Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и тоннелей

УДК 625.42; 658.5.011

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-135-139

© Е. Г. Козин, канд. техн. наук
(Санкт-Петербургское государственное унитарное
предприятие «Петербургский метрополитен»,
Санкт-Петербург; Россия)
E-mail: ns@metro.spb.ru

© E. G. Kozin, PhD in Sci. Tech.
(State unitary enterprise «St. Petersburg Metro»,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: ns@metro.spb.ru

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

ANALYTICAL METHODS OF INFORMATION MODELING OF DECISION-MAKING PROCESSES IN THE OPERATIONAL CONTROL SYSTEM OF THE ST. PETERSBURG METRO

Предложено применение аналитических методов информационного моделирования для обеспечения эффективности сложных взаимосвязанных процессов технического обслуживания и текущего ремонта в системе эксплуатационного контроля Петербургского метрополитена. Метод Data Envelopment Analysis (DEA) и разработанные на его основе прикладные модели с успехом могут применяться для анализа информационных ситуаций и принятия управляющих решений в системах, требующих объективной аналитической обработки «больших баз данных». Одним из важнейших преимуществ в результате применения аналитических методов информационного моделирования в сфере эксплуатационного контроля является существенное снижение рисков возникновения нештатных ситуаций вследствие субъективных факторов, связанных с влиянием конечного интересанта деятельности — человека.

Ключевые слова: объект инфраструктуры, надлежащее техническое состояние, эксплуатационный контроль, информационная (цифровая) модель, управление качеством, реинжиниринг процессов.

The author offers the application of analytical methods of information modeling to ensure the effectiveness of complex interrelated processes of maintenance and current repair in the system of operational control of the St. Petersburg Metro. The Data Envelope Analysis (DEA) method and application models developed on its basis can be successfully used for analyzing information situations and making control decisions in systems that require objective analytical processing of «large data bases». One of the most important advantages of using the analytical methods of information modeling in the field of operational control is a significant reduction of the risks of emergency situations due to subjective factors associated with the influence of the final beneficiary of the activity, namely, the citizen.

Keywords: infrastructure facility, proper technical state, operation control, information (digital) model, quality management, process reengineering.

Метрополитен является основным видом внеуличного городского пассажирского транспорта Санкт-Петербурга. Транспортное обслуживание и регулярность перевозок пассажиров обеспечиваются за счет соблюдения требований и поддержания параметров устойчивости и надежности, предъявляемых к подвижному составу, объектам

инфраструктуры и технологическим процессам. Перевозчик самостоятельно или с привлечением иных организаций выполняет техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт (ТР) объектов инфраструктуры внеуличного транспорта, к которым относятся здания и сооружения различного назначения, обеспечивая таким образом безо-

пасность деятельности. Целевой уровень качества содержания объектов инфраструктуры внеуличного транспорта, т. е. соответствие требованиям безопасности, определен понятием «надлежащее техническое состояние». В период эксплуатационной стадии жизненного цикла объекты инфраструктуры внеуличного транспорта испытывают различные технологические, эксплуатационные нагрузки и воздействия от внешней среды. В процессе эксплуатации осуществляется оценка состояния конструктивных и других характеристик надежности и безопасности зданий, сооружений, систем и сетей инженерно-технического обеспечения. В ходе последующей оценки соответствия указанных характеристик требованиям технических регламентов и проектной документации определяется фактически обеспеченный уровень качества и выполняется его сравнение с целевым.

Целевой показатель соответствия здания или сооружения требованиям безопасности (показатель качества) — «надлежащее техническое состояние объекта инфраструктуры внеуличного транспорта» — содержит большое количество (базу данных) взаимосвязанных параметров, обеспечивающих его достижение.

Фиксация несоответствия технического состояния исследуемых объектов, выполняемая в ходе эксплуатационного контроля, и полученные после их обработки сведения о причинах повреждений и дефектов представляют безусловную ценность в процессе обеспечения безопасности зданий и сооружений [1, 2]. Выявляемые закономерности изменения технического состояния и отклонений от требований технических регламентов и проектной документации дают возможность последующего прогноза ресурсов на поддержание параметров устойчивости, надежности и исправности, а также ущерба от потенциальных угроз.

Эксплуатационный контроль является обязательной формой оценки соответствия зданий и сооружений, а также связанных со зданиями и сооружениями процессов эксплуатации требованиям законодательства и проектной документации [3]. К основным формам эксплуатационного контроля состояния оснований, строительных конструкций, систем и сетей инженерно-технического обеспечения относятся: периодические осмотры, контрольные проверки и (или)

мониторинг. В проектной документации на объекты инфраструктуры внеуличного транспорта должна быть предусмотрена минимальная периодичность осуществления проверок, осмотров и освидетельствований состояния строительных конструкций, основания, систем и сетей инженерно-технического обеспечения здания и сооружения и (или) необходимость проведения мониторинга их состояния. Однако на деле в проектной документации, разработанной для большинства объектов инфраструктуры внеуличного транспорта метрополитена, указанная информация отсутствует, а, например, требования о необходимости проведения мониторинга (геотехнического мониторинга) установлены только для трех участков Петербургского метрополитена. Следует отметить, что раздел, определяющий правила обеспечения безопасной эксплуатации объектов инфраструктуры внеуличного транспорта, в частности требования о минимальной периодичности осуществления проверок, осмотров и освидетельствований и (или) необходимости проведения мониторинга, включается в состав проектной документации только с 29.11.2011.

Анализ сведений об основных нормативно-правовых актах, устанавливающих требования к обеспечению безопасной эксплуатации объектов инфраструктуры внеуличного транспорта и формам эксплуатационного контроля, выявил, что на практике нормы большинства стандартов и сводов правил, с учетом установленных областей применения, не распространяются на особо опасные и технически сложные объекты, подземные и транспортные объекты, к которым относится большинство объектов инфраструктуры внеуличного транспорта — метрополитена. В законе о внеуличных видах транспорта и в утвержденных типовых правилах технической эксплуатации метрополитенов¹ вопросы эксплуатационного контроля также окончательно не урегулированы. Логичным объяснением данной ситуации является понимание сложности системы взаимосвязанных параметров

¹ Типовые правила технической эксплуатации метрополитена [Электронный ресурс]: приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 21.12.2018 № 468. Доступ из СПС «Гарант» (дата обращения: 19.05.2020).

(показателей)^{2,3}, которые необходимо структурировать в виде многокомпонентной информационной среды, объединенной целевым показателем «надлежащее техническое состояние объекта инфраструктуры внеуличного транспорта».

Выходом из сложившегося положения является совершенствование нормативно-правовой базы на локальном уровне и полноценный реинжиниринг процессов, т. е. пересмотр порядка проведения осмотров, наблюдений, проверок, мониторинга, составляющих эксплуатационный контроль, с последующей их автоматизацией [4]. Это, в свою очередь, создает предпосылки перехода к управлению безопасностью с использованием среды общих данных (далее — СОД) как единого источника согласованной информации, а также перехода к системе поддержки принятия решений путем внедрения технологий информационного моделирования. Применительно к объектам метрополитена формирование СОД связано с решением инженерной задачи описания и внедрения алгоритмов проведения осмотров, проверок, мониторинга объектов инфраструктуры внеуличного транспорта, необходимых и достаточных для последующего заключения о соответствии.

Мощным толчком для перехода к системе управления качеством на стадии эксплуатации должно послужить внедрение технологий информационного моделирования (BIM-технологий) [5]. На рисунке приведен пример перехода к управлению качеством в период эксплуатации зданий и сооружений на основе реинжиниринга процессов и внедрения технологий информационного моделирования.

Эксплуатационный контроль, построенный на основе BIM-технологий, предполагает наличие единой информационной системы управления данными, содержащей сведения о конструктивных и других характеристиках надежности и безопасности здания, сооружения, системах и сетях инженерно-технического обеспечения, о формах, содержании и периодичности осмо-

тров, контрольных проверок и (или) мониторинга⁴. Безбумажные технологии позволят сократить привлекаемые ресурсы, снизить затраты на хранение документации и повысить объективность отчетных документов.

Автоматизация процессов эксплуатационного контроля, создание базы данных объектов инфраструктуры внеуличного транспорта в совокупности с процессным подходом по обслуживанию зданий, сооружений в течение жизненного цикла обеспечат целевой уровень безопасности и надежности зданий, сооружений за счет организации оперативного доступа к требуемой для принятия решений информации и повышения скорости информационного обмена между всеми заинтересованными лицами [6]. Решение данной задачи невозможно без разработки специальных математических моделей, позволяющих оперировать в среде «больших баз данных» для оперативной переконфигурации системы управляющих воздействий [7].

Рассмотрим возможность обработки «больших баз данных» с помощью методов, построенных на математических моделях теории информационного взаимодействия. Примером данного подхода является широко используемый за рубежом метод измерения формальной эффективности (метод оболочечного анализа данных) — Data Envelopment Analysis (DEA), основанный на построении границы эффективности [8–10]. Этот метод был предложен учеными A. Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes [11], которые, в свою очередь, опирались на идеи M. J. Farrell [12].

Рассмотрим формат представления данных и алгоритм формирования управляющей базы данных в модели CCR (Charnes, Cooper, Rhodes): DMU (decision making unit) — единица принятия решения; $x_{1j}, \dots, x_{mj}$ — входные параметры DMU_j; $y_{1j}, \dots, y_{sj}$ — выходные параметры DMU_j; $v_1, \dots, v_m$ — веса входных параметров; $u_1, \dots, u_s$ — веса выходных параметров; m — количество входных параметров; s — количество выходных параметров; n — количество DMU.

$$\text{Для каждой DMU}_j \quad \frac{\text{Virtual input}}{\text{Virtual output}} \rightarrow \max, \quad (1)$$

⁴ «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы», утв. Указом Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 2032. URL: <http://government.ru/docs/all/112831/> (дата обращения 11.05.2019).

² ГОСТ Р 57208–2016. Тоннели и метрополитены. Правила обследования и устранения дефектов и повреждений при эксплуатации. Утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 ноября 2016 г. № 1571-ст.

³ ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (протокол № 39 от 8 декабря 2011 г.).

Механизм перехода к управлению качеством на стадии эксплуатации объектов инфраструктуры внеуличного транспорта с использованием технологий информационного моделирования

где

$$Virtual\ input = v_1 x_{1o} + \dots + v_m x_{mo};$$

$Virtual\ output = u_1 y_{1o} + \dots + u_s y_{so}$ при ограничениях $x_{1o}, \dots, x_{mo} > 0$, $y_{1o}, \dots, y_{so} > 0$, тогда матрица входных параметров

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

матрица выходных параметров

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & \dots & y_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{s1} & \dots & y_{sn} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Решение оптимизационной задачи для каждого DMU_j в отдельности:

$$\max_{u,v} \Theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_1 x_{1o} + \dots + v_m x_{mo}}, \quad o = 1, \dots, n, \quad (4)$$

при ограничениях:

$$\frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1,$$

$$j = 1, \dots, n; v_1, \dots, v_m \geq 0; u_{1j}, \dots, u_s \geq 0.$$

Сущность метода заключается в определении расхождения между отношением результатов и производственных возможностей исследуемого объекта. Границы производственных возможностей определяются целевыми показателями эффективности, установленными нормативно-правовой документацией либо на основании эмпирических данных, включенных в выборку исследования. Границы производственных возможностей показывают альтернативное (максимально наилучшее) решение при имеющихся ресурсах исследуемой системы.

симально наилучшее) решение при имеющихся ресурсах исследуемой системы.

Вывод

Аналитические методы информационного моделирования процессов поддержки принятия решений, в частности метод DEA и оригинальные разработки на его основе, могут с успехом применяться для аналитического определения эффективности в различных сложных организационно-технических системах при условии его научно обоснованной адаптации к исследуемой среде функционирования. Поэтому метод DEA и разработанные на его основе прикладные модели с успехом могут применяться для анализа информационных ситуаций и принятия управляющих решений в системе эксплуатационного контроля Петербургского метрополитена, требующих объективной аналитической обработки «больших баз данных». Одним из важнейших преимуществ в результате применения BIM-технологий в сфере эксплуатационного контроля является существенное снижение рисков возникновения нештатных ситуаций вследствие субъективных факторов, связанных с влиянием конечного интегранта деятельности — человека.

Библиографический список

1. Козин Е. Г. Научно-практические основы системы содержания искусственных сооружений Петербургского метрополитена (начало) // Транспортное строительство. 2018. № 2. С. 19–22.

2. Козин Е. Г. Научно-практические основы системы содержания искусственных сооружений Петербургского метрополитена (окончание) // Транспортное строительство. 2018. № 3. С. 8–11.

3. Козин Е. Г. Современное состояние нормативной базы и перспективы совершенствования мониторинга объектов метрополитена в Санкт-Петербурге // Труды V Междунар. конф. «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений». Екатеринбург, 2016. С. 17–25.

4. Козин Е. Г. Проблемы научного подхода при организации надзора за эксплуатацией подземных сооружений // Труды Междунар. конф. «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений». Екатеринбург, 2004. С. 17–21.

5. Козин Е. Г. Стратегия процесса управления надежностью искусственных сооружений метрополитена Санкт-Петербурга. СПб.: Невзоров От Эколь, 2017. 60 с.

6. Chu Z., Wang Q., Lado A. A. Customer orientation, relationship quality, and performance: The third-party logistics provider's perspective // The International Journal of Logistics Management. 2016. Issue 27 (sn3). Pp. 738–754.

7. Carmichael S. G. The Flash Report: The Global Digital Economy. 29.04.2016. URL: <https://hbr.org/2016/04/the-flash-report-the-global-digital-economy> (дата обращения: 22.08.2019).

8. Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. 318 p.

9. Charnes A., Cooper W. W., Lewin A. Y., Seiford L. M. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994. 513 p.

10. Bowlin W. F., Charnes A., Cooper W. W., Sherman H. D. Data Envelopment Analysis and Regression Approaches to Efficiency Estimation and Evaluation // Annals of Operations Research. 1985. Vol. 2. Pp. 113–138.

11. Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operational Research. 1978. Vol. 2. Issue 6. Pp. 429–444.

12. Farrell M. J. The Measurement of Productive Efficiency // Journal of The Royal Statistical Society, Series A (General). Part III. 1957. Vol. 120. Pp. 253–281.

References

1. Kozin E. G. *Nauchno-prakticheskie osnovy sistemy soderzhaniya iskusstvennykh sooruzheniy Peterburgskogo metropolitena (nachalo)* [Scientific and practical foundations of the maintenance system of artificial structures of St. Petersburg Metro (beginning)]. *Transportnoe stroitel'stvo – Transport Construction*, 2018, no. 2, pp. 19–22.

2. Kozin E. G. *Nauchno-prakticheskie osnovy sistemy soderzhaniya iskusstvennykh sooruzheniy Peterburgskogo*

metropolitena (okonchanie) [Scientifically-practical foundations of the system of maintenance of artificial constructions of St. Petersburg subway (final part)]. *Transportnoe stroitel'stvo – Transport Construction*, 2018, no. 3, pp. 8–11.

3. Kozin E. G. *Sovremennoe sostoyanie normativnoy bazy i perspektivy sovershenstvovaniya monitoringa ob'ektov metropolitena v Sankt-Peterburge* [Modern state of the regulatory framework and prospects for improving the monitoring of subway facilities in St. Petersburg]. *Trudy V Mezhdunar. konf. «Proektirovanie, stroitel'stvo i ekspluatatsiya kompleksov podzemnykh sooruzheniy»* [Proceedings of the V International conference “Design, construction and operation of complexes of underground structures”]. Ekaterinburg, 2016, pp. 17–25.

4. Kozin E. G. *Problemy nauchnogo podkhoda pri organizatsii nadzora za ekspluatatsiey podzemnykh sooruzheniy* [Problems of scientific approach in the organization of supervision over the underground structures' operation]. *Trudy Mezhdunar. konf. «Proektirovanie, stroitel'stvo i ekspluatatsiya kompleksov podzemnykh sooruzheniy»* [Proceedings of the International conference “Design, construction and operation of complexes of underground structures”]. Ekaterinburg, 2004, pp. 17–21.

5. Kozin E. G. *Strategiya protsessa upravleniya nadezhnost'yu iskusstvennykh sooruzheniy metropolitena Sankt-Peterburga* [Strategy of the process of controlling the reliability of artificial constructions of the St.-Petersburg subway]. St. Petersburg: Nevzorov ot Ekol Publ., 2017, 60 p.

6. Chu Z., Wang Q., Lado A. A. Customer orientation, relationship quality, and performance: The third-party logistics provider's perspective. *The International Journal of Logistics Management*, 2016, iss. 27 (sn3), pp. 738–754.

7. Carmichael S. G. The Flash Report: The Global Digital Economy. 29.04.2016. Available at: <https://hbr.org/2016/04/the-flash-report-the-global-digital-economy> (accessed: 22.08.2019).

8. Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software*. Boston, Kluwer Academic Publ., 2000, 318 p.

9. Charnes A., Cooper W. W., Lewin A. Y., Seiford L. M. *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications*. Boston, Kluwer Academic Publ., 1994, 513 p.

10. Bowlin W. F., Charnes A., Cooper W. W., Sherman H. D. *Data Envelopment Analysis and Regression Approaches to Efficiency Estimation and Evaluation*. *Annals of Operations Research*, 1985, vol. 2, pp. 113–138.

11. Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. *Measuring the Efficiency of Decision Making Units*. *European Journal of Operational Research*, 1978, vol. 2, iss. 6, pp. 429–444.

12. Farrell M. J. *The Measurement of Productive Efficiency*. *Journal of Royal Statistical Society, Series A (General)*, Part III, 1957, vol. 120, pp. 253–281.