

ного государственного пожарного надзора ФГКУ «Специальное управление ФПС № 34 МЧС России». Архив новостей/ Режим доступа: <http://zvezdny.permareg.ru/Novosti/Novosti/2019/02/01/194648/>. Дата обращения 11.11.2019 г.

2. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и техника определения. (Расположение отделов пожарной службы. Процедура и методы определения).

3. Новиков, Д. А. Институциональное управление организационными системами [Текст] / Новиков Д. А. – М.: ИПУ РАН, 2003.

4. Новиков, Д. А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем [Текст] / Новиков Д. А. // М.: Фонд «Проблемы управления», 1999.

5. Новиков, Д. А. Структура теории управления социально-экономическими системами [Текст] / Новиков Д. А. // Управление большими системами. Выпуск 24. М.: ИПУ РАН, 2009

6. Есмагамбетов Т.У., Есмагамбетова М.М. Ситуационные центры как структурные единицы в составе МЧС // Актуальные вопросы образования и науки: сб. науч. тр. по мат-лам Междунар. науч.-практ. конф. 30 декабря 2013 г.: Часть 2. Тамбов, 2013. http://www.ucom.ru/doc/conf/2013_12_30_02.pdf

7. Есмагамбетов, Т. У. Анализ методов оценки надежности моделей экстренного реагирования в условиях чрезвычайных ситуаций / Есмагамбетов Т. У., Нань Фэн, Шиккульская О. М. // Материалы X Международной научно-практической конференции «Перспективы развития научно-технического сотрудничества стран – участниц Евразийского экономического союза» - г. Астрахань, 9–11 ноября 2016 г., с. 273-278.

8. Есмагамбетов Т.У. Алгоритм реагирования при получении информации об угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций // Актуальные вопросы образования и науки: сб. науч. тр. по мат-лам Междунар. науч.-практ. конф. 30 декабря 2013 г.: Часть 2. Тамбов, 2013 http://www.ucom.ru/doc/conf/2013_12_30_10.pdf

9. Есмагамбетов Т.У., Шиккульская О.М. Анализ надежности плана эвакуации населения при чрезвычайной ситуации как системы с множеством состояний на основе построения дерева ошибок. Успехи современной науки 2016, №8, Том 4, с. 68-72, ISSN 2412-6608.

10. Есмагамбетов Т.У., Шиккульская О.М. Информационно-аналитическая поддержка деятельности ситуационного центра МЧС / Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3-1. С. 18-23

11. Есмагамбетов Т.У., Шиккульский М.И., Шиккульская О.М. Реинжиниринг бизнес-процессов оперативной деятельности Карагандинского кризисного центра / Фундаментальные исследования. 2016. № 4-3. С. 490-494

12. Olga Shikulskaya, Timur Esmagambetov. Business Processes Modelling of the Karaganda Crisis Center Activity. American Journal of Operations Management and Information Systems. Vol. 2, No. 1, 2017, pp. 15-20. doi: 10.11648/j.ajomis.20170201.13

13. Есмагамбетов, Т. У. Модель оценки эффективности решения задач управления процессами экстренного реагирования как системы с многими состояниями / Есмагамбетов Т. У., Шиккульская О. М. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 3 (29). С. 108–114.

14. Есмагамбетов, Т.У. Анализ работ в области исследования надежности систем с многими состояниями для адаптации технических методов к системам экстренного реагирования / Есмагамбетов Т.У., Шиккульская О.М. // Перспективы развития строительного комплекса. 2017. № 1. С. 109-112.

15. Esmagambetov, T.U. Определение местонахождения пожарных подразделений с учетом загруженности дорог / Esmagambetov T.U., Gaber J., Shikulskaya O.M. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2018. № 1 (23). С. 44-52.

16. Есмагамбетов, Т.У. Функциональная модель процессов экстренного реагирования при пожаре (взрыве) на поверхностных объектах (стволах, обогатительных фабриках, разрезах) / Есмагамбетов Т.У., Богатырев И.Т., Попов Г.Н., Шиккульская О.М. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2018. № 4 (26). С. 39-48.

17. Есмагамбетов, Т.У. Модель бизнес-процессов экстренного реагирования при пожарах на промышленных и строительных объектах / Есмагамбетов Т.У., Игаева А.Ю., Сариева О.И., Ватунский И.С., Шиккульская О.М. // Материалы Национальной научно-практической конференции: Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования. 2018. С. 54-62.

18. Есмагамбетов, Т.У. Функциональная модель процессов экстренного реагирования ситуационного центра при пожаре (взрыве) в шахте / Есмагамбетов Т.У., Рожкова О.А., Шиккульская О.М. // материалы Национальной научно-практической конференции Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования. 2018. С. 121-128.

© Т. У. Есмагамбетов, О. М. Шиккульская

Ссылка для цитирования:

Т. У. Есмагамбетов, О. М. Шиккульская. Моделирование трехуровневой системы управления процессами экстренного реагирования // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 118–124.

УДК: 519.876.5, 1. 624.9

АЛГОРИТМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АДАПТАЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА

Д. А. Лысенко

Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

В данной статье рассмотрен подход к применению цифровых двойников объектов строительства. Обозначены современные тенденции к применению технологии создания цифровых двойников объектов строительства. Дано определение цифрового двойника объекта строительства. Обозначены проблемы, которые необходимо решить для применения цифровых двойников в строительстве. Определено ключевое свойство цифрового двойника объекта строительства – адаптивность. Описан метод автоматизированной адаптации цифровых двойников объектов строительства. Представлен алгоритм применения метода автоматизированной адаптации цифровых объектов строительства. Описаны основные шаги выполнения алгоритма автоматизированной адаптации цифрового двойника объекта строительства. Введены понятия коэффициента адаптации, постоянной времени, которые используются для описания моделей цифровых двойников объектов строительства.

Ключевые слова: цифровые двойники объектов строительства, адаптивность, автоматизированная адаптация, коэффициент адаптации, коэффициент постоянной времени.

THE ALGORITHM FOR APPLYING THE METHOD OF AUTOMATED ADAPTATION OF THE DIGITAL TWIN OF THE CONSTRUCTION OBJECT

D. A. Lysenko

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

This article discusses the approach to the use of digital twins of construction projects. The current trends in the application of technology for creating digital twins of construction projects are outlined. The definition of a digital twin of the construction object is given. The problems that need to be solved for the use of digital twins in construction are outlined. The key property of the digital twin of the construction object is defined – adaptability. The method of automated adaptation of digital twins of construction objects is described. An algorithm for the application of the method of automated adaptation of digital construction objects is presented. The basic steps of the algorithm for automated adaptation of the digital twin of the construction object are described. The concepts of adaptation coefficient, time constant, which are used to describe models of digital twins of construction objects, are introduced.

Keywords: digital twins of construction projects, adaptability, automated adaptation, adaptation coefficient, time constant coefficient.

Создание цифрового двойника объекта строительства сегодня становится возможным благодаря развитию технологий имитационного моделирования, технологий информационного моделирования объектов. При помощи современным технологиям возможно учесть все параметры и характеристики, которыми обладает объект [1–4].

Существуют различные определения цифрового двойника:

- компьютерная модель, которая копирует поведение физического объекта, называется цифровым двойником [5–7];
- цифровой двойник – это цифровая динамическая модель в виртуальном мире, полностью соответствующая ее физическому объекту в реальном мире, с возможностью имитации его характеристик, поведения, жизненного цикла и производительности [8].

Цифровой двойник строительного объекта – это цифровая система, полностью соответствующая ее физическому объекту в реальном мире, с возможностью накопления, анализа, имитации его характеристик, поведения, жизненного цикла и производительности.

Однако для широкого применения цифровых двойников в строительной отрасли, в большей степени на стадии эксплуатации, необходимо разрабатывать методическую, техническую и нормативную базу, в которой должны быть закреплены требования по созданию таких объектов [9]. Если разработчики будут выполнять данные требования, то в будущем будет возможна интеграция нескольких объектов в одну систему, что позволит создать цифровой двойник не только комплекса строительных объектов, но и позволит говорить о цифровом двойнике целого города – сложной системы, которая является комплексом систем, представляющий собой комплекс компонентов с многочисленными связями «многие ко многим», сложной обработкой информации, что затрудняет прогнозирование работы системы [10, 11].

Основная концепция цифровых двойников состоит в их актуальности физическому объекту в любой момент времени. Цифровому двойнику присуще свойство адаптивности, а сам процесс называется адаптацией цифрового двойника.

Авторами [12] предложено определение уровней цифрового двойника (табл. 1).

Таблица 1

Уровни цифрового двойника

Уровень	Модель представления	Физический двойник	Сбор данных о физическом двойнике	Машинное обучение (настройки оператором)	Машинное обучение (система / окружающая среда)
1 – прецифровой двойник	Модель виртуальной системы с акцентом на технологии / снижение технических рисков	Не существует	Не доступно	Нет	Нет
2 – цифровой двойник	Модель виртуальной системы физического близнеца	Существует	Производительность, рабочее состояние, техническое обслуживание; пакетные обновления	Нет	Нет
3 – адаптивный цифровой двойник	Модель виртуальной системы физического близнеца с адаптивным интерфейсом	Существует	Производительность, рабочее состояние, техническое обслуживание; обновления в реальном времени	Да	Нет
4 – интеллектуальный цифровой двойник	Модель виртуальной системы физического близнеца с адаптивным интерфейсом и обучением с подкреплением	Существует	Производительность, рабочее состояние, обслуживание, окружающая среда; оба пакета / обновления в реальном времени	Да	Да

Адаптивность цифрового двойника обеспечивает его автоматическое приспособление к изменениям физического объекта. В основе цифрового двойника лежит проектная информационная модель, которая на всех этапах жизненного цикла должна корректно отображать состояние физического объекта и должны быть адекватна ему. Процесс адаптации обеспечивает алгоритм, по которому происходит процесс обработки данных от физической системы и изменение цифрового двойника.

Этот процесс является наиболее сложным и нуждается в создании методологической базы.

В ходе работы в этом направлении, автором был предложен метод автоматизированной адаптации цифрового двойника объекта строительства. Суть метода заключается в том, что он позволяет в автоматизированном режиме обновлять цифровой двойник во времени с целью создания точной копии физического объекта.

Для корректного выполнения данного подхода к процессу автоматизированной адаптации цифрового двойника необходимо соблюдать выполнения ряда последовательных шагов, которые заключены в алгоритм автоматизированной адаптации строительного объекта (рис. 1).

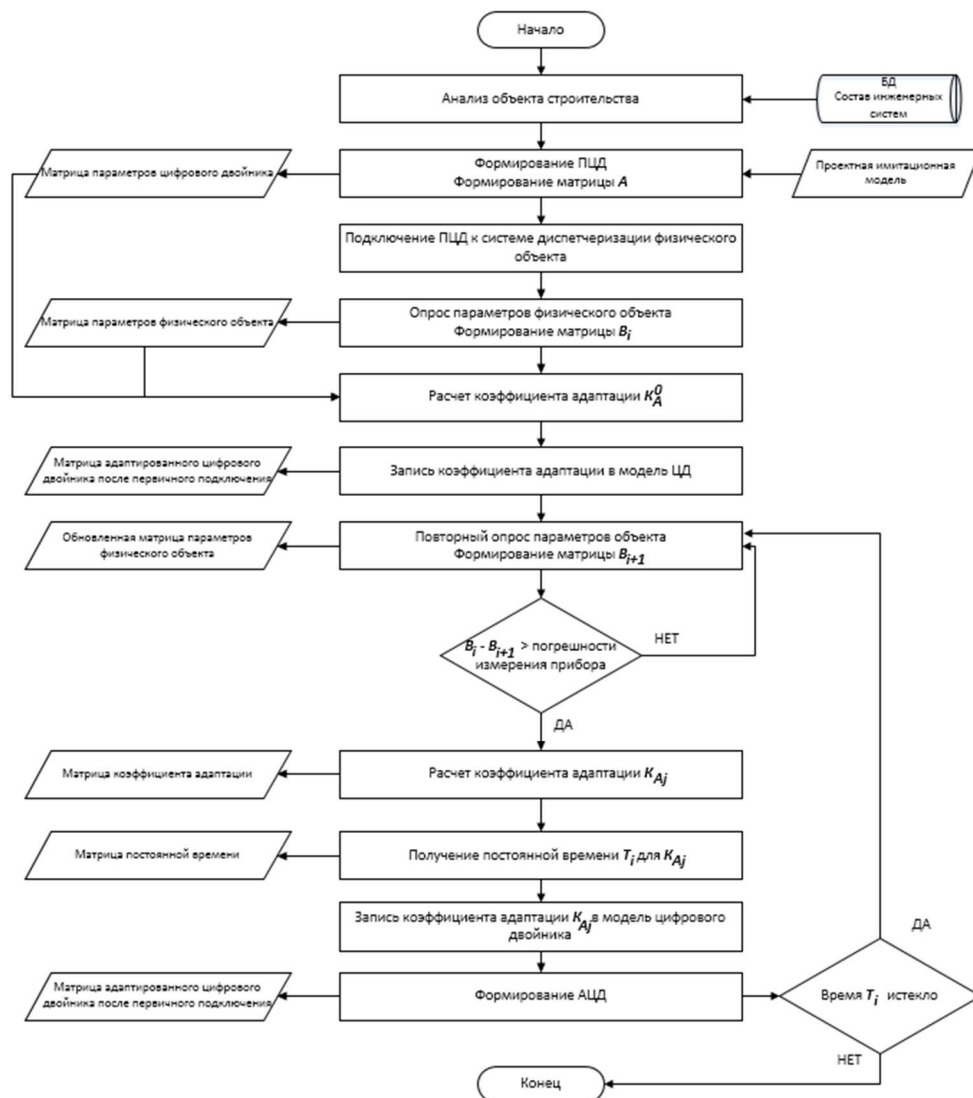


Рис. 1. Алгоритм применения метода автоматизированной адаптации цифрового двойника объекта

В ходе выполнения алгоритма происходит анализ объекта строительства, в результате которого формируется перечень инженерных систем, для которых разрабатываются имитационные модели, а также система диспетчеризации.

На втором шаге на основе имитационных моделей формируется проектный цифровой

двойник (ПЦД), в основе которого лежат нормативные расчеты.

$$A(t) = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{481} & \dots & a_{48n} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $A(t)$ – матрица значений параметров ПЦД.

Далее ПЦД подключается к системе диспетчеризации физического объекта и происходит

опрос параметров работы инженерных систем. В результате этих действий формируется цифровой двойник физического (ЦДФ) объекта.

$$B_i(t) = \begin{pmatrix} b_{11}(t) & \cdots & b_{1n}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{481}(t) & \cdots & b_{48n}(t) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $B_i(t)$ – матрица значений параметров ЦДФ в начальный момент времени t .

На следующем шаге на основе значений ПЦД и ЦДФ рассчитывается коэффициент адаптации, который после обновления результатов опроса ЦДФ перезаписывается. Коэффициент адаптации (K_A) – величина, которая используется для адаптации элементов системы на определенном промежутке времени (постоянная времени).

Постоянная времени – это период времени, при котором цифровой двойник является адекватным. Постоянная времени равна отрезку времени, при котором разница в измерениях не превышает погрешность измерения.

$$K_A = K_A^0 \pm \Delta K_j. \quad (3)$$

Используя коэффициент адаптации, система формирует адаптированный цифровой двойник (АЦД), который актуален при действительном значении постоянной времени.

$$A_A(t) = \begin{pmatrix} a_{A11}(t) & \cdots & a_{A1n}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{A481}(t) & \cdots & a_{A48n}(t) \end{pmatrix} \quad (4)$$

где $A_A(t)$ – матрица значений параметров АЦД, которая актуальна время t .

После того, как время действия постоянной времени истекло, система возвращается на шаг опроса параметров физического объекта.

Таким образом, алгоритм автоматизированной адаптации цифрового двойника строительного объекта позволяет сформировать цифровой двойник адекватный физическому объекту.

Адаптированный цифровой двойник адекватен физическому объекту, если для него действительно значение постоянной времени.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Минобрнауки РФ №7.6932.2017/8.9.

Список литературы

1. Волков А. А. Кибернетика строительных систем. Киберфизические строительные системы // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 9. С. 4-7.
2. Волков А.А. Основы гомеостатики зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2002. №1, С. 34-35
3. Чельшков П.Д. Киберфизическая интеграция строительных систем // Естественные и технические науки. 2018. №6. С. 198-200
4. Чельшков П.Д. Аспекты автоматизированного проектирования киберфизических строительных систем // Промышленное и гражданское строительство. 2018. №9. С. 21-27
5. "Uhlemann T.H.-J., Steinhilper C.L.R., Steinhilper R. The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry [15] 4.0 // Procedia CIRP. 2017. Vol. 61. Part of special issue: The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering. Ed."
6. "Uhlemann T.H.-J., Schock C., Lehmann C., Freiburger S., Steinhilper R. The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems // Procedia Manufacturing. 2017. Vol. 9. Pp. 113-120. DOI: 10.1016/j.promfg.2017"
7. "Boschert S., Rosen R. Digital Twin - The Simulation Aspect / P. Hehenberger, D. Bradley (Eds.) // Mechatronic Futures. Springer International Publishing, 2016. Pp. 59-74. DOI: 10.1007/978-3-319-32156-1_5"
8. Cunbo Zhuang. Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor / Cunbo Zhuang, Jianhua Liu, Hui Xiong // INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY. – 2018. – No96.
9. «Петров А.В.Имитационное моделирование как основа технологии цифровых двойников // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. No 10. С. 56–66. DOI: 10.21285/1814- 3520-2018-10-56-66».
10. "Mitchell, M. (2009). Complexity: a guided tour. Oxford: Oxford University Press".
11. В.И. Дьяков "Типовые расчеты по электрооборудованию", 1991 г., стр. 156.
12. «Madni, A.M.; Madni, C.C.; Lucero, S.D. Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. Systems 2019, 7, 7.

© Д. А. Лысенко

Ссылка для цитирования:

Д. А. Лысенко. Алгоритм применения метода автоматизированной адаптации цифрового двойника объекта строительства // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 124–127.

УДК 681.586

СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ В УМНОМ ГОРОДЕ

В. М. Зарипова, И. Ю. Петрова, Ю. А. Лежнина

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия

Рост городского населения в последние годы обуславливает активное развитие городской инфраструктуры на основе информационных технологий и интернета вещей. С другой стороны, высокая концентрация населения в городских агломерациях увеличивает нагрузку на такие ресурсы, как земля, пространство, чистая вода и энергия. Поэтому вопросы эффективного управления крупными городами и обеспечение жизненно важных функций городской среды (транспорт, безопасность, водоснабжение, энергетика и др.), необходимых для удовлетворения потребностей граждан, становятся еще более актуальными. В статье рассмотрена системная многоуровневая архитектура инфраструктуры умных городов, обос-