

Эффективность планирования реконструкции объектов железнодорожного транспорта с применением BIM



Борис ВОЛКОВ



Дмитрий БОЯРИНОВ

Волков Борис Андреевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Бояринов Дмитрий Алексеевич – ОАО «РЖД», Москва, Россия.*

Развитие предприятий промышленности и рост рынка логистических услуг требуют применения нового подхода при планировании строительства и реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Для эффективного функционирования транспортной системы необходимо сбалансировать возможности инфраструктуры и потребности рынка грузовых и пассажирских перевозок. Неравномерность роста объёмов перевозок служит дополнительной нагрузкой на сеть железных дорог. Реконструкция объекта инфраструктуры может быть рассмотрена как поэтапное усиление производственных мощностей предприятия с учётом показателей чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и трудозатрат на основе метода динамического программирования.

Реконструкция железных дорог в условиях дефицита информации о существующем объекте

инфраструктуры является насущной проблемой проектной организации при проведении изысканий в стеснённых условиях, согласовании перечня инженерных сетей и увязке инфраструктуры объекта проектирования с внешними балансодержателями.

В статье проанализирован вопрос применения BIM-моделирования при планировании реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. В качестве примера рассмотрена концепция цифровой железной дороги. Проекты цифровой железной дороги являются основными драйверами экономики многих стран.

Целью статьи является рассмотрение ведущей роли BIM для применения в реконструкции инфраструктурных проектов, продемонстрирован метод экономической оценки вариантов инвестиционной деятельности на основе динамического программирования по показателю ЧДД.

Ключевые слова: реконструкция, транспортная инфраструктура, чистый дисконтированный доход, трудозатраты, динамическое программирование, BIM-моделирование, заказчик, проектирование, экспертиза, строительство, управление жизненным циклом объекта реконструкции.

*Информация об авторах:

Волков Борис Андреевич – доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры проектирования и строительства железных дорог Российского университета транспорта, Москва, Россия, volkov-miit@yandex.ru.

Бояринов Дмитрий Алексеевич – ведущий инженер Дирекции по комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов железнодорожного транспорта – группы заказчика по строительству и реконструкции интермодальных транспортно-пересадочных узлов, филиал ОАО «РЖД» (ДКРС–Москва), аспирант Российского университета транспорта, Москва, Россия, daboyarinov.dkrsmk@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 17.02.2020, актуализирована 10.08.2020, принята к публикации 21.08.2020.

For the English text of the article please see p. 103.

ВВЕДЕНИЕ

Инфраструктура железнодорожного транспорта может быть поделена на две группы. Первая группа объединяет главные, станционные и подъездные железнодорожные пути, включая искусственные сооружения (водопропускные трубы, водоотводные канавы, лотки, мосты, подпорные стенки и т.д.). Вторая группа включает в себя все остальные объекты железнодорожного транспорта (депо, вокзалы, тяговые подстанции, экипировочные устройства и т.д.), которые представляют инфраструктуру железнодорожного пути [1].

Согласно Федеральному Закону № 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации», инфраструктура железнодорожного транспорта включает в себя железнодорожные пути общего пользования, железнодорожные станции, устройства электроснабжения, сети связи, системы сигнализации, централизации и блокировки, информационные комплексы, систему управления движением и иные обеспечивающие функционирование инфраструктуры здания, строения, сооружения, устройства и оборудование [2].

Целью исследования является анализ эффективности применения BIM-технологии в проектировании для технико-экономической оценки вариантов строительства по показателю чистого дисконтированного дохода (ЧДД). Для исследований используются методы динамического программирования и расчёта чистого дисконтированного дохода.

1. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Необходимость наращивать пропускную способность объектов железнодорожного транспорта обусловлена ростом объёма грузовых и пассажирских перевозок. Экономическая эффективность реконструкции таких объектов должна рассматриваться при поэтапном их усилении с использованием как технических, так и экономических показателей. В качестве экономического показателя может быть использован показатель чистого дисконтированного дохода (ЧДД) [1, с. 125–128]. Для объектов, представляющих частные предприятия, таких как акционерные общества (АО), общества с ограничен-

ной ответственностью (ООО), показатель ЧДД при реконструкции объектов выражается зависимостью [1]:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T_p} \frac{(D_t - Z_t - H_t)}{(1 + E)^t} - \sum_{t=1}^{T_p} \frac{K_t}{(1 + E)^t}, \quad (1)$$

где D_t – доход (выручка) предприятия в t -й год;

Z_t – затраты предприятия в t -й год;

H_t – налоги в t -й год;

K_t – инвестиционные затраты в t -й год;

E – норма дисконта;

T_p – горизонт расчёта.

При определении ЧДД по формуле (1) следует учитывать налоги на имущество ($H_{\text{и}}$) и на прибыль ($H_{\text{п}}$):

$$H_t = H_{\text{и}t} + H_{\text{п}t}, \quad (2)$$

$$H_{\text{и}t} = \alpha K_{\text{ост}t}, \quad (3)$$

где α – процентная ставка на налог с имущества;

$$K_{\text{ост}t} = K_{\text{пер}} - \Sigma A, \quad (4)$$

где $K_{\text{пер}}$ – первоначальная стоимость имущества;

ΣA – начисленная амортизация.

Налог на прибыль в t -й год:

$$H_{\text{п}t} = \beta (D_t - Z_t - H_{\text{и}t}), \quad (5)$$

где β – процентная ставка налога на прибыль;

$H_{\text{и}t}$ – налог на имущество в t -й год.

Этапность реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного пути с ростом грузонапряжённости и объёма пассажирских перевозок может быть представлена в виде схемы (Рис. 1).

На данной схеме ось ординат – j -мощность объекта реконструкции, ось абсцисс – i -время.

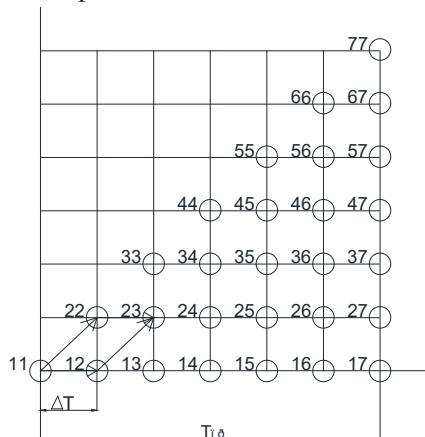


Рис. 1. Схема выбора возможных вариантов последовательности реконструкции [схема Д. А. Бояринова].



Состояние объекта показывается в виде кружка с номером « $i-j$ ». Например, «2–4», где «2» – второй этап реконструкции объекта, «4» – состояние объекта, характеризующее его мощностью.

Мощность объекта может быть выражена, например, в количестве отремонтированных вагонов в год, количестве экипировки локомотивов или в виде годовой выработки предприятия.

Прогнозируемый период $T_{пр}$ разделяется на этапы, продолжительность которых ΔT назначается в зависимости от сроков реконструкции объектов.

Согласно свойству треугольника Паскаля, каждое число в треугольнике равно количеству способов добраться до него из вершины, перемещаясь либо вправо по горизонтали, либо вверх по диагонали. Также сумма i -ой строки треугольника Паскаля равна $S_i = 2^i$. Принимая состояние «1–1» за нулевую строку, получим, что количество всех путей равно: $2^6 = 64$.

Для сокращения количества анализируемых вариантов реконструкции объекта может быть использован метод динамического программирования, основывающийся на принципе оптимальности Беллмана, согласно которому осуществляется замена исходной многомерной задачи последовательностью задач меньшей размерности. Каково бы ни было состояние системы перед очередным шагом, необходимо выбирать управление на этом шаге так, чтобы доход (ЧДД) на данном шаге вместе с оптимальным доходом на всех последующих шагах был максимальным. Это даёт возможность уменьшить количество анализируемых вариантов и время поиска рационального варианта с экономической точки зрения при поэтапной реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного пути.

Рассмотрим локальные варианты реконструкции объекта из состояния «1–1» в состояние «2–3» (рис. 1). Может быть 2 локальных варианта:

1. Из «1–1» в «2–2» (проводится реконструкция) и осуществляется переход в «2–3» (эксплуатация).

Или:

2. Из «1–1» в «1–2» (эксплуатация), далее реконструкция осуществляется при переходе из состояния «1–2» в состояние «2–3».

Данные локальные варианты имеют общее начало «1–1» и общее конечное состояние «2–3». Продолжение вариантов реконструкции из состояния «2–3» для всех анализируемых локальных вариантов будет одинаковое. Следовательно, мы можем по выбранному показателю ЧДД выбрать один из двух рассматриваемых локальных вариантов и в дальнейшем анализ проводить только с учётом этого выбранного варианта. В этом случае потребное для анализа количество вариантов реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного пути можно выразить следующим определением:

$$A_i^j = \frac{i!}{(i-j)!}.$$

При $i = 6, j = 2$ получим 5:

$$A_i^j = \frac{6!}{(6-2)!} = 30 < S_i = 64.$$

Количество анализируемых вариантов для выявления эффективного решения сокращается в:

$$\frac{S_i}{S_i^j} = \frac{64}{30} = 2,1 \text{ раза.}$$

Сравнение локальных вариантов осуществляется путём максимизации ЧДД. В первом варианте ЧДД определяется по зависимости:

$$\begin{aligned} \text{ЧДД}_1 = & \sum_{t=T_0}^{T_p} \frac{(\Delta L_{t_1} - \Delta Z_{t_1} - \Delta H_{t_1})}{(1+E)^t} - K_{p_1} + \\ & + \sum_{t=\Delta T}^{2\Delta T} \frac{(\Delta L_{t_2} - \Delta Z_{t_2} - \Delta H_{t_2})}{(1+E)^t}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для второго локального ЧДД:

$$\begin{aligned} \text{ЧДД}_2 = & \sum_{t=T_0}^{t=\Delta T+T_p} \frac{(\Delta L_{t_2} - \Delta Z_{t_2} - \Delta H_{t_2})}{(1+E)^t} - \frac{K_{p_2}}{(1+E)^{\Delta T}} + \\ & + \sum_{t=\Delta T+T_p}^{2\Delta T} \frac{(\Delta L_{t_2} - \Delta Z_{t_2} - \Delta H_{t_2})}{(1+E)^t}, \end{aligned} \quad (7)$$

где в данных зависимостях:

$\Delta L_{t_1}, (\Delta L_{t_1})$ – увеличение дохода предприятия после анализируемого этапа реконструкции объекта по первому локальному варианту (по второму) в t -й год;

$\Delta Z_{t_1}, (\Delta Z_{t_2})$ – увеличение затрат в t -й год после реконструкции, обусловленной увеличением объёма работ по первому локальному варианту (по второму);

$\Delta H_{t_1}, (\Delta H_{t_2})$ – изменение налогов после проведения данного этапа реконструкции объекта;

T_p – срок реконструкции объекта;

$K_{p_1}, (K_{p_2})$ – затраты на реконструкцию по вариантам.

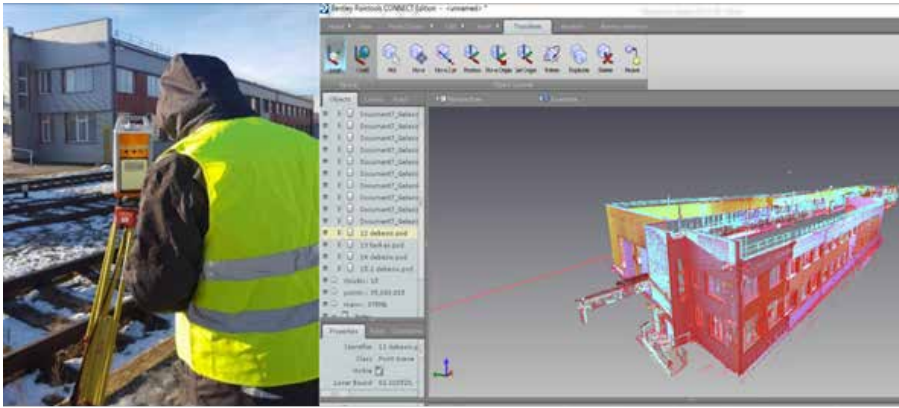


Рис. 2. Создание трёхмерной информационной модели объекта реконструкции в ПО Bentley [6].

Рациональный вариант реконструкции объекта будет найден при переходе на точку окончательного состояния объекта « $i-j$ ».

Для повышения надёжности выбора рационального варианта поэтапной реконструкции объекта целесообразно осуществить проверку выбранного варианта по критерию минимизации трудозатрат. В этом случае критерием выбора локальных вариантов при использовании динамического программирования служит минимум трудозатрат при осуществлении реконструкции и эксплуатации объекта [7].

Общие трудозатраты при реконструкции и эксплуатации объекта определяются по следующей зависимости:

— для первого, выше рассмотренного локального варианта:

$$T_1 = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{T_{t1}}{(1+E_T)^t} + T_{p1} + \sum_{t=T_p}^{t=2\Delta T} \frac{T_{t1}}{(1+E_T)^t}; \quad (8)$$

— для второго локального варианта:

$$T_2 = \sum_{t=0}^{t=\Delta T+T_p} \frac{T_{t2}}{(1+E_T)^t} + \frac{T_{p2}}{(1+E_T)^{\Delta T}} + \sum_{t=\Delta T+T_p}^{t=2\Delta T} \frac{T_{t2}}{(1+E_T)^t}, \quad (9)$$

где T_p , T_2 — общие трудозатраты по первому и второму локальным вариантам;

T_{p1} , T_{t2} — трудозатраты по эксплуатации объектов по первому и второму локальным вариантам;

T_{p1} , T_{p2} — трудозатраты при реконструкции объекта;

E_T — коэффициент дисконтирования трудозатрат, определяется в соответствии с изменением заработной платы во времени.

Если выбранный вариант по критерию \max ЧДД совпадает с критерием $\min T$, то этот вариант принимается к реализации.

В противном случае требуется дополнительный анализ при отдаче предпочтения показателю \max ЧДД. При разработке вариантов строительства (реконструкции) объектов инфраструктуры часто возникает необходимость вносить изменения в проектно-сметную документацию.

2. КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

При реализации инфраструктурных проектов железнодорожного транспорта следует применять программные комплексы автоматического программирования на основе технологии Building Information Modelling (BIM). BIM направлен на то, чтобы сделать строительные проекты более экономичными, устойчивыми и пунктуальными [5]. Некоторые исследователи даже говорят о BIM модели, добавляя измерение управления объектами жизненного цикла, но для этого нужна ясная связь с бизнес-процессами [4; 13], согласование перечня инженерных сетей и увязка инфраструктуры объекта проектирования с внешними балансодержателями [напр., 3]. В целом проекты цифровой железной дороги являются основными драйверами экономики многих стран [6].

Основными целями и задачами применения BIM в строительстве и реконструкции железнодорожной инфраструктуры является анализ архитектурно-градостроительной ситуации, принятие объёмно-планировочных решений, технико-экономическое сравнение вариантов конструктивных решений инвестиционного проекта на этапе разработки основных проектных решений.



Интеграция географических информационных сетей и BIM-технологий поможет принимать качественные решения по бизнес-процессам [3; 13].

Важным этапом использования BIM в проектах реконструкции объектов инфраструктуры является создание 3D-модели облака точек. На рис. 2 показан этап работы в программном комплексе Bentley, в котором облако физических точек, образующих геометрические полупространства и фигуры, составляют часть физического здания реконструируемого депо. Эта информационная модель объединяет результаты работы наземного лазерного сканера и фотограмметрии с близкого расстояния. Надёжная информация и работа команды проекта на основе методологии BIM обеспечивают эффективные процедуры и предотвращают возникновение наиболее значительных проблем, характерных для проектов реконструкции, которые реализуются традиционным способом и без использования информационного моделирования и других цифровых технологий. Комплексное использование современных компьютерных инструментов и BIM является лучшим решением при реконструкции инфраструктурных объектов [9–11].

ВЫВОД

Использование метода динамического программирования вместе с использованием BIM технологии позволит повысить эффективность технико-экономической оценки инвестиционных проектов по показателю чистого дисконтированного дохода (ЧДД) за счёт уменьшения срока проектирования и составления сводного сметного расчёта (ССР), повысит качество планирования и реализации реконструктивных мероприятий объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, увеличит срок жизненного цикла объекта, сократит издержки при реконструкции, а также эксплуатации объекта [8]. Данный подход может быть использован при оптимизации реконструкции других транспортных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Б. А., В. В. Соловьёв, А. Ю. Добрин, Н. С. Лобанова. Экономика строительства железных дорог. — М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. — С. 125–128.

2. Федеральный закон «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» от 10.01.2003 г. № 18-ФЗ. [Электронный ресурс]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/19008>. Доступ 21.05.2020.

3. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119287568>.

4. Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Кибер-физические системы в управлении транспортом // *Мир транспорта*. — 2018. — Т. 16. — № 2. — С. 138–145. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35215359>. Доступ 21.05.2020.

5. Куприяновский В. П. и др. Экономика инноваций цифровой железной дороги. Опыт Великобритании // *International Journal of Open Information Technologies*. — 2017. — Т. 5. — № 3. — С. 79–99. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28426697>. Доступ 21.05.2020.

6. Telyatnikova, N., Spiridonov, E., Boyarinov, D. Innovation, Informatization and Digitalization of the Infrastructure Facilities Design and Construction of High-speed Railways in Russia & Eurasian Union. Proceedings of 22nd International scientific conference. Transport Means 2018. Kaunas, Kaunas University of Technology, 2018, pp. 1161–1166.

7. Гасников А. В. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учеб. пособие. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: МЦНМО, 2013. — 427 с.

8. Соловьёв В. В. Анализ компонентов стоимости строительной продукции // *Мир транспорта*. — 2017. — Т. 15. — № 5. — С. 106–117. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32311911>. Доступ 21.05.2020.

9. Волкова В. А., Волкова И. А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий // *Вестник МГСУ*. — 2020. — Т. 15. — Вып. 6. — С. 867–906. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-struktury-i-sostava-klassifikatora-stroitelnoy-informatsii-dlya-primeneniya-bim-tehnologiy>. Доступ 21.05.2020.

10. Knjazuk, E. M., Mirza, N. S. The use of building classifications for information modeling of roads. [Электронный ресурс]: *CAD & GIS of Highways*, 2017, Vol. 1 (8), pp. 13–19. Доступ 21.05.2020. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.12.1628-1637.

11. Edirisinghe, R., London, K. Comparative analysis of international and national level BIM standardization efforts and BIM adoption. Proceeding of the 32nd CIB W78 Conference. Eindhoven. The Netherlands, 2015, pp. 149–158. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/286496233_Comparative_Analysis_of_International_and_National_Level_BIM_Standardization_Efforts_and_BIM_adoption/. Доступ 21.05.2020.

12. Balslev, H. The Reference Designation System (RDS) a common naming convention for systems and their elements. INCOSE International Symposium, 2016, Vol. 26 (1), pp. 1639–1656. DOI: 10.1002/j.2334-5837.2016.00251.

13. Синягов С. А., Куприяновский В. П., Куренков П. В. и др. Строительство и инженерия на основе стандартов BIM как основа трансформаций инфраструктур в цифровой экономике // *International Journal of Open Information Technologies*. — 2017. — Т. 5. — № 5. — С. 46–79. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29226715>. Доступ 21.05.2020. ●