построена на основе рационального решения [28]. В этом случае сложная система устойчива при изменении внешних и внутренних факторов, влияющих на стабильность ее функционирования.

Не исключено, для решения задач прогнозирования некоторые модели в составе сети цифровых двойников придется дорабатывать. Трудоемкость доработки будет зависеть от характера той сложной системы, для которой создается сеть цифровых двойников. Более того, в ряде случаев будет полезна совместная работа двух и более сетей цифровых двойников.

Для иллюстрации последнего утверждения можно привести пример, который иногда приводят специалисты по технологиям Big Data и Data Mining [9, 10]. На одном предприятии

время от времени возникали массовые отказы в электронных блоках, которые собирались вручную. Закономерность возникновения отказов в течение долгого времени выявить не удавалось. Потом один из специалистов обратил внимание, что монтаж этих блоков осуществлялся преимущественно молодыми женщинами. Анализ периодов времени, в течение которых наблюдались отказы, и поздних сроков беременности ряда сотрудниц, занятых монтажом электронных блоков, позволил установить искомую закономерность. Повышенная потливость при сборке влияла на качество контактов, что приводило к отказам блоков. После того, как беременные сотрудницы перед выходом в декретный отпуск заблаговременно переводились на выполнение других работ, отказы прекратились.

Для получения подобных результатов должна быть предусмотрена возможность объединения тех сетей цифровых двойников, которые изначально создаются для решения абсолютно разных задач. Таким образом, можно говорить, что следует ориентироваться на объединение сетей цифровых двойников, что является весьма сложной задачей. В результате такого объединения создаются своего рода суперсети цифровых двойников.

**Заключение.** Идею построения сети цифровых двойников, судя по публикациям, которые известны авторам, можно считать пионерской. Разработка соответствующей полноценной концепции – предмет самостоятельной кропотливой работы, основанной, в том числе, на методах междисциплинарных исследований [29]. Тем не менее, два примера, рассмотренных в данной статье, иллюстрируют серьезные потенциальные возможности сети цифровых двойников для улучшения работы цикла "формирование принципов модернизации, разработка оборудования, проектирование, строительство, эксплуатация".

Сеть цифровых двойников, как один из видов моделей [2], способна расширить инструментарий научных исследований. Она не заменяет используемые ранее модели, а дополняет их новыми возможностями. Не исключено, что сеть цифровых двойников породит синергетический эффект [30] в сфере математического моделирования.

Важная задача, требующая отдельного исследования, заключается в обеспечении информационной безопасности [31, 32] сети цифровых двойников. По всей видимости, такой задаче будет присущ высокий уровень сложности. С другой стороны, сеть цифровых двойников за счет потенциальной возможности по выявлению разных каналов утечки информации сама может стать дополнительным инструментом повышения информационной безопасности.

По этим причинам авторы занялись исследованиями, связанными с сетями цифровых двойников, и решили ознакомить с полученными результатами читателей журнала. Мы будем рады отклику читателей и расширению круга специалистов, которые заинтересованы в тематике, прямо либо косвенно относящейся к феномену "сеть цифровых двойников".

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Ashby W.R. An Introduction to Cybernetics. – Martino Fine Books, 2015.- 306 p.
- [2] Мышкис А.Д. Элементы теории математических моделей. – М.: Книжный дом "Либриком", 2011. - 192 с.
- [3] Varnum K.J. Beyond Reality: Augmented, Virtual, and Mixed Reality in the Library. – ALA Editions, 2019. - 144 p.
- [4] Леваков А.К., Соколов Н.А. Концепция "Измененная реальность" // Вестник связи. – 2018. - №11. - С. 3–6.
- [5] Michael E.A., Kalyan R.B. Cyber-physical Systems and Digital Twins: Proceedings of the 16th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation. – Springer, 2020. - 862 p.
- [6] Farsi M., Daneshkhah A., Hosseinian-Far A., Jahankhan H. Digital Twin Technologies and Smart Cities (Internet of Things). – Springer, 2019. - 212 p.
- [7] Digital twin – Driving business value throughout the building life cycle. – Siemens White Paper. – Siemens Switzerland Ltd., 2018. - 16 p.
- [8] Comer D. Internetworking with TCP/IP. Volume One (6th Edition). – Pearson, 2013. - 774 p.



- [9] Erl T., Khattak W., Buhler P. Big Data Fundamentals: Concepts, Drivers & Techniques. – Prentice Hall, 2015. - 218 p.
- [10] Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining. Concept and Techniques. – Morgan Kaufmann Publishers, 2011. - 703 p.
- [11] Aggarwal C.C. Neural Networks and Deep Learning. – Springer, 2018. - 497 p.
- [12] Erl T., Mahmood Z., Puttini R. Cloud Computing: Concepts, Technology & Architecture. – Prentice Hall, 2013. - 528 p.
- [13] Chiang M., Balasubramanian B., Bonomi F. Fog for 5G and IoT. – Wiley, 2017. -305 p.
- [14] Huss W.R. A move towards scenarios//International Journal of Forecasting. – 1988. - N4. - P. 377–388.
- [15] Yoe C. Principles of Risk Analysis: Decision Making Under Uncertainty// CRC Press. – 2011. - 584 p.
- [16] ITU-D. Teletraffic Engineering Handbook (edited by V.B. Iversen). – Geneva, 2003. - 321 p.
- [17] Goichman V., Esalov K., Sokolov N. Using specialized computer systems to study the characteristics of telecommunication networks // Proceedings of the FRUCT'18 Saint-Petersburg, 18-22 April 2016. -p. 456–462.
- [18] ITU-T. Definitions of terms related to quality of service. Recommendation E.800. – Geneva, 2008. - 30 p.
- [19] Barreiros M., Lundqvist P. QOS-Enabled Networks: Tools and Foundations. – Wiley, 2016. - 233 p.
- [20] <https://diasparbusiness.com/cis-ru/diaspar-basics/>.
- [21] ITU-T. Next Generation Networks – Emergency telecommunications – Technical considerations. Recommendation Y.2205. – Geneva, 2011. - 52 p.
- [22] Levakov A., Sokolov N. Access to Emergency services during overload traffic period // 12th International Conference "Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking". - St. Petersburg, 2012. - p. 424–428.
- [23] Levakov A.K., Sokolov N.A. Three algorithms for traffic limitation in emergencies // Selected Papers of the IX Conference "Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems"/. - Moscow, Russia, 2019. - p. 84–91.
- [24] Grubbs F.E. Procedures for detecting outlying observations in samples// Technometrics, 1969. - Vol. 11, № 1. - p. 1–21.
- [25] Foss S., Korshunov D, Zachary S. An Introduction to Heavy-Tailed and Subexponential Distributions. – Springer, 2013. - 156 p.
- [26] Tukey J.W. A survey of sampling from contaminated distributions. – Contributions to Probability and Statistics, Stanford University Press, 1960. - p. 448–485.
- [27] Fawaz W., Daheb B., Audoin O., Du-Pond M., Pujolle J.: Service Level Agreement and Provisioning in Optical Networks // IEEE Communication Magazine, 2004. - Vol. 42. -p. 36–43.
- [28] Sokolov A., Sokolov N. Rational solutions for development of telecommunications networks// T-Comm, 2014. - Vol. 8, №6. -p. 81–84.
- [29] Выявление приоритетных научных направлений: междисциплинарный подход. // Отв. ред. И.Я. Кобринская, В.И. Тищенко. – М.: ИМЭМО РАН, 2016. - 181 с.
- [30] Абдокова Л.З. Синергетический эффект как результат эффективного управления. // Фундаментальные исследования, 2016. - № 10 (часть 3). - с. 581–584.
- [31] Запечников С.В., Милославская Н.Г., Толстой А.И., Ушаков Д.В. Информационная безопасность открытых систем. Том 1: Угрозы, уязвимости, атаки и подходы к защите. - М.: Горячая Линия – Телеком, 2006. - 536 с.
- [32] Запечников С.В., Милославская Н.Г., Толстой А.И., Ушаков Д.В. Информационная безопасность открытых систем. Том 2: Средства защиты в сетях. - М.: Горячая Линия – Телеком, 2008. - 560 с.
- [33] Сеилов Ш.Ж., Гойхман В.Ю., Касенова М.Н., Кузбаев А.Т., Сейлов А.А., Соколов Н.А., Шингисов Д.С. Исследование характеристик трафика мультисервисных сетей: Анализ вероятностно-временных характеристик инфокоммуникационного трафика. -Нур-Султан: ТОО “ Халык-Медиа”, 2020. - 105 с.

---

---

REFERENCES

- [1] Ashby W.R. An Introduction to Cybernetics. – Martino Fine Books, 2015.- 306 p.
- [2] Myshkis A.D. Jelementy teorii matematicheskikh modelej. – M.: Knizhnyj dom "Librikom", 2011. - 192 s.
- [3] Varnum K.J. Beyond Reality: Augmented, Virtual, and Mixed Reality in the Library. – ALA Editions, 2019. - 144 p.
- [4] Levakov A.K., Sokolov N.A. Konceptcija "Izmenennaja real'nost'"// Vestnik svjazi. – 2018. - №11. - S. 3–6.
- [5] Michael E.A., Kalyan R.B. Cyber-physical Systems and Digital Twins: Proceedings of the 16th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation. – Springer, 2020. - 862 p.
- [6] Farsi M., Daneshkhah A., Hosseinian-Far A., Jahankhan H. Digital Twin Technologies and Smart Cities (Internet of Things). – Springer, 2019. - 212 p.
- [7] Digital twin – Driving business value throughout the building life cycle. – Siemens White Paper. – Siemens Switzerland Ltd., 2018. - 16 p.
- [8] Comer D. Internetworking with TCP/IP. Volume One (6th Edition). – Pearson, 2013. - 774 p.
- [9] Erl T., Khattak W., Buhler P. Big Data Fundamentals: Concepts, Drivers & Techniques. – Prentice Hall, 2015. - 218 p.
- [10] Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining. Concept and Techniques. – Morgan Kaufmann Publishers, 2011. - 703 p.
- [11] Aggarwal C.C. Neural Networks and Deep Learning. – Springer, 2018. - 497 p.
- [12] Erl T., Mahmood Z., Puttini R. Cloud Computing: Concepts, Technology & Architecture. – Prentice Hall, 2013. - 528 p.
- [13] Chiang M., Balasubramanian B., Bonomi F. Fog for 5G and IoT. – Wiley, 2017. -305 p.
- [14] Huss W.R. A move towards scenarios//International Journal of Forecasting. – 1988. - N4. - P. 377–388.
- [15] Yoe C. Principles of Risk Analysis: Decision Making Under Uncertainty// CRC Press. – 2011. - 584 p.
- [16] ITU-D. Teletraffic Engineering Handbook (edited by V.B. Iversen). – Geneva, 2003. - 321 p.
- [17] Goichman V., Esalov K., Sokolov N. Using specialized computer systems to study the characteristics of telecommunication networks // Proceedings of the FRUCT'18 Saint-Petersburg, 18-22 April 2016. -p. 456–462.
- [18] ITU-T. Definitions of terms related to quality of service. Recommendation E.800. – Geneva, 2008. - 30 p.
- [19] Barreiros M., Lundqvist P. QOS-Enabled Networks: Tools and Foundations. – Wiley, 2016. - 233 p.
- [20] <https://diasparbusiness.com/cis-ru/diaspar-basics/>.
- [21] ITU-T. Next Generation Networks – Emergency telecommunications – Technical considerations. Recommendation Y.2205. – Geneva, 2011. - 52 p.
- [22] Levakov A., Sokolov N. Access to Emergency services during overload traffic period // 12th International Conference "Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking"/. - St. Petersburg, 2012. - p. 424–428.
- [23] Levakov A.K., Sokolov N.A. Three algorithms for traffic limitation in emergencies // Selected Papers of the IX Conference "Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems"/. - Moscow, Russia, 2019. - p. 84–91.
- [24] Grubbs F.E. Procedures for detecting outlying observations in samples// Technometrics, 1969. - Vol. 11, № 1. - p. 1–21.
- [25] Foss S., Korshunov D, Zachary S. An Introduction to Heavy-Tailed and Subexponential Distributions. – Springer, 2013. - 156 p.
- [26] Tukey J.W. A survey of sampling from contaminated distributions. – Contributions to Probability and Statistics, Stanford University Press, 1960. - p. 448–485.
- [27] Fawaz W., Daheb B., Audoin O., Du-Pond M., Pujolle J.: Service Level Agreement and Provisioning in Optical Networks // IEEE Communication Magazine, 2004. - Vol. 42. -p. 36–43.
- [28] Sokolov A., Sokolov N. Rational solutions for development of telecommunications networks// T-Comm, 2014. - Vol. 8, №6. -p. 81–84.

[29] Vyjavlenie prioritetnyh nauchnyh napravlenij: mezhdisciplinarnyj podhod. // Otv. red. I.A. Kobrinskaja, V.I. Tishhenko. – M.: IMJeMO RAN, 2016. - 181 s.

[30] Abdokova L.Z. Sinergeticheskij jeffekt kak rezul'tat jeffektivnogo upravlenija. // Fundamental'nye issledovaniya, 2016. - № 10 (chast' 3). - s. 581–584.

[31] Zapechnikov S.V., Miloslavskaja N.G., Tolstoj A.I., Ushakov D.V. Informacionnaja bezopasnost' otkrytyh sistem. Tom 1: Ugrozy, ujazvimosti, ataki i podhody k zashhite. - M.: Gorjachaja Linija – Telekom, 2006. - 536 s.

[32] Zapechnikov S.V., Miloslavskaja N.G., Tolstoj A.I., Ushakov D.V. Informacionnaja bezopasnost' otkrytyh sistem. Tom 2: Sredstva zashhity v setjah. - M.: Gorjachaja Linija – Telekom, 2008. - 560 s.

[33] Seilov Sh.Zh., Gojzman V.Ju., Kasenova M.N., Kuzbaev A.T., Sejlov A.A., Sokolov N.A., Shingisov D.S. Issledovanie harakteristik trafika mul'tiservisnyh setej: Analiz verojatnostno-vremennyh harakteristik infokommunikacionnogo trafika. -Nur-Sultan: TOO “ Halyk-Media”, 2020. - 105 s.

<sup>1</sup>Sh.Zh.Seilov, <sup>1</sup>E. Sh.Zhursinbek, <sup>1</sup>A.T.Kuzbaev, <sup>1</sup>D. Zh.Satybaldina, <sup>1</sup>A.A.Seilov, <sup>1</sup>D.Sh.Shingisov,  
<sup>2</sup>V.Yu.Goikhman, <sup>3</sup>A.K.Levakov, <sup>4</sup>N.A. Sokolov

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>The Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications,  
Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup>"Iskratel" company, Yekaterinburg, Russian Federation

<sup>4</sup>"PROTEI ST" company, Saint Petersburg, Russian Federation

e-mail: seilov\_shzh@enu.kz

## NETWORK OF DIGITAL TWINS: MODEL FOR TELECOMMUNICATION SYSTEM INVESTIGATION

**Abstract.** In recent years, the scientific and technical literature has been actively discussing ideas for creating digital twins to solve a wide range of problems that arise before enterprises of various kinds. Advances in information technology and the development of essential software are indeed delivering important new results through the creation of digital twins. The article discusses a proposal for the construction of a network of digital twins used as models for solving a number of urgent problems in complex telecommunication systems. Two applications are considered as examples of such tasks. The first application is the organization of information feedback for enterprises engaged in the life cycle of a telecommunications network: "the formation of modernization principles, equipment development, design, construction, operation." The second application is traffic monitoring, including its atypical behaviour in order to avoid repeating erroneous actions in the event of abnormal situations.

**Keywords.** digital twin, network, telecommunication system, life cycle, traffic, information security, monitoring emergency situation.

<sup>1</sup>Ш.Ж. Сеилов, <sup>1</sup>Е.Ш. Журсинбек, <sup>1</sup>А.Т. Кузбаев, <sup>1</sup>Д.Ж. Сатыбалдина, <sup>1</sup>А.А. Сейлов,  
<sup>1</sup>Д.Ш. Шингисов, <sup>2</sup>В.Ю. Гойхман, <sup>3</sup>А.К. Леваков, <sup>4</sup>Н.А. Соколов

<sup>1</sup>Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup>М.А. Бонч-Бруевич атындағы Санкт-Петербург мемлекеттік телекоммуникация  
университеті, Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы

<sup>3</sup>"Искрател" компаниясы, Екатеринбург, Ресей Федерациясы

<sup>4</sup>"ПРОТЕИ СТ" компаниясы, Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы

e-mail: seilov\_shzh@enu.kz

## ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕР ЖЕЛІСІ: ЭЛЕКТРБАЙЛАНЫС ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ МОДЕЛІ

**Андатпа.** Соңғы жылдары ғылыми-техникалық әдебиеттерде әртүрлі типтегі кәсіпорындар алдында туындайтын көптеген мәселелерді шешу үшін цифрлық егіздерді құру идеялары белсенді түрде талқылануда. Ақпараттық технологиялар мен қажетті бағдарламалық жасақтаманың дамуы

## • Физико-математические науки

---

---

шынымен де цифрлы егіздерді құру арқылы маңызды жаңа нәтижелерге қол жеткізуде. Мақалада күрделі электрбайланыс жүйелердегі бірқатар өзекті мәселелерді шешуге модель ретінде қолданылатын цифрлық егіздер желісін құру туралы ұсыныс талқыланады. Осындай қосымшалардың мысалдары ретінде екі қосымша қарастырылады. Бірінші қосымша телекоммуникация желісінің өмірлік циклімен айналысатын кәсіпорындар үшін ақпараттық кері байланысты ұйымдастыру болып табылады: «модернизация қағидаларын қалыптастыру, жабдықты әзірлеу, жобалау, салу, пайдалану». Екінші қосымша - бұл әдеттен тыс жағдайлар туындаған кезде қате әрекеттерді қайталамас үшін трафикті бақылау, оның типтік емес әрекеті. Цифрлық егіз желінің тағы бір маңызды ерекшелігі - бұл пәнаралық зерттеулердің тиімді құралына айналуы мүмкін.

**Негізгі сөздер:** цифрлық егіздік, желі, электрбайланыс жүйесі, өмірлік цикл, трафик, мониторинг, ақпараттық қауіпсіздік, төтенше жағдай.