

## КОРРЕКТИРОВКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА (BIM) НА БАЗЕ ОБЛАКА ТОЧЕК

Е.Н. САВИНА<sup>1</sup>, А.А. ЯКОВЛЕВ<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

<sup>2</sup> старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

*За последние годы выполнено некоторое количество объектов в Республике Беларусь используя эту технологию, прошедших экспертизу и введенных в эксплуатацию. Большое количество участников в строительстве воспринимает BIM как инструмент, который реализовывает только задачи проектирования. На строительной площадке не все участники понимают эту концепцию. Служба эксплуатации не имеет соответствующее ПО и профильных специалистов. Поэтому есть необходимость определить основные критерии. Уровни зрелости BIM определяет технологический прогресс, достигнутый в зависимости от степени взаимодействия и обмена информацией между различными участниками проекта. Показаны результаты работы используя предложенную методику в виде переработанного облака точек, основные конструктивные элементы после устранения дефектов. Выполнен экспорт результатов обработки данных облака точек в программный комплекс «Revit», разработана и создана цифровая модель моста на базе BIM технологии, разработаны индивидуально отдельные семейства конструктивных элементов, получена адекватная расчетная схема транспортного сооружения.*

*Во время выполнения работ по обследованию транспортного сооружения выполняется сканирование объекта (БПЛА) для получения информации о фактическом техническом состоянии сооружения и его геометрии. На основании облака точек выполняется поиск коллизий используя типовое проектное решение. Полученную цифровую модель моста возможно экспортировать в расчетный программный комплекс для определения грузоподъемности моста.*

Ключевые слова: облако точек; цифровая модель объекта; сканирование объекта; BIM технологии; конструктивные элементы; мост; транспортное сооружение; беспилотный летательный аппарат.

## ADJUSTMENT OF THE DIGITAL BUILDING IMAGE MODEL (BIM) BASED ON THE POINT CLOUD

E.N. SAVINA<sup>1</sup>, A.A. YAKOVLEV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>assistant of the department "Bridges and tunnels"

<sup>2</sup>senior lecturer of the department "Bridges and tunnels"

Belarusian National Technical University,

Minsk, Republic of Belarus

*In recent years, a number of projects have been completed in the Republic of Belarus using this technology, which have passed the examination and been put into operation. A large number of participants in construction perceive BIM as a tool that implements only design tasks. Not all participants at the construction site understand this concept. The operation service does not have the appropriate software and specialized specialists. Therefore, there is a need to define the main criteria. BIM maturity levels determine the technological progress achieved depending on the degree of interaction and information exchange between various project participants. The results of the work using the proposed methodology are shown in the form of a processed point cloud, the main structural elements after eliminating defects. The results of point cloud data processing were exported to the Revit*

*software package, a digital model of the bridge was developed and created based on BIM technology, individual families of structural elements were developed, and an adequate calculation scheme of the transport structure was obtained.*

*During the inspection of the transport structure, the object is scanned (UAV) to obtain information about the actual technical condition of the structure and its geometry. Based on the point cloud, a collision search is performed using a standard design solution. The resulting digital model of the bridge can be exported to a calculation software package to determine the bridge's load capacity.*

Keywords: point cloud; digital model of an object; object scanning; BIM technologies; structural elements; bridge; transport structure; unmanned aerial vehicle.

## ВВЕДЕНИЕ

Строительство и техническое обслуживание дорожной инфраструктуры является важным сектором национальной экономики большинства стран. В то же время это один из наименее оцифрованных секторов. В 2014 году в республике Беларусь была утверждена программа по разработке и внедрению информационных технологий комплексной автоматизации проектирования и поддержки жизненного цикла зданий и сооружений.

Директива № 8 «О приоритетных направлениях развития строительной отрасли», подписанной Президентом Республики Беларусь А.Г. Лукашенко марте 2019 года, одним из приоритетных направлений развития строительной отрасли была обозначена масштабная цифровая трансформация, включающая активное изучение и внедрение BIM-технологий - информационного моделирования в строительстве. На сегодняшний день большинство строительных и проектных организаций, а также службы заказчика не спешат входить в среду информационных технологий.

За последние годы выполнено некоторое количество объектов в Республике Беларусь используя эту технологию, прошедших экспертизу и введенных в эксплуатацию.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нужно выделить что уровни зрелости BIM часто путают с так называемыми измерениями BIM. На самом деле это разные понятия. Параметры BIM определяют все аспекты и информацию, которые используются в процессе оцифровки строительного проекта. BIM – это нечто большее, чем просто трёхмерное (3D) моделирование, которым оно известно, и может включать в себя другие «измерения», которые служат для добавления полезной информации о работе, которую необходимо выполнить или которой нужно управлять (рисунок 1) [1–18].

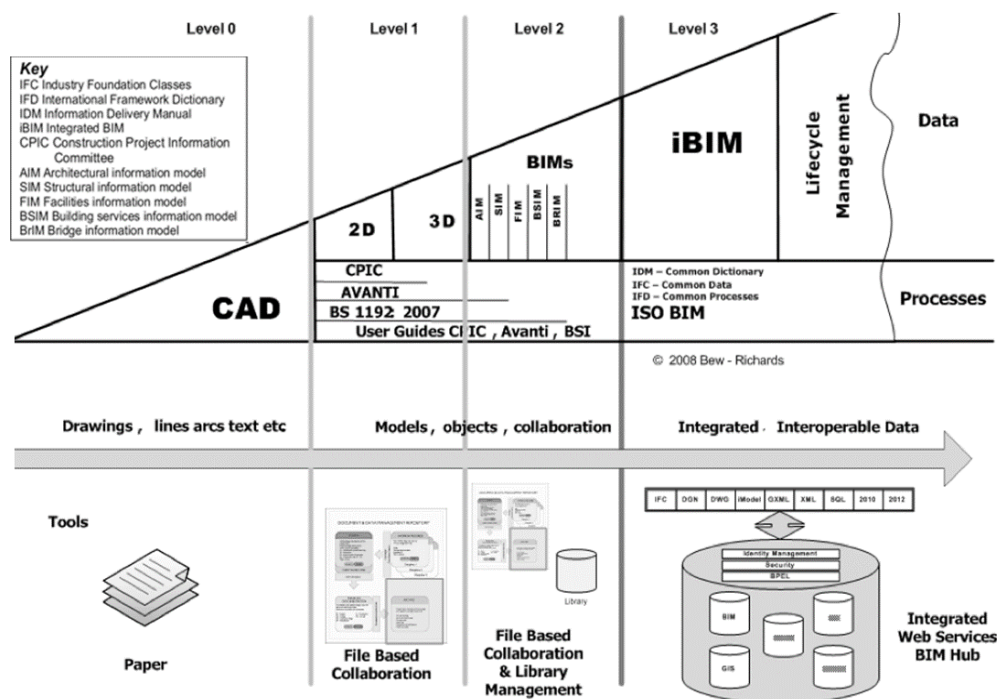


Рисунок 1 – Уровни зрелости BIM

Уровни цифровой зрелости:

L0 – низкая степень взаимодействия – вы работаете в 2D с помощью программного обеспечения для автоматизированного проектирования (CAD) или с бумажными документами;

L1 – частичное взаимодействие – работа в 2D или 3D с помощью программного обеспечения для автоматизированного проектирования 3D с цифровыми файлами;

L2 – полное взаимодействие – работа в 3D;

L3 – полная интеграция.

Также можно выделить 3 этапа зрелости BIM:

1 этап – на котором 2D-результаты САПР и 3D-модели BIM объединяются в соответствии с национальными нормативными требованиями для управления проектом.

2 этап – на котором информационные модели отдельных дисциплин (конструкции, архитектура, инженерные системы и т. д.) объединяются и соответствуют международным стандартам ISO 19650, обеспечивая комплексное управление строительным проектом.

3 этап – на которой структурированные системы баз данных с информационными моделями, доступными для немедленного запроса, позволяют внедрить OPEN BIM в качестве системы управления проектом и его последующей эксплуатации.

С помощью БПЛА было получено облако точек моста, выполнена его очистка от «шумов» и преобразована в рабочую модель. Используя исходные проектные данные были разработаны семейства основных конструктивных элементов с применением BIM технологии, для обеспечения соответствия международным стандартам выполнено армирование элементов и разработаны спецификации (LOD 400), с последующим экспортом в расчетную схему. Последовательность выполнения работ представлена на рисунке 2.

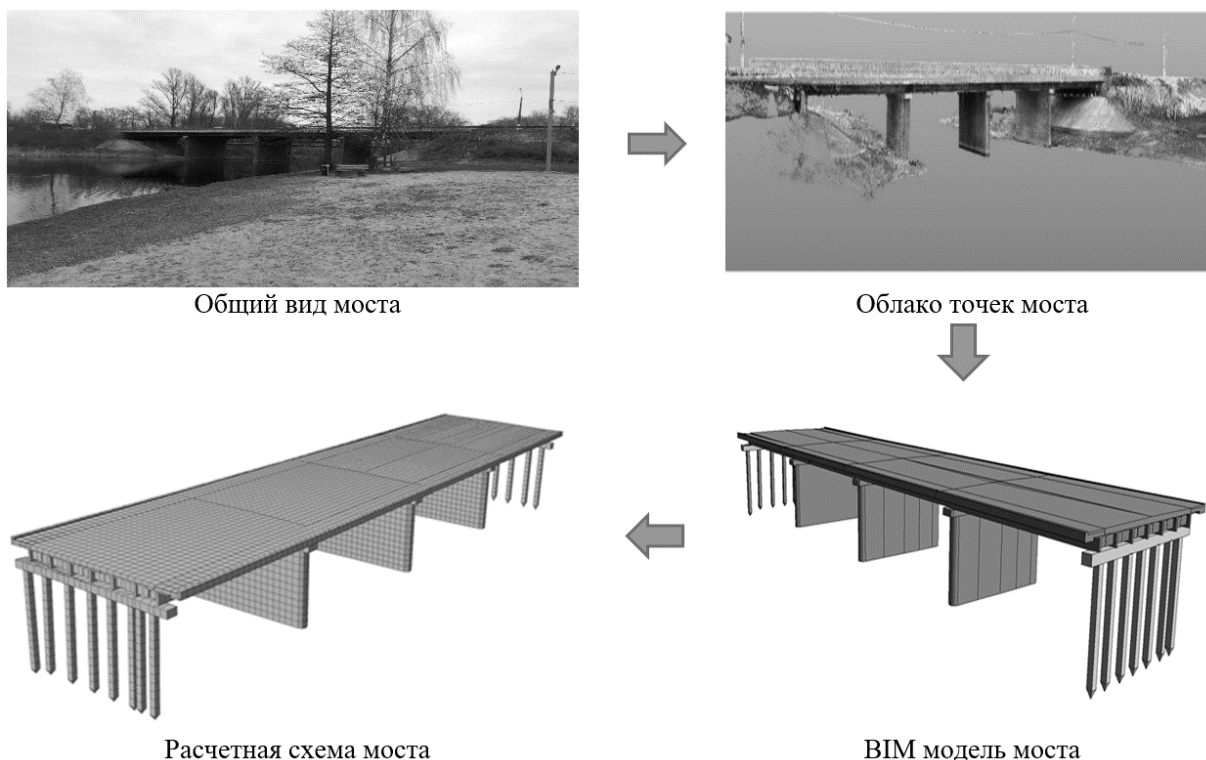


Рисунок 2 – Схема последовательности выполнения работ

После выполнения корректировки цифровой модели объекта «Revit» с учетом облака точек полученные результаты можно экспортировать в расчетный программный комплекс. Используя фактическую геометрию моста, появляется возможность адекватно создать сетку конечных элементов для корректного отображения результатов расчета. Созданная модель позволяет применять 10D BIM всего жизненного цикла сооружения. Имеется возможность подключения системы мониторинга моста к модели с учетом ее работы в реальном времени и осуществлять сбор и анализ полученных данных с отображением исследуемых величин на расчетной схеме, тем самым повышая эффективность управления мостом. Развитие BIM технологий привело к возможности обработки больших объемов данных из нескольких источников, их извлечение с последующей обработкой, появилась обратная связь в виде прогнозирования и принятия решений, что преобразовывает BIM в DT (digital twin) – цифровой двойник.

Создание цифровой модели объекта с применением облака точек является актуальной задачей. Однако создание точной геометрической 3D параметрической модели из облака точек по-прежнему является сложной задачей (рис. 3). Выявленные вопросы по оборудованию, квалификации специалистов и качеству облака точек решаемы с учетом времени и выполнения таких работ для увеличения опыта.

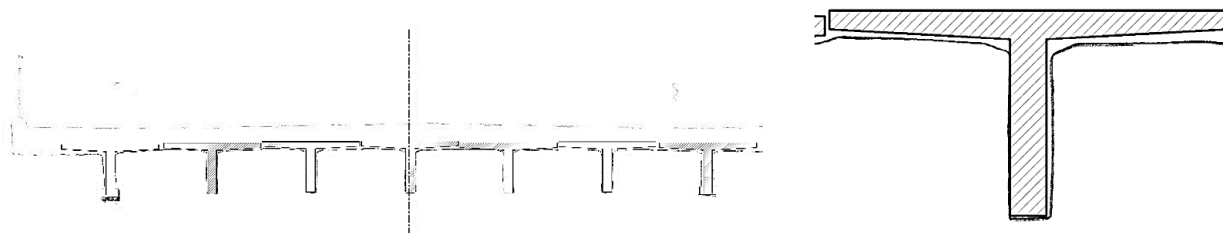


Рисунок 3 – Общий вид облака точек и цифровой модели на примере балки пролетного строения с учетом корректировок

## ВЫВОДЫ

Выявленные геометрические отклонения расположения основных несущих элементов от проекта связаны со сложностью строительно-монтажных работ в тот промежуток времени. Применение сканирования раз в 3-5 лет позволит собирать информацию о жизненном цикле моста и прогнозировать на основании изменения его геометрии техническое состояние.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зобов П.Г. Современные методы 3D-сканирования при размерном анализе судовых моделей с учетом их аддитивного изготовления / П. Г. Зобов, А. В. Дектярев, В. Н. Морозов // Известия КГТУ. – 2019. – № 53. – С. 151-161. – EDN QWZXJZ.
2. Миненко М.В. Способы восстановления 3D сцены по двумерным изображениям / М. В. Миненко // Молодежная школа-семинар по проблемам управления в технических системах имени А.А. Вавилова. – 2019. – Т. 1. – С. 47-50. – EDN RVASFD.
3. Бегляров Н.С. Применение универсальной технологии сбора геопространственных данных при изысканиях //ББК 38.2 с23. – 2020. – с. 30.
4. Пиримов Ж.Ж. Использование ортофотопланов для работы кадастра с помощью фотограмметрических методов и геоинформационных систем //Поколение будущего: Взгляд молодых ученых-2021. – 2021. – С. 295-299.
5. Тихонов С.Г., Хрущев А.С. Создание 3D моделей декораций космической станции по результатам трёхмерного сканирования и фотограмметрической съёмки для фильма «Салют-7» // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения. Сборник материалов II международной научно-практической конференции. 8-10 ноября 2017 г., Санкт-Петербург. – СПб., 2017. –С. 166-167;
6. Маньяков Ю.А., Архипов П.О., Ставцев П.Л. Метод интеграции трехмерных моделей в сцену в процессе трехмерной реконструкции // Системы высокой доступности. 2022. Т. 18. № 4. С. 16-27. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20729472-202204-02>.
7. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение / А.В. Скворцов. - Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. – 128 с.
8. Редько А.В., Глебов С.А. Применение методов фильтрации в задаче построения поверхности по облаку точек //Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – №. СВ2. – С. 92-97.
9. Ботяновский, А.А. Применение BIM-технологий и новейшего оборудования при исследовании фактического технического состояния мостового сооружения / А.А. Ботяновский, В.Г. Пастушков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2015. – № 1. – С. 342-345.
10. Гинзбург, А.В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта / А. В. Гинзбург // Информационные ресурсы России. – 2016. – № 5(153). – С. 28-31.
11. Деменев, А.В. Информационное моделирование при эксплуатации зданий и сооружений / А.В. Деменев, А.С. Артамонов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Том 7. – № 3. – С. 21-29.
12. Красковский, Д. Преимущества BIM-технологии в единстве источника информации об объекте / Д. Красковский // САПР и графика. – 2015. – № 12(230). – С. 62-63.
13. Морина, Е.А. BIM-технологии в мостовом проектировании, Строительство уникальных зданий и сооружений / Е.А. Морина, А.И. Макаров // 2017. – №6 (57). – С. 30-46.
14. Мустафин, Н.Ш. Анализ возможности внедрения в строительство технологии информационного моделирования зданий программами вида BIM / Н.Ш. Мустафин, А.А. Барышников, А.М. Спрыжков // Региональное развитие. – 2015. – № 8. – С. 9-10.
15. Полуэктов, В.В. Российский опыт применения BIM в архитектуре и градостроительстве / В.В. Полуэктов // Современные технологии и методики в архитектурно-художественном образовании. – 2016. – С. 179-181.

16. Румянцева, Е.В. BIM-технологии: подход к проектированию строительного объекта как единого целого / Е.В. Румянцева, Л.А. Манухина // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2015. – № 5(18). – С. 33-36.

17. Скворцов, А.В. Модели данных BIM для инфраструктуры / А.В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 1(4). – С. 16-23.

## REFERENCES

1. Zobov P.G. Modern methods of 3D scanning in dimensional analysis of ship models taking into account their additive manufacturing / P. G. Zobov, A. V. Dektyarev, V. N. Morozov // Bulletin of KSTU. – 2019. – No. 53. – P. 151-161. – EDN QWZXJZ.

2. Minenko M.V. Methods for restoring a 3D scene from two-dimensional images / M. V. Minenko // Youth School-Seminar on Control Problems in Technical Systems named after A.A. Vavilov. – 2019. – Vol. 1. – P. 47-50. – EDN RVASFD.

3. Beglyarov N.S. Application of universal technology for collecting geospatial data in surveys // ВВК 38.2 p.23. – 2020. – p. 30.

4. Pirimov Zh.Zh. Using orthophotoplans for cadastral work using photogrammetric methods and geographic information systems // Generation of the Future: A View of Young Scientists-2021. – 2021. – P. 295-299.

5. Tikhonov S.G., Khrushchev A.S. Creating 3D models of space station scenery based on the results of three-dimensional scanning and photogrammetric survey for the film "Salyut-7" // Geodesy, cartography, geoinformatics and cadastres. From idea to implementation. Collection of materials of the II international scientific and practical conference. November 8-10, 2017, St. Petersburg. - St. Petersburg, 2017. – P. 166-167;

6. Manyakov Yu.A., Arkhipov P.O., Stavtsev P.L. Method of integrating three-dimensional models into a scene during three-dimensional reconstruction // High Availability Systems. 2022. Vol. 18. No. 4. Pp. 16-27. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20729472-202204-02>.

7. Skvortsov AV Delaunay triangulation and its application / AV Skvortsov. – Tomsk: Publishing house of Tomsk University, 2002. – 128 p.

8. Redko AV, Glebov SA Application of filtering methods in the problem of constructing a surface from a point cloud // Electronic journal: science, technology and education. – 2017. – No. SV2. – Pp. 92-97.

9. Botyanovsky, A.A. Application of BIM technologies and the latest equipment in the study of the actual technical condition of a bridge structure / A. A. Botyanovsky, V. G. Pastushkov // Modernization and scientific research in the transport complex. 2015. – No. 1. – P. 342-345.

10. Ginzburg, A. V. BIM technologies throughout the life cycle of a construction project / A. V. Ginzburg // Information resources of Russia. – 2016. – No. 5 (153). – P. 28-31.

11. Demenev, A. V. Information modeling in the operation of buildings and structures / A. V. Demenev, A. S. Artamonov // Internet journal "Science Studies". – 2015. – Vol. 7. – No. 3. – P. 21-29.

12. Kraskovsky, D. Advantages of BIM technology in the unity of the source of information about the object / D. Kraskovsky // CAD and graphics. – 2015. – No. 12 (230). – P. 62-63.

13. Morina, EA BIM technologies in bridge design, Construction of unique buildings and structures / EA Morina, AI Makarov // 2017. – No. 6 (57). – P. 30-46.

14. Mustafin, N.Sh. Analysis of the possibility of introducing building information modeling technology into construction using BIM programs / N.Sh. Mustafin, AA Baryshnikov, AM Spryzhkov // Regional development. – 2015. – No. 8. – P. 9-10.

15. Poluektov, VV Russian experience of using BIM in architecture and urban planning / V.V. Poluektov // Modern technologies and methods in architectural and artistic education. – 2016. – P. 179-181.

16. Rumyantseva, E.V. BIM technologies: an approach to designing a construction project as a single whole / E.V. Rumyantseva, L.A. Manukhina // Modern science: current problems and solutions. – 2015. – No. 5 (18). – P. 33-36.

17. Skvortsov, A.V. BIM data models for infrastructure / A.V. Skvortsov // CAD and GIS of highways. – 2015. – No. 1 (4). – P. 16-23.