



**ПРОУЧВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА СТРОИТЕЛНО-
ИНФОРМАЦИОННОТО МОДЕЛИРАНЕ (СИМ) ЗА ПОДОБРЕНИЯ
В УПРАВЛЕНИЕТО НА ЖИЗНЕНИЯ ЦИКЪЛ НА
ТРАНСПОРТНАТА ИНФРАСТРУКТУРА**

Станислав Емилов Дерменджиев
stanislav_dermendjiev@abv.bg

**Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия
София 1164, бул. Христо Смирненски № 1
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** СИМ, информационен модел, транспортна инфраструктура, жизнен цикъл, управление на информация*

***Резюме:** Строително-информационното моделиране (СИМ) представлява интегрирана методология за проектиране, изпълнение и управление на сгради в цифрова среда, основаваща се на комплексно цифрово моделиране, контролиран обмен на информация и ефективно сътрудничество между участниците на проекта. СИМ предоставя структурирана, достъпна и надеждна информация за сградата, което се явява предпоставка за подобрения в управлението на жизнения ѝ цикъл. Поради това подходът намира широко приложение в строителството на сгради днес. Въпреки че СИМ се използва и в сферата на транспортно строителство, все още не е толкова възприет, колкото при вертикалното строителство. Този доклад представлява проучване на академични публикации и сведения от практиката с цел да се изследва възможната роля на СИМ в управлението на жизнения цикъл на транспортната инфраструктура и да се изтъкнат предимствата. Разгледани са приложенията на СИМ в етапите на планиране, проектиране, изпълнение, експлоатация и извеждане от експлоатация, идентифицирани са добрите практики и са направени изводи относно ползите и предизвикателствата. Разгледани са също и перспективи за бъдещото развитие на СИМ в сферата на транспортното строителство. На основание направените открития са изведени препоръки за практическото приложение на СИМ на проекти за транспортна инфраструктура.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Строително-информационното моделиране или СИМ (Building Information Modeling) е сред най-активно обсъжданите и проучваните теми в строителния сектор през последното десетилетие. Това може да се счита като резултат от масовата цифровизация на процеси, продукти и услуги, наблюдавана глобално във всички сфери на живота, но също и като отговор на стагниращата производителност на широкия строителен сектор. Опитът от развитите икономики сочи, че строително-информационното моделиране е бъдещето на строителството и това става видимо от постоянно нарастващия брой инициативи за, въвеждането и подобрието му. С

известно закъснение България също се включва все по-активно със собствени инициативи, най-вече с Националната Стратегия за Цифрова Трансформация на Строителния Сектор 2030, приета през април 2023 [1]. Съгласно EN ISO 19650 СИМ представлява приложението на обща дигитална репрезентация на строителен актив с цел подпомагане процесите на проектиране, изпълнение и експлоатация чрез създаването на надеждна основа за вземане на решения, като строителните активи включват, но не се ограничават до сгради, мостове, инфраструктурни, производствени и други граждански съоръжения [2]. Както става ясно от дефиницията, СИМ се разглежда като решение не само при изграждането и поддръжката на сгради, но и на обекти от транспортната инфраструктура. Макар че, методологията все още не е толкова широко разпространена в транспортния сектор, колкото в строителния, вече има установен опит, от който могат да се заключат бъдещите тенденции. Този труд обследва опитът, като цели да идентифицира конкретни предизвикателства в жизнения цикъл на обектите от транспортната инфраструктура, които могат да бъдат разрешени чрез приложение на СИМ.

2. ЕТАП НА ПРОЕКТИРАНЕ

Грешките със съгласуване при проектирането са често срещано предизвикателство в инфраструктурните проекти, особено когато е необходимо безпроблемно сътрудничество отделните проектантски роли. Лошата координация между тези различни заинтересовани страни може да доведе до конфликти в проектирането, скъпоструваща преработка и забавяния, които се отразяват на целия проект. Проучените изследвания подчертават как СИМ се справя с тези предизвикателства чрез интегриране на различните аспекти на проектирането в единен модел, който улеснява по-добрата комуникация, ранното откриване на конфликти и точните проекти [3].

Подходящ пример е проектът Crossrail в Обединеното кралство, при който СИМ е използван за обединяване на различни проектантски дисциплини в единен модел. Проектът е бил изправен пред значителни проблеми спрямо съгласуването поради своите мащаб и сложност. Прилагайки СИМ, проектният екип успява да идентифицира междудисциплинарните конфликти на ранен етап, което довежда до 70% намаляване на докладваните грешки при съгласуване, и 25% намаляване на загубите и преработката [4]. Друг показателен пример е проекта за моста Дунгоу в Китай. В този проект шестмерен (6D) СИМ е използван за подобряване на координацията чрез интегриране на данни за времето, разходите и устойчивостта с модела на проекта. Този всеобхватен подход позволил на проектния екип да открие потенциални грешки в проектирането на ранен етап, да съгласува по-ефективно заинтересованите страни и да намали преработките. Ранното откриване и разрешаване на конфликти значително подобри точността на проектирането и доведе до по-плавно изпълнение на проекта [5]. Проектът ONCF за електрическа подстанция към железопътната мрежа в Мароко също демонстрира как СИМ може да намали координационните грешки при проектирането на сложни инфраструктурни проекти. В този проект е разработен общ тримерен информационен модел, за да се съгласуват усилията на различните екипи, работещи по различните части. Възможността на модела да интегрира всички компоненти на проекта в един източник намалил неразбирателствата и сблъсъците между дисциплините, което довело до намаляване с 25 % [7]. Това подобрение подчертава добавената стойност на СИМ, чрез гаранцията, че всички заинтересовани страни работят с една и съща информация, навяляйки рисковете, свързани с пропусната или несъгласувана информация. СИМ може да се комбинира и с други цифрови технологии, като например ГИС, за да се подобри допълнително координацията. Чрез

интегриране на пространствени данни с 3D моделите на СИМ, методологията позволява на проектните екипи да оценяват едновременно техническите и екологичните аспекти, подобрявайки цялостната координация от ранните етапи [8].

Д'Амико и колектив идентифицират още една ценна употреба на ВІМ - спазването на нормативната уредба. Предизвикателството да се балансират техническите изисквания със екологични разпоредби често води до конфликти и скъпоструващи препроектирания, когато екологичните фактори не са отчетени на ранен етап. Чрез комбиниране на тримерно СИМ проектиране с пространствените данни на ГИС, екологичните съображения като земеползване, качество на почвата и шумово замърсяване се включват директно в процеса на проектиране. Тази интеграция дава възможност за извършване на оценки на въздействието върху околната среда (ОВОС) в реално време заедно с техническите оценки, което позволява на проектантите да оптимизират ресурсите и да гарантират съответствие в ранните етапи на проектиране. Разгледаният от тях пример при изграждане на летище показва как този СИМ/ГИС подход подпомага вземането на по-информирани, устойчиви и технически обосновани решения [8].

3. ЕТАП НА ИЗПЪЛНЕНИЕ

Забавянията в строителството и превишаването на разходите са тежки проблеми в транспортното строителство, често причинени от лошо планиране, неочаквани условия на обекта, неефективно използване на ресурсите и лоша комуникация между участниците. Проучванията показват, че СИМ помага за решаването на тези предизвикателства чрез интегриране на календарното планиране (4D) и управлението на разходите (5D) в строителните модели, което позволява по-добра организация, наблюдение в реално време и проактивни корекции за намаляване на забавянията и контрол върху разходите [9].

Проектът Донгоу служи като ярък пример за горните твърдения, където въвеждането на СИМ в изготвянето на графиците и управлението на ресурсите е допринесло за намаляване на закъсненията и успешното управлението на разходите по време на строителството. В проекта се използва четимерен СИМ за създаване на подробни графици, симулиращи различни сценарии, което дава възможност на екипа да идентифицира и разреши възможните препятствия, преди те да повлияят на времевия хоризонт на проекта. Наблюдаващите изследователи подчертават, че тази способност е била от решаващо значение, за да се гарантира, че строителните дейности се извършват в логическа последователност, като се избягват често срещани проблеми като забавяне на доставките на материали и конфликти при планирането на трудовите ресурси [5]. Въпреки че техният доклад не предоставя конкретни цифрови измерения, в него се отбелязва, че СИМ значително е подобрил ефективността на изпълнението, като е предоставил ясни насоки за оптималния ред на дейностите, което от своя страна било от решаващо значение за предотвратяване на скъпоструващи закъснения и прекъсвания.

Опитът в Чехия и Словакия по проекти за железопътна инфраструктура е друг случай, при който СИМ е използван за преодоляване на забавянията и преразхода по време на строителната фаза. Разработеният за тези проекти петмерен информационен модел интегрира данни за разходите в реално време с календарния график, което позволява на екипа да следи отблизо напредъка на строителството и разходите. Тази интеграция осигурила възможност за ранно откриване на несъответствия между планираното и действителното изпълнение, позволявайки навременна намеса, за да се запази хода на проекта. Чрез визуализация на последователността на строителството и съгласуването с бюджетните ограничения, СИМ контролира риска от неочаквани

забавяния и лошо планирани разходи, особено в железопътното строителство, където прецизното планиране и координация са от решаващо значение [6]. Проучването заключава, че проектите, използващи СИМ както за календарно планиране, така и за управление на разходите, отчитат по-малко случаи на недостиг на средства и по-добро спазване на планираните срокове.

Мароканският проект ONCF също показва как СИМ може пряко да подобри ефективността при изпълнение чрез оптимизация на последователността на работата. При него също се прилага петмерен СИМ за съгласуване на графика на строителството с наличните средства, за да се гарантира, че задачите се изпълняват в най-ефективния ред. Чрез визуализация на строителния процес екипът успява да идентифицира и намали потенциалните закъснения, преди те да повлияят на сроковете, което довело до 25% подобрене в спазването на графика. [7]. Това подобрене до голяма степен се дължи на корекциите в реално време, които са възможни чрез СИМ, като например препланиране на дейностите, в които липсва съгласуваност, и осигуряване на навременни доставки на строителни материали, предотвратявайки престой и преразход. В разнообразни проекти - мостове, железопътни линии, подстанции - показват, че СИМ играе ключова роля в преодоляването на забавянията в строителството и превишаването на разходите. Като интегрира календарното планиране, управлението на ресурсите и контрола на разходите в единен модел, СИМ позволява на проектните екипи да визуализират и оптимизират строителните дейности, да правят корекции в реално време и да предвиждат проблеми, преди те да са ескалирали. Практическите примери показват, че СИМ може да доведе до значителни подобрения в спазването на графика, намаляване на преработката и цялостната ефективност на разходите. За проекти в изключително сложна среда, където дори малки закъснения могат да имат каскаден ефект, СИМ със способността си да предоставя актуална и точна информация през целия етап на изпълнение, е ценен инструмент за надеждна реализация на проекта.

Рисковете, свързани с безопасността на строителните обекти, са критично предизвикателство при изграждането на транспортна инфраструктура, където динамичната среда, сложните работни процеси и опасните условия могат да доведат до злополуки, травми и скъпоструващи проблеми на обекта. Традиционните методи за планиране на безопасността често не успяват да прогнозират и намалят рисковете поради фрагментираните данни, недобрата визуализация и невъзможност за проактивно прогнозиране. Разгледаните проучвания показват, че СИМ се подпомага адресирането на рисковете касаещи здраве и безопасност, като осигурява подобрена визуализация, мониторинг в реално време и възможности за симулации, позволявайки по-добро разпознаване на опасностите, планиране на работната площадка и управление на риска [10].

В проекта Crossrail в Обединеното кралство СИМ е използван за симулиране на последователността на строителството и за визуализиране на високорискови дейности, преди те да бъдат извършени на строителната площадка. Четиримерният информационен модел позволява на проектния екип да планира строителните дейности, като отчита рисковете за безопасността, като например движението на крана, достъпа до площадката и работата на строителните машини. Чрез предварителното изобразяване на тези дейности екипът Ода идентифицира и намаля потенциалните заплахи за безопасността, осигурявайки по-безопасни и по-ефективни строителни работни процеси. [4]. Въпреки че не са представени конкретни показатели за безопасност, в докладът се подчертава, че проактивното планиране на безопасността чрез СИМ е допринесло за значително намаляване на инцидентите на строителната площадка.

Проектът ONCF в Мароко е друг пример за това как СИМ подобрява безопасността по време на строителството. В проекта е използван четимерен информационен модел за картографиране на високорискови дейности и осигуряване на правилни мерки за безопасност. Информационният модел е използван за симулиране на операциите с кранове и последователността на пренасяне на материали, което позволява на екипа да избегне опасни застъпвания и да осигури безопасни работни разстояния. В документа се съобщава за 15% намаление на инцидентите, свързани с безопасността, благодарение на проактивното идентифициране на рисковете и прилагането на протоколи за безопасност преди началото на строителните дейности [7]. Възможностите за наблюдение в реално време на СИМ също така са позволили на изпълнителя непрекъснато да оценява и коригира плановете за безопасност в хода на строителството, което допълнително намаля вероятността от инциденти.

Интегрирайки планирането на здраве и безопасност четири- и петмерни модели, СИМ позволява на проектните екипи да онагледяват опасностите, да симулират рискови дейности и да прилагат превантивни мерки преди началото на работата. Проактивното идентифициране на рисковете, съгласуването на правилата за безопасност с последователността на строителните работи и подобряването на комуникацията на плановете за безопасност водят до по-малко инциденти, намаляване на времето за престой и по-ефективно изпълнение на проекта.

4. ЕТАП НА ЕКСПЛОАТАЦИЯ

4.1. ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА ПРИ ДЪЛГОСРОЧНОТО УПРАВЛЕНИЕ НА СЪОРЪЖЕНИЯТА

Неефективното управление на съоръженията на транспортната инфраструктура е сериозно предизвикателство по време на експлоатационната им фаза, където фрагментираните данни, непоследователните практики за поддръжка и липсата на информация в реално време могат да доведат до силно завишени оперативни разходи, намалена ефективност и съкратен жизнен цикъл. В разгледаните публикации се наблюдава как СИМ спомага управлението на съоръженията, като предоставя централизиран, цялостен цифров модел, който интегрира експлоатационни данни, графици за поддръжка и мониторинг на ефективността, като гарантира, че инфраструктурните активи се управляват по-ефективно през целия им жизнен цикъл. [9].

В проекта за моста Дунгоу шестмерен СИМ е приложен за управление на жизнения цикъл на моста чрез интегриране на всички данни за поддръжка, интервали на обслужване и технически спецификации в единен цифров модел. Този централизиран подход позволява проактивно планиране на поддръжката и по-добро вземане на решения, което води до намаление на неочакваните повреди и удължава експлоатационния живот на моста. Авторите на доклада подчертават, че прилагането на СИМ е довело до значително намаляване на оперативните разходи чрез оптимизация на разпределението на ресурсите и осигуряване на навременни интервенции по поддръжката. Интегрирането на данни в реално време в модела е позволило непрекъснат мониторинг, което е дало възможност на оператора да разрешава проблеми, преди те да са проявят.

4.2. ПОТЕНЦИАЛНО ПРИЛОЖЕНИЕ В УПРАВЛЕНИЕТО НА ТРАФИКА

D'Amico et al. изтъкват също, че допълнително как интегрирането на ВІМ с ГИС може да се използва за оптимизиране на транспортния поток и по-ефективно управление на транспортните мрежи, особено по време на фазите на изпълнение и експлоатация. Проучването им е разглежда инфраструктурен проект за летище, където СИМ и ГИС са комбинирани за симулиране на моделите на движение, оценка на

въздействието на строителните дейности върху транспортните мрежи и планиране на ефективно управление на трафика. Интеграцията позволява анализ на транспортния поток в реално време, като се взимат предвид както аспекти от техническото проектиране на пътната мрежа, така и пространствените данни от заобикалящата среда. Чрез визуализация на това как строителните дейности биха повлияли на близките пътища и транспортни мрежи, изпълнителят успява да планира обходни маршрути, да коригира графика на пътната сигнализация и да контролира задръстванията в пиковите часове. Този подход подпомага да се сведат до минимум смущенията и да се поддържат ефективни транспортни дейности по време на изпълнение. Освен това по време на експлоатационната фаза комбинираният СИМ-ГИС модел е бил използван за непрекъснато наблюдение и оптимизиране на транспортния поток около летището, което да допринесе за по-плавното му ежедневно функциониране. Този пример за употреба демонстрира стойността на интегрирането на съвременните цифрови технологии за по-цялостно управление на транспорта и трафика, особено в сложни среди, където строителните и оперативните дейности оказват значително въздействие върху околните транзитни системи [8].

5. ПРЕЧКИ ПРЕД ВНЕДРЯВАНЕТО НА СИМ В ТРАНСПОРТНОТО СТРОИТЕЛСТВО И ПОДХОДИ ЗА ПРЕОДОЛЯВАНЕТО ИМ

Основни пречки пред внедряването на СИМ в транспортното строителство са липсата на стандартизация, ограничената информираност, високите първоначални разходи и съпротивата срещу промяната.

- Често се цитират проблеми възникващи при обмен на данни поради липса на ясни практически насоки, причинени от липсата на стандартизирани процеси и оперативна съвместимост между софтуерни платформи [6, 5].
- Липсата на опит с СИМ, особено в страни с начален етап на приемане, също забавя процеса. Много специалисти не разбират СИМ, което затруднява неговото прилагане [6].
- Високите разходи за софтуер, обучение и преход към СИМ създават пречки за малките компании и публични агенции с ограничени бюджети.
- Съпротивата срещу промяната също е проблем, особено в региони, където традиционните методи все още доминират и стойността на СИМ не е напълно осъзната [3].

Основен двигател за внедряване на СИМ е търсенето на оптимизация на процесите, особено от проектантите и възложителите, които изискват цифрова информация за управление на жизнения цикъл [11]. Когато няма естествено търсене, регламентирането на СИМ чрез изисквания за цифрова информация, базирана на стойността на проекта, е ефективен подход [1]. СИМ е по-рентабилен на проекти с висока стойност, тъй като може да намали общите разходи и да подчертае ползите от методологията. В транспортния сектор, където се изпълняват големи, сложни проекти, СИМ е особено подходящ. Частният сектор се адаптира бързо, но сложността на СИМ и интердисциплинарният характер на инфраструктурните проекти могат да затруднят адаптацията. Стандарти като IFC и ISO 19650-1 са полезна отправна точка, но с нарастването на опита са нужни повече практически насоки [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Разгледаните казуси ясно показват, че транспортният сектор може да извлече големи ползи от въвеждането на СИМ в проектите и все повече институции са започнали да отчитат това. Федералната пътна администрация на САЩ стартира пулфонд за разработване на софтуерни решения, стандарти, насоки и политики за СИМ за

проектиране, изграждане и експлоатация на пътната мрежа на САЩ [13]. В българския контекст СИМ също получава признание чрез Националната стратегия за цифрова трансформация. Подобни новини, заедно с присъщите на СИМ ползи, трябва да бъдат знак за българския транспортен сектор да потърси по-голяма информираност и да започне да изгражда капацитет по темата.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Министерство на регионалното развитие и благоустройството, "НАЦИОНАЛНА СТРАТЕГИЯ ЗА ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЯ НА СТРОИТЕЛНИЯ СЕКТОР 2030", Министерски съвет, София, 2023.
- [2] БДС EN ISO 19650-1:2019 Организация и дигитализация на информацията за сгради и строителни съоръжения, включително строително-информационно моделиране (BIM) Част 1: Понятия и принципи, Български Институт по Стандартизация, 2019
- [3] H. Y. Chong, R. Lopez, J. Wang, X. Wang и Z. Zhao, Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects, American Society of Civil Engineers, 2016.
- [4] A. Mitchell, C. Williges, S. Henly-Thomas and J. Messner, "Lifecycle BIM for Infrastructure: A Business Case for Project Delivery and Asset Management," National Academies, Washington DC, 2023.
- [5] S. Kaewunruen, J. Sresakoolchai и Z. Zhou, Sustainability-Based Lifecycle Management for Bridge Infrastructure Using 6D BIM, 2020.
- [6] J. Šestáková, A. Matejov, „The Experiences with utilization of BIM in railway infrastructure in Slovak Republic and Czech Republic,“ 2021.
- [7] M. Bensalah, A. Elouadi и H. Mharzi, „Overview: the opportunity of BIM in railway,“ Smart and Sustainable Built Environment, March 2019.
- [8] F. D’Amico, A. Calvi, E. Schiattarella, M. Di Prete и V. Veraldi, BIM And GIS Data Integration: A Novel Approach Of Technical/Environmental Decision-Making Process In Transport Infrastructure Design, 2019.
- [9] C. M. Eastman, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, John Wiley & Sons, 2011.
- [10] A. Sidani, J. P. Martins и A. Soeiro, BIM Application for Construction Health and Safety: Summary for a Systematic Review, 2022.
- [11] KPMG Greece, "Report on the analysis of the state of the construction sector in Bulgaria," Sofia, Bulgaria, 2020.
- [12] International Standardization Organization, ISO 16739-1 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries Part 1: Data schema, 2024.
- [13] Federal Highway Administration, Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure Products, United States Department of Transportation, 2023.

EXPLORING THE OPPORTUNITIES OF BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) FOR IMPROVEMENTS IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE LIFECYCLE MANAGEMENT

Stanislav Emilov Dermendjiev
stanislav_dermendjiev@abv.bg

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy
Sofia 1164, Sofia Blvd. Hristo Smirnenski № 1
THE REPUBLIC OF BULGARIA

Key words: *BIM, information model, transport infrastructure, life cycle, information management*

Abstract: *Building Information Modelling (BIM) is an integrated methodology for the design, construction and management of buildings in a digital environment based on complex digital modelling, controlled information exchange and effective collaboration between project participants. BIM provides structured, accessible and reliable building information, which is a prerequisite for improvements in building lifecycle management. The approach is therefore widely used in building construction today. Although BIM is also used in the domain of transport construction, it is not yet as widely adopted as in building construction. This paper is a survey of academic publications and case studies in order to explore the possible role of BIM in transport infrastructure lifecycle management and to highlight the advantages. The applications of BIM in the planning, design, implementation, operation and decommissioning phases are examined, best practices are identified and conclusions are drawn on the benefits and challenges. Prospects for the future development of BIM in transport construction are also discussed. Based on the findings, recommendations for the practical application of BIM on transport infrastructure projects are derived.*