

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ,
МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Научная статья

УДК 624.21/.8

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-3/113-121>**Применение технологии информационного моделирования
при разработке проекта ремонта мостового сооружения****Стефан Васильевич Ефимов**[✉], **Алексей Владимирович Паторняк**,
Иван Владимирович Чаплин

Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Российская Федерация

✉ esvmt@mail.ru

Аннотация. Рассмотрено применение технологии BIM (building information modeling) при разработке проектов капитального ремонта инфраструктурных сооружений на примере городского путепровода. Описан процесс создания цифровых информационных моделей различных вариантов сооружения с использованием программных комплексов Tekla Structures и Midas CIM. Отмечены преимущества применения технологии BIM: формирование графических материалов, создание спецификаций и устранение коллизий на этапе моделирования. Показана важность совместной работы всех участников проекта (конструкторов, расчетчиков и др.) на одной платформе для координации смежных разделов. Особое внимание уделено экспорту цифровых информационных моделей в расчетный комплекс Midas Civil для выполнения прочностных расчетов конструкций моста.

Ключевые слова: BIM-технологии, капитальный ремонт, инфраструктура, мостовые сооружения, информационное моделирование, моделирование мостов, капитальный ремонт моста

Для цитирования: Ефимов С.В., Паторняк А.В., Чаплин И.В. Применение технологии информационного моделирования при разработке проекта ремонта мостового сооружения // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 3(60). С. 113–121.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRFIELDS, BRIDGES
AND TRANSPORT TUNNELS

Original article

**Application of information modeling technology
in developing a bridge repair project****Stefan V. Efimov**[✉], **Alexey V. Patornyak**, **Ivan V. Chaplin**

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation,

✉ esvmt@mail.ru

Abstract. This article discusses the using of BIM technology in the development of capital repair projects for infrastructure structures using the example of a city overpass. The process of creating digital information models of various construction options using software packages such as Tekla Structures and Midas CIM is described. The advantages of using BIM technology are noted, such as the generation of graphic materials, the creation of specifications and the elimination of collisions at the modeling stage. The importance of collaboration of all project participants (designers, calculations, etc.) on one platform to coordinate related sections is considered. Particular attention is paid to the export of digital information models to the Midas Civil calculation system for performing strength calculations of bridges.

Keywords: BIM technologies, major repairs, infrastructure, bridges, information modeling, bridge modeling, major repairs of a bridge

For citation: Efimov S.V., Patornyak A.V., Chaplin I.V. Application of information modeling technology in developing a bridge repair project. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2024, no. 3(60), pp. 113–121. (In Russ.).

Введение

При эксплуатации в мостовых сооружениях с течением времени появляются дефекты, устранение которых осуществляют в ходе текущего ремонта, капитального ремонта или реконструкции. Ремонт – неотъемлемая часть жизненного цикла любого мостового сооружения. Многие конструкции моста нуждаются в регулярном техническом обслуживании, а также в восстановлении при их повреждении. Своевременная реализация ремонтных мероприятий необходима для поддержания сооружения в работоспособном состоянии, увеличения срока службы конструкций и обеспечения безопасности эксплуатации мостового сооружения. Схема жизненного цикла сооружения дана на рис. 1.

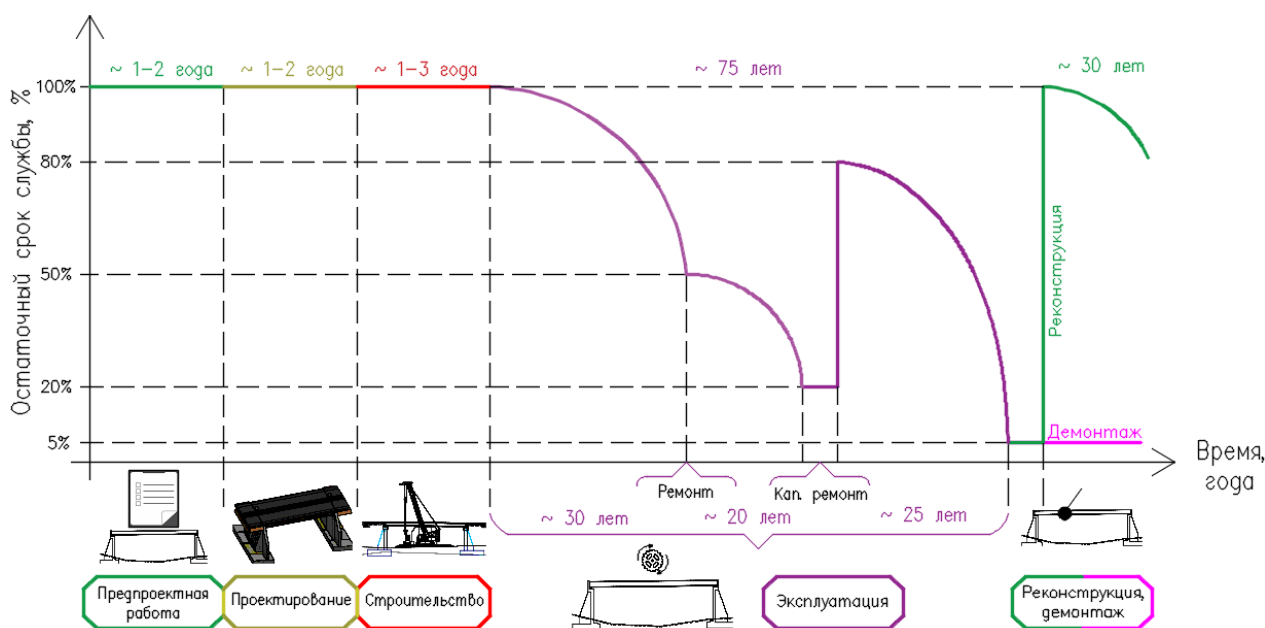


Рис. 1. Жизненный цикл мостового сооружения
Fig. 1. Life cycle of a bridge structure

Одним из способов оптимизации процесса разработки проекта ремонта или реконструкции сооружения является применение технологии BIM (building information modeling) начиная со стадии обследования [1]. Применение технологии BIM при данных работах позволяет выделить следующие актуальные преимущества:

- визуальное моделирование значимых изменений в конструкциях сооружения (например, элементов усиления, узлов сопряжения) [2–5];
- минимизация ошибок в определении объемов работ и спецификаций материалов и изделий;
- оптимизация трудозатрат (более точное планирование этапов разработки проекта);
- удобство управления проектом (отслеживание выполнения этапов работ и координация смежных разделов).

Это особенно актуально применительно к сети федеральных автомобильных дорог России, где ежегодно для более 1,5 тысяч мостовых сооружений разрабатываются проекты ремонтов. Цель данной статьи – реализация BIM-процесса при разработке проекта капитального ремонта путепровода, задачи – создание вариантов цифровых информационных моделей сооружения, выявление преимуществ технологии BIM при разработке проекта ремонта сооружения, автоматизация процесса получения чертежей и импорта цифровых информационных моделей в расчетный комплекс Midas Civil.

Разработка вариантов капитального ремонта мостового сооружения

Рассматриваемое в данной статье сооружение расположено в населенном пункте Кемеровской области на магистральной улице общегородского значения регулируемого движения. Путепровод построен в конце 1950-х годов. Продольная схема путепровода составляет 11,36+22,16+11,36 м в полных длинах пролетов, ширина мостового полотна – 23,1 м с двусторонними тротуарами по 1,15 м. Габарит проезда по ширине составляет 19,75 м, в пределах которого предусмотрено расположение четырех полос автомобильного движения и двух рельсовых трамвайных путей, устроенных на необособленном мостовом полотне. Путепровод пересекает два железнодорожных технологических пути необщего пользования. Все опоры путепровода – железобетонные облегченные. Концевые опоры выполнены свайными двухрядными обсыпными, промежуточные – стоечными однорядными. Схема сооружения представлена на рис. 2.

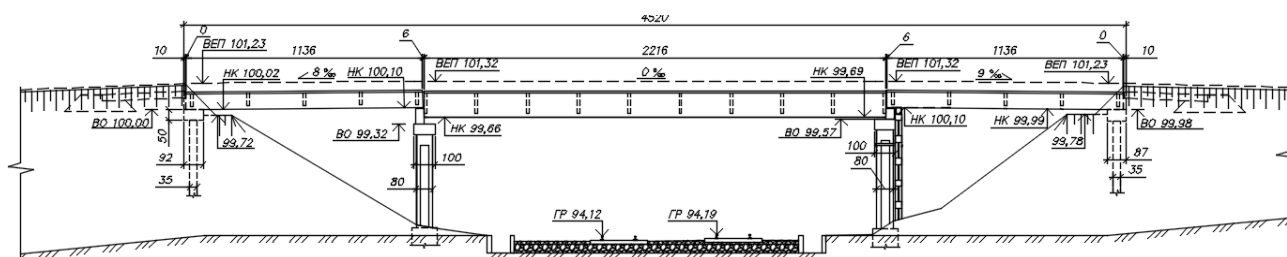


Рис. 2. Схема сооружения

Fig. 2. Diagram bridge

Основные дефекты, значительно снижающие эксплуатационные качества сооружения:

- недостаточный габарит проезда по ширине (фактический – 19,75 м, требуемый – 23,50 м);
- существенное деградиционное разрушение бетона балок пролетных строений и опор с обнажением и коррозией рабочей арматуры;
- сверхнормативная толщина мостового полотна, снижающая грузоподъемность отдельных балок;
- многочисленные сколы в узлах опирания балок крайних пролетных строений из-за отсутствия опорных частей.

20 марта 2023 года в приказ № 402 «Классификация работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог» были внесены существенные изменения, касающиеся объемов работ, которые могут быть выполнены по титулу капитального ремонта, заключающиеся преимущественно в следующем:

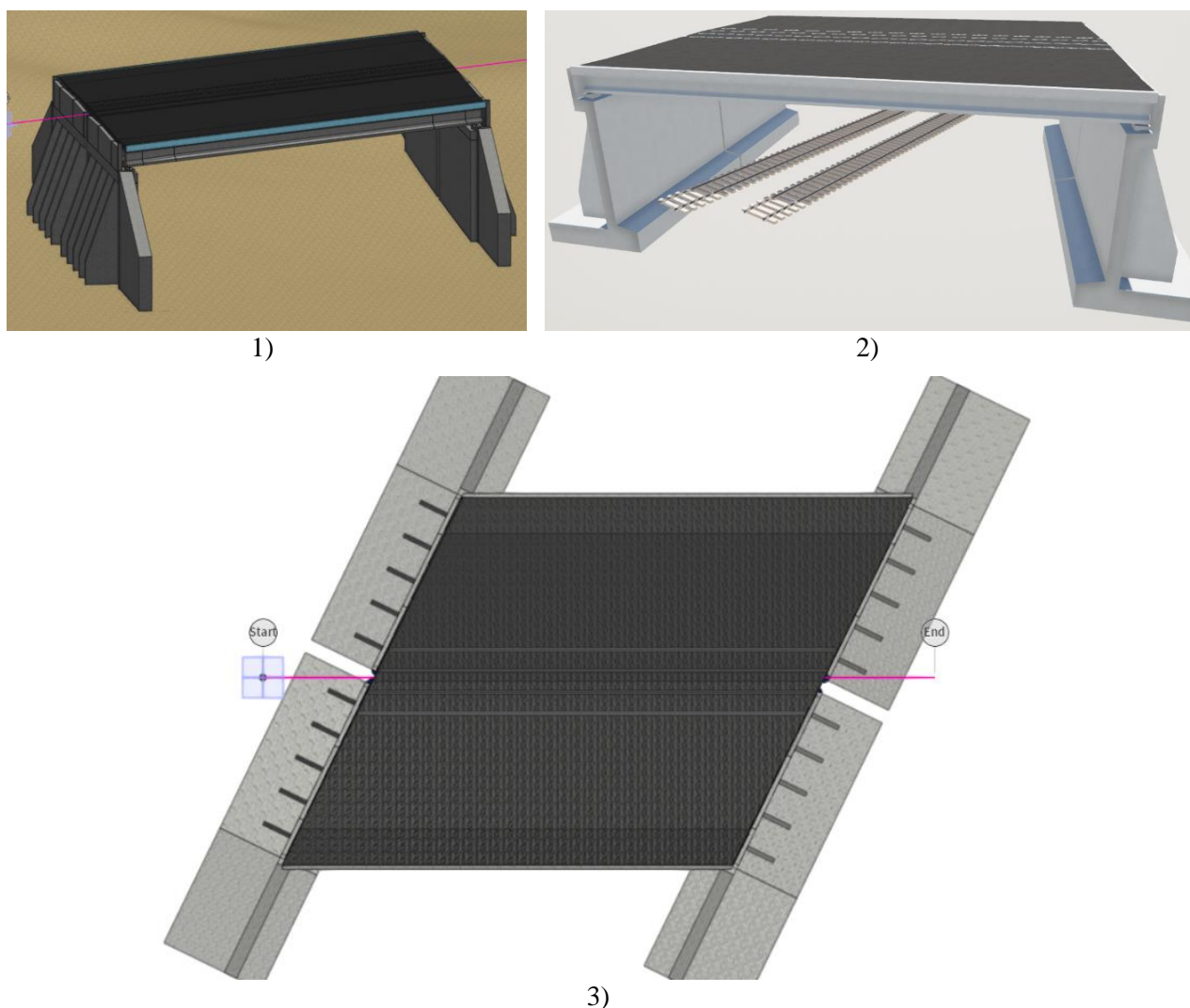
- 1) замена всех балок пролетных строений;
- 2) замена пролетных строений, в том числе с изменением продольной схемы сооружения (с возможным изменением длины моста до 25%);
- 3) замена опор, в том числе с изменением продольной схемы сооружения (с возможным изменением длины моста до 15%);
- 4) изменение ширины тротуаров;
- 5) уширение пролетных строений с доведением их габаритов до параметров, установленных для рассматриваемой категории дороги.

С учетом этих поправок, а также текущего технического состояния путепровода, рассматриваемого в статье, предложено несколько вариантов капитального ремонта сооружения для приведения его параметров к нормативным требованиям.

Варианты путепровода были разработаны в двух различных программных комплексах – Tekla Structures и Midas CIM, с уровнем детализации, соответствующим LOD-200 [6]. Выбор комплексов вызван наличием учебных версий данных программ на кафедре. В Tekla Structures было смоделировано препятствие в виде двух железнодорожных путей. В Midas CIM сформировано

рована поверхность земли на участке расположения сооружения, поскольку в программе имеется модуль импорта координатных привязок и модели рельефа местности.

При разработке первого варианта сооружения были применены типовые конструкции пролетного строения и опоры индивидуальной проектировки в виде железобетонных контрфорсных стен. Препятствие было перекрыто одним пролетом полной длиной 33 м, выполненным из двутавровых железобетонных балок с напрягаемой арматурой. Общая длина путепровода составила 34,3 м. Общий вид сооружения представлен на рис. 3. На схемах вариантов путепровода отображены только главные несущие конструкции (опоры и пролетные строения). Конструкции мостового полотна, подходные насыпи и поверхность земли не показаны.



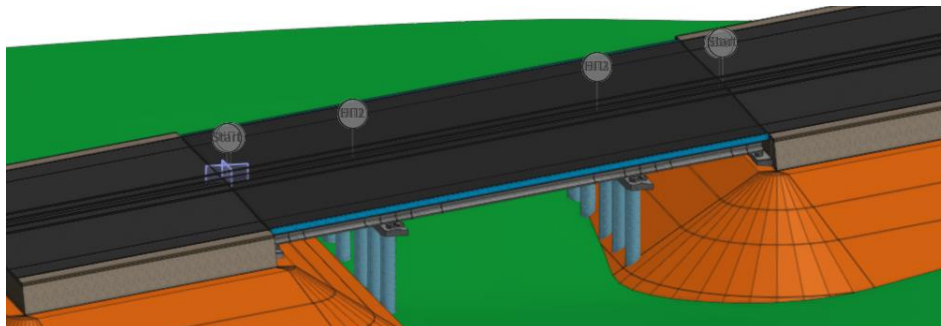
**Рис. 3. Первый вариант путепровода:
1) вариант разработан в Midas CIM; 2) вариант разработан в Tekla Structures;
3) план модели, разработанной в Midas CIM**

Fig. 3. The first variant of the overpass:
1) variant designed at Midas CIM; 2) variant designed at Tekla Structures;
3) plan of a model developed in Midas CIM

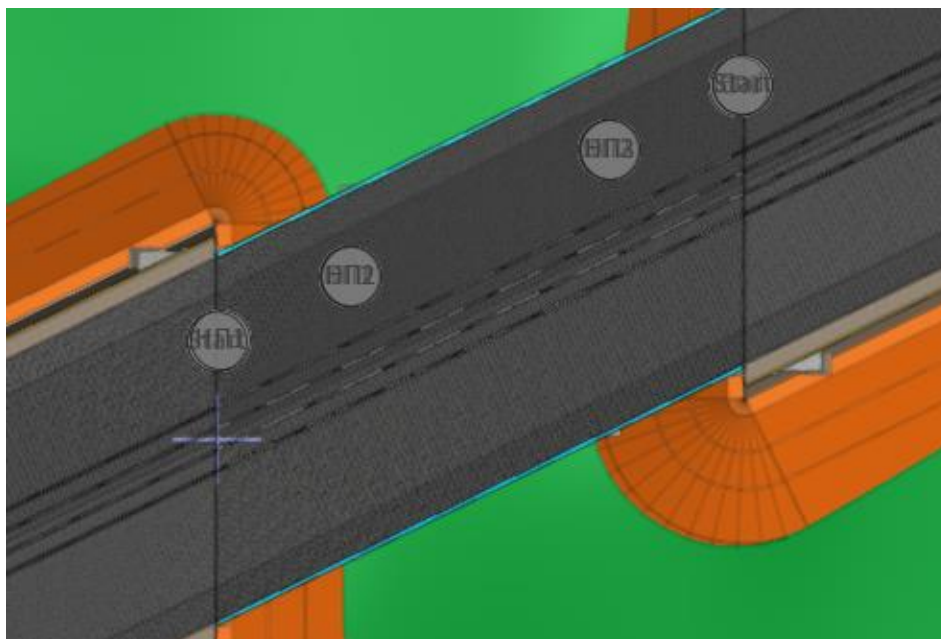
Для второго варианта путепровода применена температурно-неразрезная трехпролетная конструкция. Схема сооружения второго варианта, выполненного в Midas CIM, составляет 12,0+24,0+12,0 м в полных длинах пролетов, а в Tekla Structures – 12,0+28,0+12,0 м. Смежные пролетные строения над промежуточными опорами объединены по плите в температурно-неразрезную систему. Концевые обсыпные опоры выполнены облегченными с фундаментом на свайном ростверке. Промежуточные опоры стоечные с массивным фундаментом мелкого

заложения на естественном основании. Первый и второй варианты сооружения, смоделированные в Midas CIM, выполнены с косиной (ось опор не перпендикулярна оси пролетных строений). Общий вид второго варианта путепровода приведен на рис. 4. Классическое технико-экономическое сравнение, выполняемое при вариантном проектировании капитального ремонта путепровода, в рамках данной статьи не рассматривалось.

1)



2)



3)

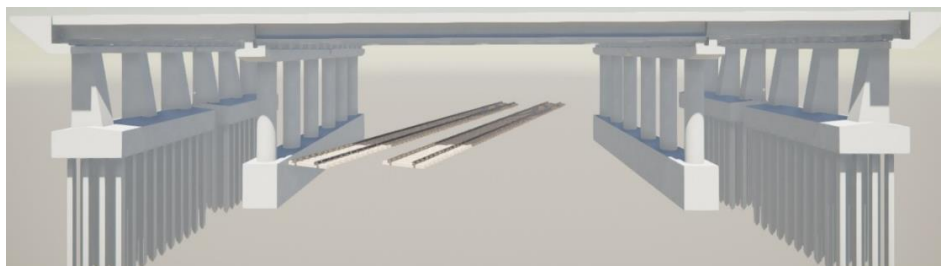


Рис. 4. Второй вариант путепровода:
1) вариант разработан в Midas CIM; 2) план модели, разработанной в Midas CIM;
3) вариант разработан в Tekla Structures

Fig. 4. The second variant of the overpass:
 1) variant designed at Midas CIM; 2) plan of a model developed in Midas CIM;
 3) variant designed at Tekla Structures

Третий и четвертый варианты были разработаны только в программе Midas CIM. В третьем варианте пролетное строение представляет собой металлические сплошностенчатые балки, а несущие конструкции проезжей части выполнены в виде ортотропной плиты с про-

дольными ребрами жесткости и поперечными балками. Препятствие перекрыто одним пролетом полной длиной 37,5 м. Опоры сооружения массивные необсыпные выполнены в виде железобетонных стенок с откосными крыльями. Полная длина путепровода составляет 40,85 м. Общий вид третьего варианта путепровода приведен на рис. 5.

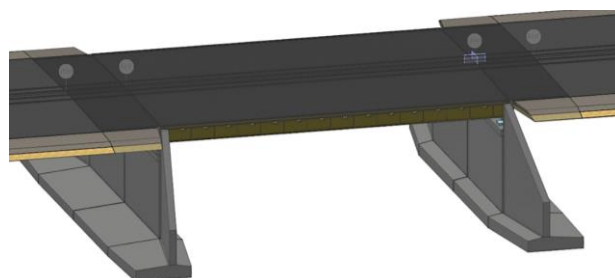


Рис. 5. Третий вариант путепровода

Fig. 5. The third variant of the overpass

В четвертом варианте путепровода предусмотрена рамная трехпролетная неразрезная конструкция с продольной схемой 12,0+27,0+12,0 м. Железобетонные балки пролетного строения имеют переменную высоту, увеличиваясь у промежуточных опор – стоек рамы. Промежуточные опоры путепровода стоечные индивидуальной проектировки, стойки опираются на фундамент мелкого заложения. Концевые опоры выполнены применительно к типовому проекту 3.503.1-100, представляют собой стойки, опирающиеся на фундамент мелкого заложения. Полная длина путепровода в четвертом варианте составляет 56,5 м. Общий вид четвертого варианта путепровода приведен на рис. 6.

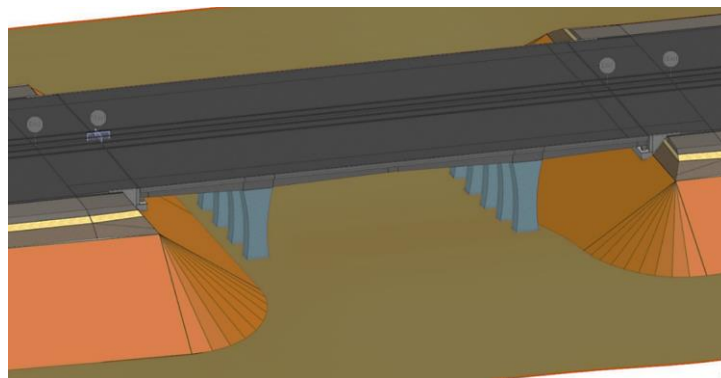


Рис. 6. Четвертый вариант путепровода

Fig. 6. The fourth variant of the overpass

Формирование чертежей и ведомостей элементов.

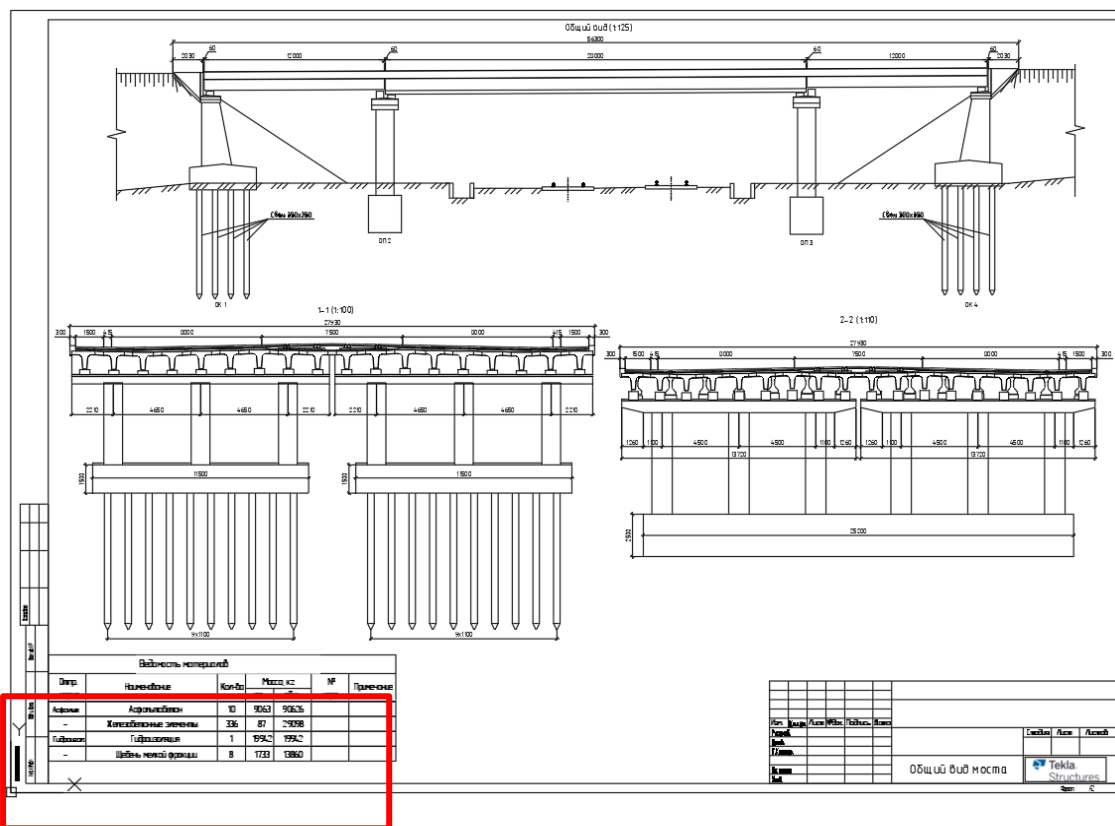
Экспорт модели в расчетный комплекс

В результате разработки информационных моделей вариантов путепровода были выявлены несколько преимуществ использования технологии BIM при разработке проекта ремонта сооружения.

Во-первых – ускорение процесса создания конкурентоспособных вариантов капитального ремонта, а также наглядная демонстрация того, как будет выглядеть сооружение в целом. Наглядное представление проектных решений значительно ускоряет процесс согласования итогового варианта.

Во-вторых – автоматизация формирования чертежей и спецификаций. При сравнении вариантов любого проекта используются как количественные, так и качественные показатели. Применение BIM позволило при сравнении вариантов получить гораздо более точные количественные показатели, такие как ведомость объемов материалов, ведомость конструкций и

элементов, стоимость вариантов [7–9]. Срок выполнения вариантного проектирования снизился примерно в 2 раза за счет визуальной демонстрации и автоматического определения объемов материалов и спецификаций. На рис. 7 приведен пример сформированного чертежа и ведомость отправочных элементов.



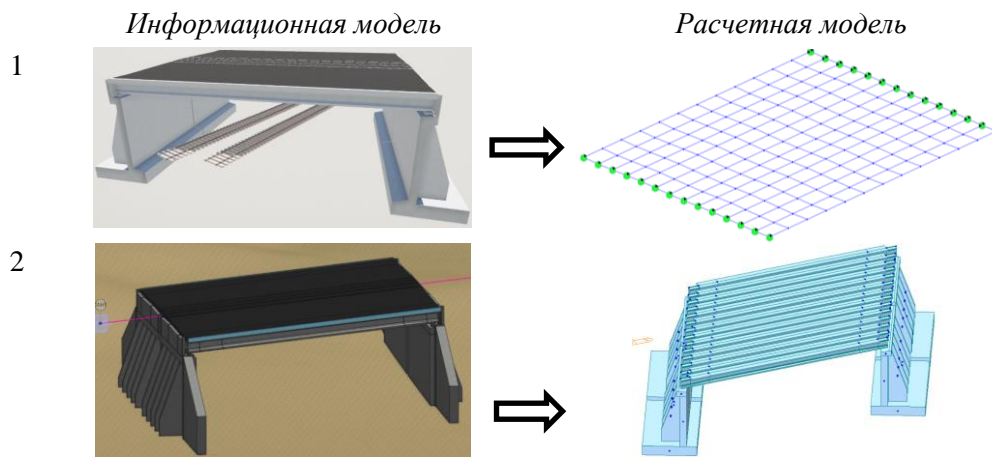
Отпр. марка	Наименование	Кол-во	Масса, кг		№ черт.	Примечание
			шт.	общ.		
Асфальт	Асфальтобетон	10	9063	90626		
–	Железобетонные элементы	336	87	29098		
Гидроизол.	Гидроизоляция	1	19942	19942		
–	Щебень мелкой фракции	8	1733	13860		

Рис. 7. Пример чертежа и ведомости материалов, полученных с помощью ПК Tekla Structures (вариант путепровода 2)

Fig. 7. Example of a drawing and list of elements generated using Tekla Structures (variant of the overpass 2)

В-третьих – возможность экспорта созданной цифровой информационной модели путепровода в расчетный модуль. В программном комплексе Midas CIM встроен модуль импорта цифровой информационной модели в расчетный комплекс Midas Civil. Также существует возможность импорта цифровой информационной модели в Midas Civil из программы Tekla Structures при использовании специального плагина. На рис. 8 приведены примеры импорта разработанных вариантов моделей сооружений в расчетный модуль.

При экспорте информационных моделей, приведенных на рис. 7, в расчетный модуль выявлена особенность, заключающаяся в том, что для железобетонного пролетного строения необходимо дополнительно создавать поперечные элементы для формирования общепринятой схемы балочного ростверка. Это связано с тем, что реальная конструкция, а соответственно и ее цифровая информационная модель несколько отличаются от применяемой для расчета аналитической модели конструкции.



**Рис. 8. Импортированные модели из BIM-программы в Midas Civil:
1) модель из Tekla Structures; 2) модель из Midas CIM**

Fig. 8. Imported models from BIM software into Midas Civil:
1) model from Tekla Structures; 2) model from Midas CIM

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что применение технологии BIM при ремонте сооружений является мощным инструментом, оптимизирующим разработку проектных решений и существенно улучшающим качество и скорость разработки проектных решений, организации и контроля ремонтных работ.

Разработанные варианты путепровода с учетом положений, предусмотренных приказом № 402 с изменениями, дают гораздо большие возможности для разнообразия конструктивных решений сооружения и схем в рамках капитального ремонта. Ранее подобные переустройства (изменение схемы и длины моста, замена всех опор и пролетных строений) могли быть реализованы только по титулу реконструкции сооружения. Информационные модели разных вариантов путепровода позволяют автоматизировать процесс формирования чертежей и спецификаций, получить более точные количественные показатели при сравнении вариантов капитального ремонта сооружения, а также возможность импорта цифровых информационных моделей в расчетный модуль. Применение типовых и типичных решений конструктивных элементов сооружения также ускоряет процесс разработки вариантов капитального ремонта сооружений.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов Д.В., Левищев Е.В., Якунина В.А. Опыт и проблематика применения BIM-моделей в период эксплуатации здания // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2021. № 1(11). С. 54–57. EDN: OBIWLM
2. Талапов В. Технология BIM: стандарты, классификаторы и уровни зрелости // САПР и графика. 2015. № 2(220). С. 6–10. EDN: VINNYF
3. Ефимов С.В., Кокоева Е.С. Анализ зарубежных стандартов в сфере информационного моделирования сооружений // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей XII международной научной конференции, Казань, 30–31 декабря 2021 года. Часть 1. Казань: Конверт, 2021. С. 57–62. EDN: WMMNIL

4. Римшин В.И., Кузина И.С., Никитин А.А., Молчанова А.Е. Научные основы искусственного интеллекта в строительстве // Русский инженер. 2023. № 4(81). С. 41–45. EDN: FEYPPVY
5. Римшин В.И., Кузина И.С., Астафьева М.А., Молчанова А.Е. Научные основы информационного моделирования в расчете зданий и сооружений // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2023. № 11(1071). С. 20–23. EDN: NBZOJC
6. Ефимов С.В., Катаева М.О. Использование BIM-программ при проектировании мостов // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, Москва, 15 декабря 2021 года. Москва: Институт развития образования и консалтинга, 2021. С. 130–135. EDN: UQGDKN
7. Чиковская И. Внедрение BIM – опыт, сценарии, ошибки, выводы // САПР и графика. 2013. № 8(202). С. 18–22. EDN: RYHDZN
8. Ерофеев В.Т., Пиксайкина А.А., Бусаргин Д.А., Кудашкин А.В. BIM-технологии на всех этапах проектирования // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2021. № 5(1041). С. 20–22.
9. Морина Е.А., Макаров А.И. BIM-технологии в мостовом проектировании // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 6(57). С. 30–46. <https://doi.org/10.18720/CUBS.57.3>

REFERENCES

1. Kuznetsov D.V., Levishchev E.V., Yakunina V.A. Experience and problems of using bim models during building operation. *Bulletin of Vologda State University. Series Technical Sciences*, 2021, no. 1(11), pp. 54–57. (In Russ.).
2. Talapov V. BIM technology: standards, classifiers and maturity levels. *CAD and Graphics*, 2015, no. 2(220), pp. 6–10. (In Russ.).
3. Efimov S.V., Kokoeva E.S. Analysis of foreign standards in the field of information modeling of structures. *Priority directions of innovation in industry: collection of scientific articles of the XII Int. Sci. conf., Kazan, December 30–31, 2021. Part 1*. Kazan, Konvert Publ., 2021, pp. 57–62. (In Russ.).
4. Rimshin V.I., Kuzina I.S., Nikitin A.A., Molchanova A.E. Scientific foundations of artificial intelligence in construction. *Russian Engineer*, 2023, no. 4(81), pp. 41–45. (In Russ.).
5. Rimshin V.I., Kuzina I.S., Astafyeva M.A., Molchanova A.E. Scientific foundations of information modeling in the calculation of buildings and structures. *BST: Byulleten' Stroitel'noj Tehniki*, 2023, no. 11(1071), pp. 20–23. (In Russ.).
6. Efimov S.V., Kataeva M.O. The use of BIM programs in bridge design. *Development of science and practice in a globally changing world under risk conditions: proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference, Moscow, December 15, 2021*. Moscow, 2021, pp. 130–135. (In Russ.).
7. Chikovskaya I. Implementation of BIM – experience, scenarios, errors, conclusions. *CAD*, 2013, no. 8(202), pp. 18–22. (In Russ.).
8. Yerofeev V.T., Pksaykina A.A., Busargin D.A., Kudashkin A.V. BIM-technologies at all stages of design. *BST: Byulleten' Stroitel'noj Tehniki*, 2021, no. 5(1041), pp. 20–22. (In Russ.).
9. Morina E.A., Makarov A.I. BIM technologies in bridge design. *Construction of unique buildings and structures*, 2017, no. 6(57), pp. 30–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.18720/CUBS.57.3>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ефимов Стефан Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения (Новосибирск, Российская Федерация)

✉ esvmt@mail.ru, SPIN: 7415-2822, <https://orcid.org/0000-0003-2916-1732>

Stefan V. Efimov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Bridges Department of the Siberian Transport University (Novosibirsk, Russian Federation)

Паторняк Алексей Владимирович – студент 5 курса факультета «Мосты и тоннели» Сибирского государственного университета путей сообщения (Новосибирск, Российская Федерация)

✉ patornyak_av@mail.ru

Alexey V. Patornyak, 5th year student of the Faculty of Bridges and Tunnels, Siberian Transport University (Novosibirsk, Russian Federation)

Чаплин Иван Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения (Новосибирск, Российская Федерация)

✉ ivannumber1_chaplin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9751-079X>

Ivan V. Chaplin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Bridges Department of the Siberian Transport University (Novosibirsk, Russian Federation)

Статья поступила в редакцию / Received: 06.05.2024.

Доработана после рецензирования / Revised: 22.05.2024.

Принята к публикации / Accepted: 20.09.2024.