

Научная статья  
УДК 377.169.3  
doi: 10.46684/2687-1033.2023.2.184-192

## Детерминация понятия «цифровой двойник» в 3D-моделях железнодорожных станций

**А.К. Головнич**

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ); г. Гомель, Республика Беларусь; golovnich\_alex@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

Исследуется семантика понятия «цифровой двойник железнодорожной станции» на предмет соответствия существующему техническому и информационному уровню получения адекватного цифрового образа сложной динамической системы, способного корректно воспроизводить динамику технологических процессов и состояний объектов инфраструктуры и подвижного состава при определенных исходных условиях и факторных воздействиях. Цифровой двойник (ЦД) станции — это визуализированный модельный образ сложной технической системы, в котором конструирующие технологию модельные правила дают возможность приобрести модели дополнительные степени свободы, приводящие к возможности реконструкции многомерных вариаций потенциально возможных состояний вагонов и железнодорожного пути.

Предлагается использование альтернативного понятия информационной реплики, как отражающего адекватность формы и содержания трехмерных динамических моделей различных объектов железнодорожных станций.

Изучается возможность развития модельной инфореплики до уровня ЦД станции при формировании программной среды моделирования физики процессов и надежного прогнозирования состояний объектов в обозримом горизонте событий с продуцированием опасных состояний инфраструктуры и подвижного состава и программно контролируемым возвращением в зону нормативной технологии работы станции.

Полученные результаты позволят сформировать определенную и устойчивую точку зрения на функциональное поле возможного использования термина «цифровой двойник железнодорожной станции».

**Ключевые слова:** трехмерное моделирование; железнодорожные станции; технология работы станции; цифровая модель; трехмерное моделирование; модельная физика процессов

**Для цитирования:** Головнич А.К. Детерминация понятия «цифровой двойник» в 3D-моделях железнодорожных станций // Техник транспорта: образование и практика. 2023. Т. 4. Вып. 2. С. 184–192. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2023.2.184-192>.

Original article

### Determining the concept of “digital twin” in 3D models of railway stations

**Aleksandr K. Golovnich**

Belarusian State University of Transport (BelSUT); Gomel, Republic of Belarus; golovnich\_alex@mail.ru

### ABSTRACT

The semantics of the concept of “digital twin of a railway station” is investigated for compliance with the existing technical and informational level of obtaining an adequate digital image of a complex dynamic system that can correctly reproduce the dynamics of technological processes and states of infrastructure objects and rolling stock under certain conditions initial conditions and factorial influences. The digital twin of the station is a visualized model image of a complex technical system, in which the model rules constructing the technology make it possible to acquire models with additional degrees of freedom, leading to the possibility of reconstructing multidimensional variations of the potential states of cars and railway track.

It is proposed to use an alternative concept of an information replica, as reflecting the adequacy of the form and content of three-dimensional dynamic models of various objects of railway stations.

The possibility of developing a model info-replica to the level of a digital twin of the station is being studied in the formation of a software environment for modeling the physics of processes and reliable forecasting of the

© А.К. Головнич, 2023

states of objects in the foreseeable event horizon with the production of dangerous states of infrastructure and rolling stock and a program-controlled return to the zone well, the regulatory technology of the station.

The results obtained will make it possible to form a definite and stable point of view on the functional field of the possible use of the term “digital twin of a railway station”.

**Keywords:** three-dimensional modeling; railway stations; station operation technology; digital model; three-dimensional modeling; model physics of processes

**For citation:** Golovnich A.K. Determining the concept of “digital twin” in 3D models of railway stations. *Transport technician: education and practice*. 2023;4(2):184-192. (In Russ.). <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2023.2.184-192>.

## ВВЕДЕНИЕ

Моделирование объектов инфраструктуры железнодорожной станции (ж.-д. ст.) и подвижного состава (ПС), а также процессов, которые обеспечиваются этими модельными объектами, позволяет реализовать компьютерную реконструкцию в определенной степени отождествляемую с конкретным реальным образом. Расширение перечня атрибутов информационных объектов, описывающих физические свойства прототипов и их использование в моделировании состояний, приближает решение проблемы адекватной прототипу реконструкции технологических операций в цифровом аналоге.

Однако получить информационный отпечаток такой сложной динамической системы как, например, функционирующая ж.-д. ст., в настоящее время можно лишь с определенной погрешностью, так как любой цифровой аналог обладает ограниченным набором свойств и относительно узким рабочим функционалом имитации технологических операций, корректно выполняемых в соответствии с модельными правилами порождающей действительности. Поэтому важно модель презентационного или учебного характера, способную иллюстрировать технологию работы станции, отличать от цифрового двойника (ЦД), являющегося полноценной натурной и структурной копией взаимодействующих объектов согласно физическим законам и требованиям технологии, в которой воссоздаются все процессы реальной системы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходным материалом для исследования семантики понятия «цифровой двойник» стали публикации, посвященные лингвистическому анализу, а также узкопрофильные предметные статьи и книги по темам информационного моделирования, в которых смысловая характеристика данного термина различается. Многими исследователями

некоторая модель динамической системы, с точностью воспроизводящая внешнюю форму объектов, определяется как цифровая копия (двойник) [1–3]. Моделирование технологических процессов также связывается с цифровым двойником, но состояния модельных объектов устанавливаются по статистике реальных прототипов [4], обучающим выборкам [5], функциональным и структурным математическим и мультифизическим моделям [6–10].

Копия (лат. *sopia* — множество) — объект, созданный по образцу другого, повторяющий, воспроизводящий его внешний вид и другие свойства. По-видимому, такое неоднозначное указание на «другие свойства» надо понимать, как способность копии воспроизводить и функции прототипа, если он работает в динамике. Следовательно, копия должна быть идентична оригиналу не только по визуальным характеристикам (размер, форма, цвет), но по изменению своих состояний (если модельный аналог мобилен и перемещается с некоторой скоростью при силовом воздействии; затормаживается из-за сопротивления среды и сил трения; обладает определенным запасом прочности узлов и механизмов, уменьшающимся из-за эксплуатационных нагрузок, приводящих к упругим и пластическим деформациям). При решении задач автоматизации в геодезии, картографии, архитектуре, где определяющее значение имеет только статичная форма (масштабные планы, карты, схемы), адекватная информационная трехмерная копия, т.е. ЦД, реализуется при достижении визуальной неразличимости с оригиналом. Цифровой двойник ж.-д. ст. относительно легко может быть получен, если речь идет о формировании цифрового 3D-масштабного плана путевого развития, в котором визуализируется верхнее и нижнее строения пути, полностью совпадающие с соответствующей фотографией реального образа. Назначения такого ЦД могут быть самые широкие: от автоматического порождения масштабных планов, строительных чертежей и немасштабных схем станций до эффективного компьютерного сопровождения

чертежной документации при переустройстве раздельных пунктов.

Однако, если решаются вопросы организации работы станции и эффективного управления вагонопотоками, требующие учета технологии обработки поездов и подач, то важным свойством соответствующего ЦД становится определение местоположения вагонов на станционных путях в заданный момент времени, которое, в свою очередь, будет зависеть от скоростных режимов движения во взаимодействии ПС с верхним строением пути. Наличие дефектов поверхностей различных пар трения в реальной системе «колесо – рельс» приводит к снижению скоростей движения вагонов, особенно в режиме свободного выбега вагонов без приложения силы тяги локомотива (скапывание с горки, расформирование толчками). Поэтому для «технологического» двойника станции моделирование физики процессов взаимодействия пути ПС играет существенную роль.

Следует обратить внимание на термин «репродукция», определяемый как воспроизведение изображения средствами фотографии или полиграфии<sup>1</sup>, но используемый также в биологии, медицине. В широком смысле слова репродукция как способ повторения формы и структуры объекта может быть использована и для определения этапа в развитии ЦД.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для идентификации модели станции как цифровой копии реальной сложной системы целесообразно установить последовательность модельных реализаций, приближающих форму и содержание развиваемой реконструкции к информационному двойнику, так как в настоящее время подобный модельный аналог пока не создан. На уровне генерации адекватной внешней формы объектов можно предложить приближенный аналог ЦД в виде *информационной реплики (инфореплики)*, включающий конкретные, значимые признаки динамической конструкции станции, формирующий закрытое событийное пространство поименованного перечня технологических операций, полностью совпадающих с прототипными.

Сущность этапной конструкции модели на пути реализации ЦД станции может быть определена с использованием исходного образа инфореплики на основе следующих соображений. Реалистичная анимация технологических процессов ж.-д. ст. определенным образом подкрепляется соответствующими прообразу значениями характеризующих

параметров выполняемых станционных операций. Программные инфодатчики, установленные на критических путях цифровых операций передвижения поездных и маневровых локомотивов, роспуска вагонов с горки, погрузки-выгрузки и др., фиксируют и накапливают данные о модельных технологических процессах, состояниях пути и ПС, а также возникающих опасных ситуациях. В результате формируется пространство цифровых протоколов функционирующей модельной станции, в котором ведется непрерывное накопление контрольных данных по информационному аналогу, подтверждающих его соответствие реальному прообразу. Итак, инфореплика может считаться адекватно реализованной, если количественные значения параметров данной модельной статистики тождественны величинам аналогичных реальных процессов поименованных технологических операций.

Однако модельная динамическая реконструкция ж.-д. ст., охватывая неполный перечень функций, обладает технологическим несовершенством, приводящим к погрешностям в результате своей работы. Отграниченность модели от охватываемого операционного цикла работы станции приводит к невозможности образования различных корреляционных связей, в той или иной степени влияющих на характер выходных операций, что обуславливает относительно стабильный характер модельных процессов по сравнению с постоянным «покачиванием» значений регистрируемых параметров прототипных процессов. Подобные различия в параметрических вариациях связываются также с невозможностью точного воспроизведения следствий действия сложных реальных физических законов соответствующими моделирующими правилами.

Модельные отличия от оригинала могут быть многообразны по форме, внутренней структуре объектов, характеру выполняемых технологических операций и др. Все эти несоответствия в малозначимой или значительной степени влияют на результаты работы модельного образа инфореплики, выражающиеся в рассогласовании с продолжительностью выполнения сопоставляемых технологических операций реальной станции.

Показателем, характеризующим качество реплицирующей модели станции, можно считать среднеквадратическое отклонение между соответствующими значениями продолжительностей технологических операций модели и прототипа. При этом необходимо учитывать уникальность любой станционной операции, в каждый последующий цикл которой вовлекаются иные факторы и условия в разных влияющих пропорциях, интен-

<sup>1</sup>Ефремова Т.Ф. Современный толковый словарь русского языка. В 3 томах. Т. 3. М.: АСТ, 2006. 976 с.



**Рис. 1.** Блок-схема алгоритма реализации проектированной и редактированной модельности инфореплики

сивностях отдельных воздействий и др. По сути, штатное выполнение технологических операций на реальной станции в полном соответствии с типовым процессом является скорее исключением, чем правилом. Фазовая кривая продолжительностей операций, выполняемых с поездами и вагонами на станции по нескольким циклам технологического процесса, представляет собой аппроксимирующую линию, проходящую между точками нормативных значений параметров. Поэтому речь идет не о точности модельного воспроизведения конкретной станционной ситуации, а *допустимости соответствующих отклонений*. Тогда проявляемые погрешности моделирования станционных операций можно интерпретировать как следствие стохастичности технологических процессов, наблюдаемой в реальности.

Реализация информационной реплики функционирующей ж.-д. ст. основывается на нормативных параметрах технологических процессов, хранимых в памяти модельной системы, которая использует эти сведения как шаблон и ориентир, дополняемые определенным диапазоном допустимых отклонений базовых значений. Регистрация достигнутых состояний объектов и процессов с сохранением рассогласованных результатов формирует базу *проектированной модельности*. Использование адаптивного программного модуля позволит проводить сравнения реконструктивных величин с прототипными и последующим повторением критических операций при новых вводных значениях параметров входить в зону нормативной технологии, обеспечивая таким образом *редактированную модельность* (рис. 1).

Редактированная модельность рассматривается как результат итеративного процесса, вычле-

няющего блок не согласующихся с требованиями операций и после ряда повторных регенераций приводящего к устранению выявленных несоответствий. Важно, чтобы этот цикл многократных модельных конструирований был конечным, с каждым последующим вариантом уменьшающим выход за границы контрольного диапазона.

Редактированную модельность можно определить как результат работы обучающей выборки, посредством которой генерирующая компьютерная среда получает своеобразный опыт конструирования штатных технологических операций в различных условиях, формирующих интегральное влияние факторов на динамический процесс протекания этих операций. Верификация модельной системы происходит по результатам конструктивного процесса, которые лицо, принимающее управленческие решения, считает адекватным событийному пространству исходных позиций, начальных состояний объектов и воздействовавших на них внутренних и внешних причин. Таким образом, инфореплика получает дальнейшее развитие, формируя два режима работы: воспроизводящего процессы объективной реальности по заданным исходным позициям (*реконструктивная функция*) и генерирующего новый виртуальный инфопродуктив (*конструктивная функция*).

Реконструктивная функция инфореплики формируется как этап разработки и тестирования работоспособности модели. Переход в режим конструктивной функции указывает на этапное приближение к функционалу ЦД, когда воспроизведенный динамический образ ж.-д. ст. может оцениваться информационной системой как адекватный прототипу по более жестким требованиям. Повидимому, даже после получения убедительных доказательств устойчивой генерации моделью продуктивной виртуальности технологических событий на станциях иногда будет возникать необходимость проверки корректной репродукции при особенных и редких сочетаниях влияющих внешних факторов и условий, приводящих к специфическим результатам.

Накапливаемая негативная статистика проектированной модельности составляет некоторое множество *контрнормативных ситуаций*. Эти потенциально реализуемые технологические конструкции сохраняются в информационной базе модельной системы. Контрнормативные ситуации являются срезами динамического процесса нерегламентного функционирования модельной станции по различным операциям и временным интервалам, представляя собой определенные видеофрагменты работы модельной станции на критических путях развития технологических операций. Сформировать из отдельных технологически смежных фрагментов некоторую целост-

ную картину, иллюстрирующую функционирование 3D-станции, сложно и малопродуктивно, так как отдельные контрнормативные реконструкции различаются по величинам входо-выходных параметров границ «сшивки» смежных модельных блоков. Кроме того, эти решения получены в различных условиях моделирования работы станции, поэтому объединять их в одну регенерирующую конструкцию некорректно.

Динамические конструкции проектированной модельности из-за особых свойств пограничных или трансграничных значений характеризующих параметров при дальнейшем развитии способны с большой вероятностью привести к различным нерегламентированным и опасным состояниям ПС и ж.-д. пути (например, нагон отцепов на горке при необеспеченных интервалах роспуска). Более того, по опыту работы реальных станций следует ожидать, что глубокий вход в контрнормативную область значений параметров станционных технологических операций по одной характеристике достаточно быстро вызывает целый каскад конфликтных позиций по другим характеристикам. Например, интенсивная динамика операций с поездами на моделируемой станции определяет ускоренное развитие такого взаимного положения составов на станционных путях, которое при наличии некоторого конфликта за достаточно непродолжительное время может привести к остановке всех передвижений и параличу работы станции в целом. При этом важно отметить, что моделирование развития граничных станционных ситуаций само по себе представляет алгоритмически сложный и трудно верифицируемый процесс. Поэтому контрнормативные ситуации только протоколируются в рамках проектированной модельности инфореплики (по крайней мере, для первичных этапов развития ЦД).

Как уже отмечалось в данной статье, технологическая обедненность модели приводит к относительно слабой вариабельности выходных параметров. В реальности ожидаются более частые экстремальные значения контрольных характеристик, которые являются нетиповыми выбросами, но активно влияющими на последующие фазы работы станционной системы. Вариации значений параметров входящего вагонопотока, неравномерность загрузки инфраструктурных объектов представляются как активные импульсные воздействия на реальную техническую систему, обеспечивающие тем не менее достаточную прочность технологических связей. Станция работает в устойчивом режиме при компенсации постоянных параметрических колебаний защитными ригидными свойствами системы, повышающими ее сопротивляемость потенциально деструктивным выбросам, и такие выбросы являются атрибутом

станционной системы, обеспечивая надежность ее функционирования, регулярность и цикличность технологических операций. Отсутствие в модели подобного последствия мажорных результатов работы реальной станции также может расширить диапазон параметрического рассогласования достигаемых итогов инфореплики, основанной на «гладких» графиках изменения процессов системы.

Таким образом, компьютерный дубль ж.-д. ст. должен функционировать по некоторому сложному алгоритму, обеспечивающему сходимость регистрируемых значений параметров технологических операций с прототипными. Поэтому цифровой технологический двойник станции станет достижимым только при реализации подобного алгоритма и верификации порождаемых модельных процессов.

Модельное функционирование данной ж.-д. ст. может быть реализовано на множестве инфореplik, каждая из которых выделяет конкретную продуктивную конструкцию, в которую включаются технологически связанные операции, имеющие фиксированные входные и выходные позиции (модельные гейты). Например, горочная инфореплика может содержать модельные операции от подачи маневрового локомотива в парк приема под расформировываемый состав до осаживания групп вагонов и исключения технологических «окон» в сортировочном парке. Полная группа непересекающихся инфореplik данной станции с обеспечением технологических связей по сопрягаемым модельным гейтам также способствует развитию ЦД станции.

Следует отметить, что на отдельной конкретной инфореплике может быть получено несколько модельных решений, отличающихся параметрическими критериями, которые лежат в основе оценки получаемых результатов модели. Например, *технологическая горочная инфореплика* воспроизводит пооперационную генерацию маршрутов инерционного движения и торможения отцепов на спускной части горки с фиксированием скоростей, интервалов и возникающих конфликтных точек. *Механическая горочная инфореплика* моделирует состояние ПС и пути в процессе роспуска вследствие ударных воздействий на элементы конструкции вагонов и рельсовых скреплений с расчетом возникающих продольно-динамических сил, приводящих к значительным нагрузкам и деформациям взаимодействующих элементов пути и ПС. По сути, обе инфореплики тесно связаны между собой, так как корректная репликация механической версии обеспечит эффективное моделирование технологической инфореплики. Однако в каждой из них «непрофильная» составляющая алгоритмически проще, с замещением расчета слож-

ных взаимокоррелированных связей соответствующими эмпирическими правилами.

Если инфореплика охватывает все станционные операции с вагонами, то в результате формируется *интегральная технологическая инфореплика* с детерминированным (моделирующим работу только данной станции) или адаптивным (воспроизводящим функции любого отдельного пункта) алгоритмом. Отдельные подмножества инфореplik при своем дальнейшем развитии, корректирующим отдельные связи и структуру, могут образовывать *репликационные гармоник* различных порядков. Например, возможна разработка гармоник третьего порядка технологической горочной инфореплики, представляющей собой третью усовершенствованную генерацию исходной. Вторая генерация основывает свое развитие на особенностях предыдущей, учитывает ее специфические проявления и включается в последующую модельную репликацию.

Для каждой из технологических и механических инфореplik существуют *предельные уровни гармоник*, после которых формируются завершающие *комплексные модельные вариации*, включающие полноценные объединенные технологические и физические признаки инфраструктурных объектов и ПС. В этих модельных вариациях детализированное описание напряженного состояния упруго деформируемого твердого тела, способного привести к необратимым изменениям в конструктивных элементах вагонов и ж.-д. пути, органично дополняется такой же глубокой модельной проработкой контролируемого скатывания отцепов по профилю горки с их эффективным подтормаживанием, сохраняющим безопасные интервалы и допустимые скорости движения отцепов к путям сортировочного парка в полном соответствии с назначениями плана формирования.

Комплексная модельная вариация может быть достигнута при одинаковых или различных уровнях гармоник технологических и механических инфореplik. Соответствующие комплексные вариации разделяются на *гармонически соразмерные* и *несоразмерные*. Некоторые предварительные соображения указывают на неустойчивость по результатам моделирования комплексной гармонически несоразмерной вариации. Если сопрягаются гармоник одного уровня, например, третьего порядка технологической и механической инфореplik, то ожидаются примерно равные уровни их объектной и технологической детализации, позитивно влияющие на «стыковку» отдельных связующих позиций каждой из исходных инфореplik, позволяющих сформировать структурно-технологическую основу ЦД.

Важным свойством ЦД является его *предикативность* — способность прогнозировать достигае-

мые состояния объектов инфраструктуры станции и ПС, приводящие к регламентным или опасным ситуациям. Так как целью моделирования работы станции служит не столько воспроизведение технологических операций, выполняемых с поездами, составами и подачами вагонов на реальной станции, сколько получение информационного ресурса для эффективного управления вагонопотоками, то ответ на вопрос «что будет, если...», получаемый на вариантных срезах 3D-реконструкции станции, неизмеримо расширяет потенциал цифровой модели станции, наделенной прогностическими свойствами.

Определенными предикативными свойствами обладает не только ЦД, но и любая обособленная инфореплика. Однако, учитывая степень приближения генераций ЦД к натурному образу, вероятность корректной реализации будущего у комплексной инфореплики выше, чем у обособленной.

Благодаря глубокой диффузии влияющих факторов в развитие технологических операций ЦД формирует одинаково верифицируемые модельные образы в воспроизводящем и генерирующем режимах. Качество реконструируемых образов подтверждается сравнением с операциями статистической выборки на реальной станции, а генерирующих — через определенный промежуток времени для этой же станции.

Вариации параметров входящего транспортного потока и состояний станционных путей порождают древовидную структуру вариантных решений возможного развития станционных процессов. Соответствующий *спайдерный алгоритм* позволит сформировать целую сеть мировых модельных линий потенциального функционирования станции на временном отрезке ближайшего будущего. Использование выбранного критерия оценки прогнозных вариантов даст возможность выделить конкретный путь последовательной смены состояний объектов. Дополнение гармоническими составляющими расширяет сеть мировых модельных линий на многомерное координированное пространство вариантных состояний пути и ПС.

Предикативная ориентация модели формирует эффективную надстройку над базовой реконструкцией технологии работы станции с адаптивной компонентой и является элементом ЦД станции. Любая модельная реализация предикативного уровня может быть при необходимости:

- продублирована в режиме воспроизведения видеоролика (*нижний уровень репликации*);
- рекомбинирована на том же временном интервале с некоторыми изменениями (например, по отдельным характеристикам вагонопотока и состояниям инфраструктурных объектов) (*средний уровень репликации*);

- репродуцирована как новая виртуальная реальность на основе исходного модельного образа с расширением временного диапазона в прошлое и будущее по отношению к данной реализации (*верхний уровень репликации*).

Разделение по уровням репликации позволяет формировать модельные позиции для различных целей применения информационных реконструкций ж.-д. ст. В этом отношении ЦД и его приближения в инфорепликах могут рассматриваться как сечения виртуальной действительности с определенными правилами физического и технологического конструирования и достигаемой степенью адекватности реальному аналогу.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, ЦД станции определяется функциями конструирующей модели, обладающей предикативными свойствами и способной воспроизводить состояния объектов с подключением ресурсов для упреждения опасных событий и выхода в нормативную зону технологических решений (рис. 2).

Понятие ЦД станции, с одной стороны, отождествляется с визуальным образом функционирующей реальной станции, объекты которого обладают набором свойств для воспроизведения реалистичной копии ж.-д. раздельного пункта,

детально реконструирующей все перемещения модельного ПС с учетом его конструктивных особенностей, существующих и развивающихся дефектов в элементах вагонов и ж.-д. пути, оперативной эксплуатационной обстановки, периодически приводящей к опасным состояниям объектов инфраструктуры и ПС и требующей применения дополнительных контролирующих воздействий посредством исполнительного адаптивного алгоритма для восстановления штатного положения в развитии технологических процессов.

Цифровой двойник станции — это визуализированный модельный образ сложной технической системы, в котором конструирующие технологию модельные правила позволяют приобрести модели дополнительные степени свободы, приводящие к возможности реконструкции многомерных вариаций потенциально возможных состояний вагонов и ж.-д. пути. Генерация динамического образа визуальной неразличимости с прототипом (аналогия видеосъемки технологических операций, выполняемых на реальной станции) — это один из наиболее значимых результатов, получаемых цифровым двойником на многомерном функциональном поле модельных реализаций.

Цифровой двойник станции может продуцировать варианты модельные системы с активацией дополнительных эффектов реалистичности и транспозиционирования (динамических антропоморфных и парафизических объектов, активных и

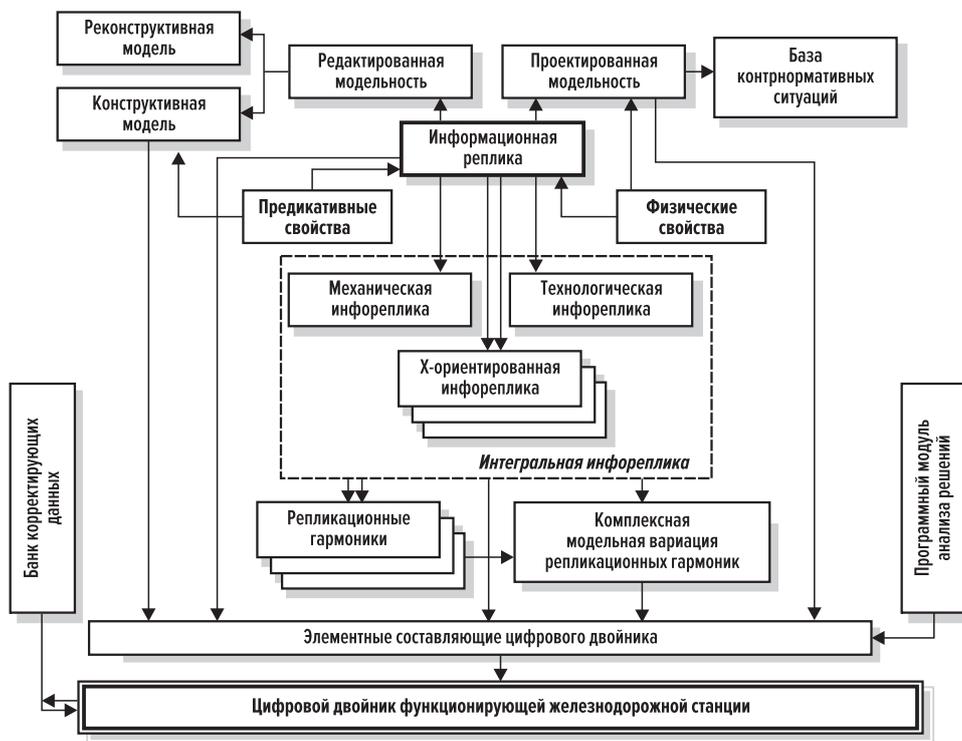


Рис. 2. Общая схема функционирования цифрового двойника технической системы

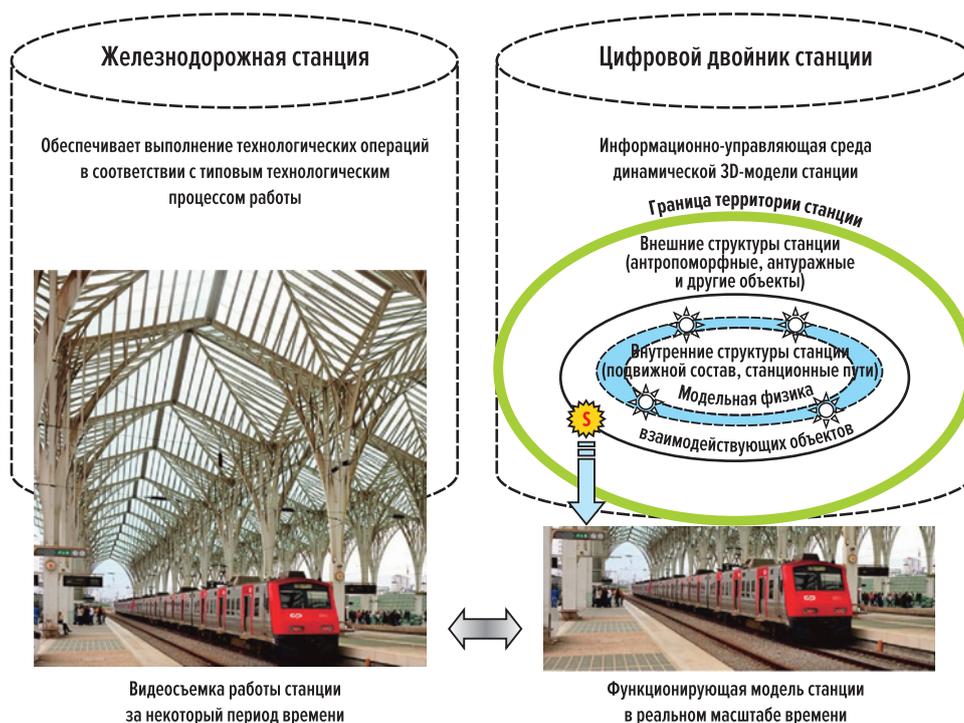


Рис. 3. Создание цифрового технологического двойника железнодорожной станции

пассивных фоновых структур станции и др.). Генетический алгоритм, действующий в динамической картине модельной станции и активизирующий указанные дополнительные эффекты, приближает информационный образ к реальному прототипу, выравнивая функционал ЦД и действительности до уровня технологической неразличимости. Сопутствующие активные и пассивные фоновые (антуражные) объекты формируют подложку ЦД, являясь полноценными 3D-структурами модели, которые вступают во взаимодействие с инфраструктурными элементами и ПС, адекватно воспроизводя определенные свойства объектно-процессного пространства реальной станции (рис. 3).

Условным критерием адекватности ЦД реальной станции может служить степень совпадения видеоролика функционирующей модели и видеосъемки работы данного отдельного пункта в заданном отрезке времени с идентичными исходными сведениями по размерам и структуре прибывающего поезд- и вагонопотока, состояниям пути

и ПС, внешним факторным влияниям и др. Однако при любых, даже самых изощренных алгоритмах реконструкции возникающих и развивающихся дефектов пути и ПС, моделирования физических процессов гравитации, инерции и трения можно полагать, что воссоздать зеркальную реальности изоморфную и функциональную структуру объектов такой сложной технической системы как ж.-д. ст., чрезвычайно сложно. Поэтому этапы развития инфореplik могут быть лишь некоторым асимптотическим приближением к идеализированному образу цифрового технологического двойника станции.

Благодаря постоянному развитию информационных технологий возможности трехмерного моделирования сложных технических систем постоянно возрастают. Возможно, определенным образом можно сопоставить соответствующий этап в совершенствовании информационных реплик с достигаемым уровнем технических и программных средств информатизации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов П.В., Семишкур Р.П., Дяченко И.А. Концептуальная модель реализации технологии «цифровых двойников» для предприятий нефтегазового комплекса // Газовая промышленность. 2019. № 7 (787). С. 24–30.

2. Захарова Л.П., Копытов А.А., Петров Е.В., Птушкин С.В. Создание фотограмметрической модели города Москвы по материалам беспилотных летательных аппаратов // Геопрофи. 2022. № 5. С. 14–19.

3. Эра «цифровых двойников» в архитектуре и строительстве // *SoftPower*. 2020. URL: <https://www.syssoft.ru/softpower/era-tsisifrovyykh-dvoynikov-v-arkhitekture-i-stroitelstve/>

4. Сизинцев Д.А. Разработка цифрового двойника технологического процесса с использованием производственных данных: магистерская диссертация. Томск, 2020. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/61233>

5. Васильев А.Н., Тархов Д.А., Малихина Г.Ф. Методы создания цифровых двойников на основе нейросетевого моделирования // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2018. Т. 14. № 3. С. 521–532. DOI: 10.25559/SITITO.14.201803.521-532

6. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: АльянсПринт, 2020. С. 18, 280–283.

7. Баранов В.Н., Безруких А.И., Константинов И.Л., Рудницкий Э.А., Солопеко Н.С. и др. Использование цифрового двой-

ника для обучения студентов металлургического профиля // *Высшее образование в России*. 2022. Т. 31. № 2. С. 135–148. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-2-135-148

8. Гончаров А.С., Саклаков В.М. Цифровой двойник: обзор существующих решений и перспективы развития технологии // *Информационно-телекоммуникационные системы и технологии: материалы Всероссийской научно-практической конференции*. 2018. С. 24–26.

9. Макарук О.Е. Ключевые преимущества использования цифровых двойников в SMART-индустрии. URL: <https://rep.bstu.by/bitstream/handle/data/27046/44-50.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

10. Ольгейзер И.А. Цифровой двойник сортировочной горки // *Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019): труды Восьмой научно-технической конференции*. 2019. С. 150–152.

## REFERENCES

1. Semenov P.V., Semishkur R.P., Diachenko I.A. Conceptual model of digital twin technology. *GAS Industry*. 2019;7(787):24-30. (In Russ.).

2. Zakharova L.P., Kopytov A.A., Petrov E.V., Ptushkin S.V. Creation of a photogrammetric model of the city of Moscow based on the materials of unmanned aerial vehicles. *Geoprofi*. 2022;5:14-19. (In Russ.).

3. The era of “digital twins” in architecture and construction. *SoftPower*. 2020. URL: <https://www.syssoft.ru/softpower/era-tsisifrovyykh-dvoynikov-v-arkhitekture-i-stroitelstve/> (In Russ.).

4. Sizintsev D.A. *Development of a digital twin of a technological process using production data: master’s thesis*. Tomsk, 2020. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/61233> (In Russ.).

5. Vasilyev A.N., Tarkhov D.A., Malykhina G.F. Methods of creating digital twins based on neural network modeling. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2018;14(3):521-532. DOI: 10.25559/SITITO.14.201803.521-532 (In Russ.).

6. Prokhorov A., Lysachev M. *Digital twin. Analysis, trends, world experience*. Moscow, AlyansPrint, 2020;18,280-283. (In Russ.).

7. Baranov V.N., Bezrukih A.I., Konstantinov I.L., Rudnitsky E.A., Solopeko N.S. et al. Digital Twin Application in Teaching Students Majoring in Metallurgical Engineering. *Higher Education in Russia*. 2022;31(2):135-148. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-2-135-148 (In Russ.).

8. Goncharov A.S., Saklakov V.M. Digital twin: a review of existing solutions and prospects for the development of technology. *Information and telecommunication systems and technologies: materials of the All-Russian scientific and practical conference*. 2018;24-26. (In Russ.).

9. Makaruk O.E. *Key benefits of using digital twins in the SMART industry*. URL: <https://rep.bstu.by/bitstream/handle/data/27046/44-50.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (In Russ.).

10. Olgeizer I.A. The digital twin of a marshalling yard. *Intelligent control systems for railway transport. Computer and mathematical modeling. (ISUZhT-2019): Proceedings of the Eighth Scientific and Technical Conference*. 2019;150-152. (In Russ.).

### Об авторе

**Александр Константинович Головнич** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов, начальник Испытательного центра железнодорожного транспорта; **Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)**; 246653, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34, Республика Беларусь; [golovnich\\_alex@mail.ru](mailto:golovnich_alex@mail.ru).

### Bionotes

**Aleksandr K. Golovnich** — Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Design, Construction and Operation of transport objects, Head of Railway Transport Test Center; **Belarusian State University of Transport (BelSUT)**; 34 Kirova st., Gomel, 246653, Republic of Belarus; [golovnich\\_alex@mail.ru](mailto:golovnich_alex@mail.ru).

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.  
The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.01.2023; одобрена после рецензирования 21.04.2023; принята к публикации 28.05.2023.  
The article was submitted 15.01.2023; approved after reviewing 21.04.2023; accepted for publication 28.05.2023.