

УДК 656.212

В. В. МАЛАШКІН^{1*}, М. І. БЕРЕЗОВИЙ^{2*}, Є. Б. ДЕМЧЕНКО^{3*}, С. В. БОРИЧЕВА^{4*}

^{1*} Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793-19-13, ел. пошта: malaxa79@gmail.com, ORCID 0000-0002-5650-1571

^{2*} Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793-19-13, ел. пошта: n.berezovy@gmail.com, ORCID 0000-0001-6774-6737

^{3*} Каф. «Транспортные узлы», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 799 16 75, ел. пошта: e.b.dmch@gmail.com, ORCID 0000-0003-1411-6744

^{4*} Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793-19-13, ел. пошта: svetikb81@gmail.com, ORCID 0000-0002-2064-6621

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ДИСКРЕТНО-ПОДІЄВОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Мета роботи полягає у огляді та порівняльному аналізі існуючих парадигм імітаційного моделювання, а також у виборі доцільного методу моделювання технологічних процесів систем залізничного транспорту для оцінки експлуатаційної надійності його інфраструктури. **Результати.** У статті висвітлюються основні проблеми при функціонуванні залізничного транспорту України, які знижують його експлуатаційну надійність. Для вирішення задачі отримання адекватної оцінки експлуатаційної надійності систем залізничного транспорту доцільно використання методу імітаційного моделювання. На даний час у імітаційному моделюванні сформувався три самостійні парадигми – системна динаміка, агентне моделювання та дискретно-подієве моделювання. Вказані парадигми відповідають різним рівням абстракції при створенні моделі, що обумовлює застосування того чи іншого підходу. У роботі наводиться порівняльна характеристика підходів імітаційного моделювання, їх переваги та недоліки. Розглядається історія виникнення, інструменти реалізації, особливості та сфери застосування кожного підходу імітаційного моделювання. Обґрунтована доцільність моделювання динамічних процесів на залізничному транспорті дискретно-подієвим імітаційним моделюванням. Розглядається спосіб і алгоритми формалізації в імітаційній моделі маневрової роботи залізничної станції, що виключають одночасне використання елементів колійного розвитку при виконанні різних операцій перевізного процесу. Модель станції створена у середовищі імітаційного моделювання AnyLogic і дозволяє оцінювати експлуатаційну надійність залізничної станції на основі величини затримок та простоїв рухомого складу на станції через зайнятість колій і локомотивів. **Практична значимість** виконаної роботи полягає у можливості більш раціонально підходити до вибору підходу імітаційного моделювання роботи різних систем при вирішенні задач, пов'язаних з отриманням достовірної оцінки їх техніко-технологічних параметрів та експлуатаційної надійності.

Ключові слова: залізнична інфраструктура; експлуатаційна надійність; кількісна оцінка; імітаційне моделювання; дискретно-подієве моделювання; AnyLogic

Вступ

Залізниця України є одним з ключових об'єктів критичної інфраструктури країни, яка представляє собою провідне підприємство в системі транспортних комунікацій, що забезпечує потреби економіки і населення у перевезеннях. Економічна взаємодія виробничих систем має супроводжуватися надійними та ефективними транспортними зв'язками. Для цього транспортна інфраструктура повинна бути добре розви-

нена, а технологічні функції всіх підрозділів залізничного транспорту виконуватися якісно і з належною надійністю.

У останній час в Україні з'явилися певні обмеження зростання економіки, обумовлені недостатнім розвитком транспортної системи. Сьогоднішні об'ємні і якісні характеристики транспорту, особливо його інфраструктури, не дозволяють в повній мірі і ефективно вирішувати завдання зростаючої економіки. У якості прикладу можна привести складну ситуацію,

що виникла у останні роки при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом, коли обсяги перевезень зерна щорічно зростають, а пропускна здатність певних залізничних напрямків практично вичерпана [1]. Все це вимагає від українського транспорту значної перебудови [2].

Рішення стратегічного завдання підвищення ефективності роботи залізничного транспорту насамперед за рахунок збільшення пропускної і провізної здатності станцій неможливо без оснащення їх сучасними технічними засобами.

В умовах слабкого інвестування дедалі актуальнішими стають питання підвищення надійності різноманітних технічних пристроїв і систем – механізмів, машин, апаратів, приладів, систем автоматики, електронного обладнання, зв'язку і т.д. Надійність є найважливішим техніко-економічним показником якості будь-якого технічного пристрою або системи. Через низьку надійність пристроїв виникають технологічні збої, які можуть призводити (або не приводити) до зменшення функціональних можливостей.

Основною проблемою при розробці заходів, спрямованих на підвищення надійності технічних пристроїв, є достовірна оцінка її рівня. На практиці використовують чотири групи методів дослідження та оцінки надійності технічних засобів і технологічних процесів функціонування транспортних систем: аналітичні; експериментальні; методи, засновані на статистичному моделюванні; комбіновані. Проблемі оцінки експлуатаційної надійності залізничного транспорту з використанням зазначених вище методів присвячені роботи П. С. Грунтова, П. А. Козлова, І. Б. Сотникова, І. В. Павлова, О. В. Бикадорова, В. І. Бобровського, О. М. Тимухіної та ін. [3-9]. Багаторічний досвід науковців показав, що оцінку технологічних втрат від різного роду збоїв у роботі залізниці доцільно проводити методом імітаційного моделювання, оскільки використання інших методів ускладнюється значними структурними та функціональними зв'язками систем залізничного транспорту.

Огляд методів моделювання

Імітаційне моделювання являє собою процес побудови узагальненої комп'ютерної моделі системи з алгоритмічним описом основних правил її поведінки і процесів. Імітаційна модель, як правило, створюється дослідження можливих сценаріїв розвитку системи при варіації певних параметрів. Після створення моделі з нею проводять численні комп'ютерні симуля-

ції – імітаційні експерименти. В ході них йде ітераційний процес уточнення або відкидання гіпотез, що використовувалися для опису системи.

Імітаційну модель можна розглядати як множину правил, що визначають процеси функціонування деякої системи і її переходів з одного часового стану в наступне. Ці правила можуть визначатися будь-яким доступним для комп'ютера способом – у вигляді блок-схем, диференціальних рівнянь, діаграм станів, автоматів, мереж.

У імітаційному моделюванні на даний час склалися три самостійні парадигми – системна динаміка, агентне та дискретно-подієве моделювання. Вони відповідають різним рівням абстракції при створенні моделі, що обумовлює застосування того чи іншого підходу. Прийнято розрізняти три рівні абстракції: високий (стратегічний), середній (тактичний) і низький (оперативний) [10]. При низькому рівні моделюється поведінка окремих об'єктів, але, на відміну від фізичного моделювання, використовуються не точні траєкторії і часи, а їх усереднені або стохастичні значення. На цьому рівні прийнято вирішувати завдання, пов'язані з рухом транспорту тощо. На середньому рівні абстракції зазвичай оперують з розкладами, затримками, потужностями і ємностями, фізичне переміщення при цьому не аналізується. Тут абстрагуються від індивідуальних властивостей об'єктів моделювання (людей, машин, вантажів) і в основному розглядають їх потоки. Характерними задачами цього рівня є системи масового обслуговування. При високому рівні абстракції в моделі, як правило, відсутні індивідуальні об'єкти самі по собі, а оперують лише з їх кількістю і агрегованими показниками. На даному рівні моделюється проблеми ринкової рівноваги, соціально-економічного розвитку міст, екологічні процеси.

Системна динаміка (СД) відповідає високому рівню абстракції імітаційного моделювання. Засновником СД вважається американський інженер Джей Форрестер [11].

При цьому підході не розглядаються індивідуальні об'єкти, а лише їх кількості та агреговані показники. Системна динаміка застосовується тоді, коли немає необхідності або можливості досліджувати вплив окремих об'єктів, а досить вивчити поведінку системи на рівні агрегованих величин. Форрестер запропонував використовувати для цього поняття «накопичувачі» і «потоки» між ними. Накопичувачі можуть відноситися до різних матеріальних

об'єктів. З формальної точки зору системно-динамічна модель являє собою систему диференціальних (в окремому випадку алгебраїчних) рівнянь, що визначає потоки між накопичувачами.

Відмінною рисою СД є нерозрізненість об'єктів, що знаходяться в одному накопичувачі – їх неможливо індивідуалізувати, присвоївши різні властивості, логіку поведінки або процес обробки. Усі взаємозв'язки задаються на рівні накопичувачів, тобто між агрегованими величинами. Системно-динамічні моделі зазвичай застосовуються при стратегічному аналізі та довгостроковому плануванні.

Серед найбільш поширених програмних продуктів, призначених для використання системно-динамічного підходу, можна виділити Vensim [12], Powersim [13] і IThink [14]. Програмний комплекс Vensim серед вказаних найбільш ефективний, оскільки підтримує графічне утворення поточкових діаграм процесу та його анімацію, а також дозволяє генерувати звіти результатів моделювання.

Відносно новим напрямком імітаційного моделювання є агентне моделювання (АМ), який виник у 90-х роках минулого століття. У залежності від ступеню деталізації АМ може відповідати усім рівням абстракції. При цьому підході об'єкт (явище або процес), що моделюється, представляється як сукупність агентів – абстрактні проекції будь-яких автономних сутностей з реального світу. Агентами можуть бути: клієнти залізниці, які відправляють або отримують вантаж; вагони, що переміщуються по залізничній мережі; пішоходи і автомобілі, що беруть участь у дорожньому русі тощо.

Очевидно, що одна агентна модель може бути представлена кількома видами агентів. Агентне моделювання визнає принцип представ-

лення об'єктів «знизу-вгору». Акцент робиться не на макро-, а на мікрорівень: правила поведінки задаються для кожного агента, а загальна динаміка системи стає наслідком сукупності їх взаємодій. У цьому зв'язку в процесі імітаційних експериментів можуть виникнути обчислювальні складності, оскільки агентні моделі в середньому вимагають великих апаратних і програмних потужностей для проведення симуляцій, ніж системна динаміка або дискретно-подієве моделювання.

Серед відомих комерційних програмних інструментів, які підтримують агентне моделювання, слід виділити середовища Ascape [15], RePast [16] та AnyLogic [17].

Дискретно-подієве моделювання (ДПМ) є підходом, який відповідає низькому і середньому рівню абстракції. Концепцію ДПМ запропонував у 60-х роках минулого століття Джефрі Гордон, розробивши популярний і на сьогоднішній час програмний засіб GPSS [18]. Він запропонував використовувати концепції заявок, ресурсів і поточкових діаграм. Заявки являють собою певні об'єкти, які переміщуються, захоплюють і звільняють ресурси відповідно до поточковим діаграм – схем, що описують досліджуваній процес. Заявки можуть являти собою людей, товари, транспортні засоби, документи, повідомлення тощо. ДПМ є дискретним – кожній події відповідає певний дискретний момент часу. Характерною рисою даного підходу є «знеособленість» заявки, від її індивідуальних властивостей абстрагуються. Вважається, що всі заявки мають універсальної логікою поведінки і обробляються за єдиним, заздалегідь відомим алгоритмом. Ядро моделі відповідає за генерацію, оброблення та знищення заявок.

Порівняльна характеристика підходів моделювання наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика підходів імітаційного моделювання

Характеристика	Підхід імітаційного моделювання		
	Дискретно-подієве моделювання	Системна динаміка	Агентне моделювання
Принцип	Подієвий принцип	Зверху-донизу	Знизу-доверху
Область використання	СМО, дорожній трафік, задачі про пропускні пункти	Соціально-економічні процеси	Фізика, хімія, біологія, соціально-економічні процеси
Рівень абстракції	Середній	Високий	Весь спектр
Характер зміни стану	Дискретний	Неперервний	Дискретний
Математизація	Висока	Середня	Середня та низька
Особливості графічної візуалізації	Блок-схеми, поточкові діаграми, подієві графи	Причинно-наслідкові діаграми	Динамічні мультиагентні діаграми
Основні категорії	Вузли, годинник, потоки, очікування, заявки, черги	Потоки, накопичувачі, контури зворотного зв'язку, затримки	Агенти, зв'язки
Недоліки	Обмежена сфера застосування	Малопритатний для опису об'єктів на високому рівні абстракції	Вимагає значних обчислювальних потужностей
Переваги	Володіє розробленою методологією і формальною мовою	Не вимагає високої математичної підготовки; володіє інтуїтивно зрозумілим категоріальним апаратом	Універсальність, незамінність при моделюванні деяких процесів

Імітаційна модель залізничної станції

Виконаний аналіз існуючих програмних засобів для моделювання транспортних процесів показав, що на даний час найбільш зручним програмним комплексом є AnyLogic, оскільки у порівнянні з іншими моделюючими системами має наступні переваги: графічне середовище розробки моделей AnyLogic значно прискорює процес створення моделей; створення бібліотек дозволяє розробнику багаторазово використовувати вже написані модулі; об'єктно-орієнтований підхід піднімає процес розробки моделей на новий рівень; інтуїтивний графічний інтерфейс спрощує перехід з інших інструментів імітаційного моделювання на AnyLogic.

Система імітаційного моделювання AnyLogic включає до себе «Залізничну бібліотеку», яка дозволяє ефективно моделювати і візуалізувати функціонування залізничних об'єктів будь-якого масштабу і рівня складності – від окремих станцій і залізничних ліній, до залізничних вузлів і колій незагального користування великих промислових підприємств. Очевидно, що використання інструментарію, який пропонує система AnyLogic, для отримання оцінки експлуатаційної надійності залізничної інфраструктури є доцільним. У цьому зв'язку була розроблена базова імітаційна модель приймально-відправного парку залізничної станції у середовищі AnyLogic.

Процес функціонування технологічної лінії з обробки поїздів розглядається як дискретно-подієвий процес. Кожна заявка, що обслуговується у системі (парку) дискретно перебуває на обслуговуванні у тому чи іншому елементі. Пе-

рехід між етапами обробки представляє собою умовну межу, і не має власної тривалості.

На рис. 1 наведена типова потокова діаграма процесу обслуговування поїздів у приймально-відправному парку станції, яка використовується у імітаційній моделі. Кожен блок діаграми представляє собою елемент певного типу, що призначений для виконання певних функцій. На початку діаграми розташовуються блоки «Генератор» (*Source*) та «Черга на вході» (*Queue*), які моделюють вхідний потік поїздів та формують їх чергу у разі зайнятості усіх станційних колій. Блоки «Вибір...» (*SelectOutput*) дозволяють виконувати перевірку вільності колій для формування у подальшому маршруту прибуття поїзда. У разі зайнятості усіх колій вказаний елемент блокує потік поїздів за допомогою блоку «Затримка» (*Hold*), тим самим збільшуючи чергу поїздів на підході до станції.

Зайнятість та звільнення колій у моделі здійснюється за допомогою блоків *Seize*, *ResourcePool* та *Release*. Елемент *Seize* при проходженні через нього поїзда використовує задану кількість (як правило, одиницю) ресурсу з «запасу», який перебуває у відповідному елементі *ResourcePool*. При цьому кількість ресурсів у блоці *ResourcePool* зменшується на одиницю. Якщо всі ресурси вичерпані (відповідна колія або усі станційні колії зайняті), то черговий поїзд буде затриманий.

Аналогічним чином моделюється процес зайняття та звільнення бригад ПТО для виконання технічного огляду составів поїздів. Але для цього використовується спеціальний блок *Service*, який представляє собою об'єднання елементів *Seize*, *ResourcePool* та *Release*.

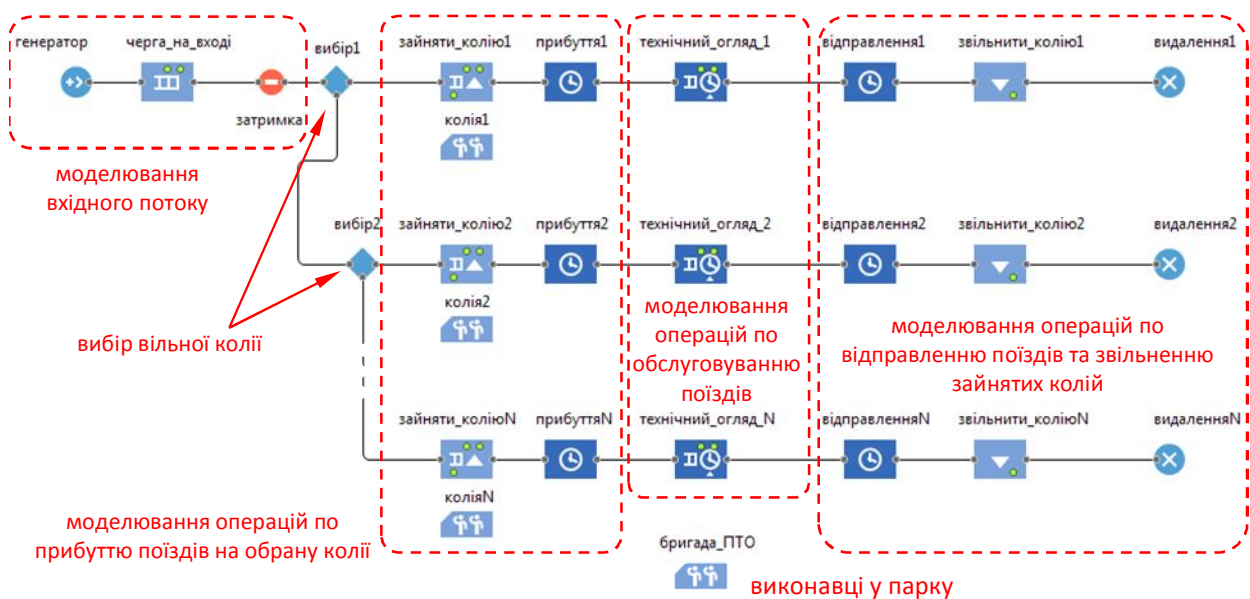


Рис. 1. Потокова діаграма процесу функціонування приймально-відправного парку станції

Тривалість виконання технологічних операцій моделюється за допомогою блоку *Delay*, що дозволяє затримувати заявки у потоковій діаграмі на певний час, який може бути представлений певним значенням або функцією.

Представлена потокова діаграма системи AnyLogic може використовуватися в якості типової для опису різних технологічних процесів на залізничних станціях та забезпечує облік затримки поїздів через зайнятість елементів колійного розвитку або виконавців технологічних операцій.

Висновки

Виконані у роботі аналіз та дослідження дозволили сформулювати наступні висновки.

1. Для рішення задачі отримання адекватної оцінки експлуатаційної надійності систем залізничного транспорту доцільно використовувати методи імітаційного моделювання.

2. Виконаний огляд існуючих парадигм моделювання дозволить більш раціонально підходити до вибору підходу імітаційного моделювання роботи різних систем при вирішенні задач, пов'язаних з отриманням достовірної оцінки їх техніко-технологічних параметрів та експлуатаційної надійності.

3. Обґрунтована доцільність використання дискретно-подієвого методу при моделюванні технологічних процесів транспортних систем.

4. Розроблена у середовищі AnyLogic імітаційна модель дозволяє отримувати показники функціонування залізничної станції та оцінювати її експлуатаційну надійність у різних умовах.

5. Отримані авторами результати не кінцеві та є основою для продовження дослідження у даному напрямку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мірошніченко, І. Безвідповідальний абсурд Укрзалізниці. Існуючий колапс «підкріпимо» агротрейдом / І. Мірошніченко. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.liga.net/user/imiroshnichenko/article/34298>

2. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року (Розпорядження КМУ №1555-р від 16.12.2009 року). [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/ua/pras/243219821>

3. Грунтов П. С. Эксплуатационная надежность станций [Текст] – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.

4. Козлов П. А., Козлова В. П. Расчет параметров проектируемых транспортных узлов [Текст] / А. П. Козлов, В. П. Козлова // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 7. – С. 36–38.

5. Сотников И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог [Текст] – М.: Транспорт, 1976. – 268 с.

6. Павлов, И. В. Статистические методы оценки надежности сложных систем по результатам испытаний [Текст] – М.: Радио и связь, 1982. – 168 с.

7. Быкадоров А. В. Системное исследование технологии, оснащения, пропускной и перерабатывающей способности технических станций [Текст]: автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. д-ра. техн. наук. – М.: МИИТ, 1981. – 42 с.

8. Бобровский В. И. Теоретические основы совершенствования конструкции и технологии работы железнодорожных станций [Текст]: автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. докт. техн. наук: ДНУЗТ. – 2002. – 36 с.

9. Тимухина, Е. Н., Зартдинов, Д. Р. Эксплуатационная надежность железнодорожных станций и ее определяющие факторы [Текст] / Е. Н. Тимухина, Д. Р. Зартдинов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2013. – № 1. – С. 76–79. ISSN 0236-1914.

10. Борщёв А. От системной динамики и традиционного ИМ – к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты [Электрон. ресурс] – Режим доступа: www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf

11. Форрестер, Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика) [Текст] – М.: «Прогресс», – 1971 – 340 с.

12. Industrial strength simulation software for improving the performance of real systems. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://vensim.com>

13. Powersim Software. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.powersim.com>

14. Premium modeling and interactive simulations. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.iseesystems.com/store/products/ithink.aspx>

15. Ascape. Agent Modeling Platform. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.eclipse.org>

16. Repast Simphony. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://repast.github.io/repast_simphony.html

17. Офіційний сайт «The AnyLogic Company». [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.anylogic.ru>

18. Gordon G. A General Purpose Systems Simulation Program [Текст] // McMillan NY, Proceedings of EJCC, Washington D.C., 1961, p. 87–104.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Жуковицьким І. В. (Україна)

Надійшла до редколегії 30.05.2019.

Прийнята до друку 06.06.2019.

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель работы заключается в обзоре и сравнительном анализе существующих парадигм имитационного моделирования, а также в выборе целесообразного метода моделирования технологических процессов систем железнодорожного транспорта для оценки эксплуатационной надежности его инфраструктуры. **Результаты.** В статье освещаются основные проблемы при функционировании железнодорожного транспорта Украины, которые снижают его эксплуатационную надежность. Для решения задачи получения адекватной оценки эксплуатационной надежности систем железнодорожного транспорта целесообразно использование метода имитационного моделирования. В настоящее время в имитационном моделировании сформировались три самостоятельные парадигмы – системная динамика, агентное моделирование и дискретно-событийное моделирование. Указанные парадигмы соответствуют различным уровням абстракции при создании модели, что обуславливает применение того или иного подхода. В работе приводится сравнительная характеристика подходов имитационного моделирования, их преимущества и недостатки. Рассматривается история возникновения, инструменты реализации, особенности и области применения каждого подхода имитационного моделирования. Обоснована целесообразность моделирования динамических процессов на железнодорожном транспорте дискретно-событийным имитационным моделированием. Рассматривается способ и алгоритмы формализации в имитационной модели маневровой работы железнодорожной станции, исключающие одновременное использование элементов путевого развития при выполнении различных операций перевозочного процесса. Модель станции создана в среде имитационного моделирования AnyLogic и позволяет оценивать эксплуатационную надежность железнодорожной станции на основе величины задержек и простоев подвижного состава на станции из-за занятости путей и локомотивов. **Практическая значимость** выполненной работы состоит в возможности более рационально подходить к выбору подхода моделирования работы различных систем при решении задач, связанных с получением достоверной оценки их технико-технологических параметров и эксплуатационной надежности.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура; эксплуатационная надежность; количественная оценка; имитационное моделирование; дискретно-событийное моделирование; AnyLogic

V. MALASHKIN, N. BEREZOVYI, Ye. DEMCHENKO, S. BORYCHEVA

OPERATIONAL RELIABILITY EVALUATION OF RAILWAY INFRASTRUCTURE USING METHODS DISCRETE EVENT SIMULATION

The purpose of the work is to review and compare the existing paradigms of simulation modeling, as well as to choose the appropriate method of modeling the technological processes of rail transport systems to assess the operational reliability of its infrastructure. **Results.** The article highlights the main problems with the functioning of Ukrainian rail transport, which reduce its operational reliability. To solve the problem of obtaining an adequate assessment of the operational reliability of railway systems, it is proposed to use a simulation method. At present, three independent paradigms have emerged in simulation modeling – system dynamics, agent modeling, and discrete event modeling. These paradigms correspond to different levels of abstraction when creating a model, which requires the use of one or another approach. The paper describes the comparative characteristics of simulation approaches, their advantages and disadvantages. The origin history, implementation tools, features and scope of each simulation approach are considered. The expediency of modeling of dynamic processes on railway transport by discrete-event simulation is substantiated. The method and algorithms of formalization in the simulation model of the shunting work of a railway station are considered. The station model was created in the AnyLogic simulation environment and allows to evaluate the operational reliability of a railway station based on the magnitude of delays and downtime of rolling stock at the station due to the occupancy of tracks and locomotives. **The practical significance** of the work performed is to be able to more rationally approach the approach of modeling the work of different systems in solving problems related to obtaining a reliable estimate of their technical and technological parameters and operational reliability.

Keywords: railway infrastructure; serviceability; quantitative assessment; simulation modeling; discrete-event modeling; AnyLogic