

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 656.21.07

О. В. ГОРБОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5612-2715

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ПОЕТАПНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Мета. Для представлення технологічного процесу, що використовує методологію поетапного моделювання, необхідно застосувати спеціалізоване програмне забезпечення. Формалізація технологічного процесу є однією з основних задач на етапі проектування або оптимізації роботи залізничної станції. У статті передбачено розробити методику формалізації технологічних процесів на основі методу поетапного моделювання. **Методика.** Завдяки методиці поетапного проектування виконано побудову вхідної, внутрішньої та вихідної моделі проектування роботи залізничної станції. Вхідна модель утворена діаграмами прецедентів, станів і діяльностей, що побудовані за допомогою інструментів програмного комплексу IBM Rational Rose. Ця модель забезпечує можливість графоаналітичного представлення технологічних процесів залізничної станції з його візуальним контролем, який дозволяє уникнути трудомісткого ручного кодування та знизити ймовірність появи помилок. Наведені діаграми описують технологічний процес залізничної станції на базі ієрархічних діаграм послідовності робіт різного ступеня деталізації. А вихідна та внутрішня моделі побудовані за допомогою уніфікованої мови моделювання UML. Методами дослідження є методи об'єктно-орієнтованого проектування, скінченних автоматів і системного програмування. **Результати.** Запропонована методика дозволяє за допомогою діаграм Харела будувати імітаційні моделі залізничних станцій. Ці моделі являють собою ієрархічно організовану сукупність взаємодіючих скінченних автоматів, при цьому складна модель на кожному рівні ієрархії зберігає простоту й доступну для огляду структуру. Сигнали про початок і закінчення робіт, які генерують під час переходів між станами, дозволяють синхронізувати роботу моделі, а використання дій під час описання станів і сигналів (розширення, що надається мовою UML) дозволяє використовувати зовнішні алгоритми там, де звичайний/автоматний формалізм стає незручним. Методологія, що реалізована засобами мови UML, дозволяє істотно полегшити представлення й сприйняття моделі станції. **Наукова новизна.** Удосконалено методику представлення функціональної моделі залізничних станцій із застосуванням методів візуального проектування. **Практична значимість.** Запропонована методика призначена для графоаналітичного представлення технологічного процесу роботи залізничної станції, що використовує поетапне моделювання. Під час моделювання на базі графічної вхідної моделі виконано побудову внутрішньої та вихідної моделей, а також представлення методів їх перетворень.

Ключові слова: технологічний процес; діаграма станів; діаграма діяльностей; діаграма прецедентів; орієнтовний граф; мова UML; залізнична станція; модель роботи станції

Вступ

В основі проектування технічного забезпечення автоматизованих систем управління, розробки різноманітних технологічних процесів

лежить моделювання предметної області. При цьому необхідно мати цілісне, системне уявлення моделі, яка повинна відображати всі аспекти функціонування майбутньої системи. Під

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

моделлю предметної області розуміють систему, що імітує структуру або функціонування досліджуваної цієї області [10]. Оцінні аспекти моделювання предметної області пов'язані з визначенням ефективності впровадження автоматизованих процесів на об'єкті автоматизації [14]. Проблему моделювання технологічних процесів досліджували багато вчених, що відображено у великій кількості вітчизняних та зарубіжних робіт.

Моделювання технологічних процесів на базі автоматів Мура та Мілі [6] показує досить високий рівень розуміння розв'язуваної задачі, проте тут відсутня формалізація процесу проектування. Описання дій, що реалізують автомати, є складним для проектувальника без відповідної кваліфікації.

У [5] розглянуто розробку інформаційної системи й процедуру побудови дедуктивної моделі процесу. Дослідження виконано в рамках динамічного моделювання, проте зовсім не описано формального підходу до побудови моделі технологічного процесу.

У [12] подано поняття й класифікацію методів моделювання технологічних процесів, показано основні етапи розробки технологічних процесів із позиції системного підходу. Розглянуто формальні підходи до описання математичних моделей та показано моделювання технологічних об'єктів, що розрізняються ступенем деталізації процесів.

У [13] розглянуто питання формалізації й автоматизації виконання синтезу моделей систем автоматичного управління технологічними процесами. Представлено підхід до побудови моделі, що включає такі етапи, як фізичне моделювання, математичне моделювання, дискретне комп'ютерне моделювання та імітаційне моделювання. Уведено поняття методу поетапного моделювання технологічних процесів. Технологія поетапного моделювання передбачає побудову технологічного процесу на декількох рівнях: від загального алгоритму процесу до детальних алгоритмів окремих операцій. В основі такого підходу лежить метод покрокової деталізації.

Під час моделювання технологічних процесів застосовують різні методи й підходи. Усі вони мають свої особливості, проте до моделю-

вання предметної області висуваються такі вимоги:

- однозначний опис структури предметної області;
- зрозумілість результатів предпроектного обстеження для замовників і розробників на основі застосування графічних засобів відображення моделі;
- реалізованість, під якою мрозуміють наявність засобів фізичної реалізації моделі предметної області в інформаційних системах;
- забезпечення оцінки ефективності реалізації моделі предметної області на основі певних методів та обчислюваних показників.

Ефективним способом описання функціонування об'єктів, що забезпечує високу інформативність та інтуїтивно зрозуміле представлення інформації, є візуальне моделювання. Під час візуального моделювання кожен елемент виробничого процесу зображують у вигляді графічного позначення. Графічну модель можна створювати як на паперових носіях, так і за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення на ЕОМ. Відображення наявних виробничих процесів у вигляді простих діаграм і коротких описів допомагає досягти єдиного розуміння чинних норм та оперативних процедур між розробником і замовником проектів розвитку залізничних станцій.

Мета

Основною метою цієї статті є формалізація представлення технологічного процесу з використання методології поетапного моделювання.

Методика

Представлення технологічного процесу використовує мову UML та її графічну інтерпретацію. Вказаний підхід зрозумілий для розробника технологічного процесу й не потребує спеціальних навичок роботи з комп'ютером.

Під час поетапного моделювання технологічного процесу роботи залізничної станції застосовують вхідну, внутрішню та вихідну моделі проектування, а також методи їх перетворень [1]. Кожна з представлених моделей пе-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

редбачає наявність вхідних і вихідних даних, а також правил їх обробки.

Вхідну модель станції забезпечують графічні схеми представлення середовища IBM Rational Rose [11]. Система має можливості графічного введення технологічних процесів різних ступенів деталізації з візуальним контролем, який дозволяє уникнути трудомісткого ручного кодування й виключити появу помилок. Графічне введення технологічного процесу доповнюють параметризацією елементів (перелік виконавців, час виконання та ін.).

Внутрішня модель забезпечує можливість автоматичного відображення технологічного процесу й перетворення орієнтовного графа у списки інцидентності. Така модель призначена для автоматичного розрахунку основних параметрів робіт залізничної станції [1].

Вихідна модель може служити основою для вирішення широкого кола завдань, у тому числі й для функціонального моделювання роботи станцій із метою одержання їх техніко-технологічної оцінки.

Розробка технологічного процесу залізничної станції й створення її вхідної моделі характеризується найбільшим рівнем взаємодії технолога та ЕОМ. Для формування вхідної моделі доцільно використувати середовище IBM Rational Rose.

Вхідна модель представлення технологічного процесу. Створення вхідної моделі характеризується побудовою ефективного графічного представлення, орієнтованого на візуалізацію та формалізацію технологічного процесу.

На цьому етапі набір діаграм формалізації технологічного процесу представимо у вигляді множини графічних об'єктів Q_{BX} . При цьому виділені типи об'єктів:

- D_p – діаграма прецедентів;
- D_{scd} – діаграма станів;
- D_{act} – діаграма діяльностей.

Кожний із наведених діаграм ставимо у відповідність набір інструментів для їх графічного відображення.

Діаграма прецедентів (*Use-Case Diagram*), представлена у вигляді орієнтовного графа, може бути описана такою структурою:

$$D_p = \{I_d^p, V^p, E^p, f_{begin}^p, f_{end}^p, vt\}, \quad (1)$$

де I_d^p – унікальний номер діаграми прецедентів; V^p – список вершин діаграми прецедентів; E^p – список переходів діаграми прецедентів; f_{begin}^p – початкова вершина переходу діаграми прецедентів; f_{end}^p – кінцева вершина переходу діаграми прецедентів; vt – функція типу переходу діаграми прецедентів.

Визначимо початкову та кінцеву вершини переходу:

$$f_{begin}^p : E^p \rightarrow V^p; f_{end}^p : E^p \rightarrow V^p; \quad (2)$$

$$vt : V^p \rightarrow VT; \quad (3)$$

$$VT = \{\text{actor, entity, function}\}. \quad (4)$$

Інформація про діаграму міститься у файлі в такій моделі:

– перелік вершин – акторів (V_{act}^p). V_{act}^p описує вершину, яку визначає її унікальний номер, поле *quid* та поле *stereotype*, він визначений функцією vt , кожний актор може мати список параметрів. Список параметрів визначає *class_attribute_list*, кожний атрибут – *ClassAttribute*;

– перелік вершин – функції V_{func}^p , що визначені унікальним номером, ім'ям, полем *quid* та додатковою рядковою інформацією;

– список ребер E^p . Ребро визначене типом зв'язку *Association*, унікальним номером, ім'ям, полем *quid*, полем *roles*, списком із двох об'єктів *Role*. Для кожного ребра є список із двох вершин – кінцевої та початкової.

Діаграму станів (*StateChart Diagram*) опишемо такою структурою:

$$D_{scd} = \{I_d^{scd}, V^{scd}, E^{scd}, V_{start}^{scd}, V_{stop}^{scd}, f^{scd}, f_{begin}^{scd}, f_{end}^{scd}\}, \quad (5)$$

де I_d^{scd} – унікальний номер діаграми станів; V^{scd} – множина вершин діаграми станів; E^{scd} – список переходів діаграми станів; V_{start}^{scd} – вер-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

шини початкового стану діаграми станів; V_{stop}^{scd} – вершини кінцевого стану діаграми станів; f_{begin}^{scd} – початкова вершина переходу діаграми станів; f_{end}^{scd} – кінцева вершина переходу діаграми станів; f^{scd} – функція, що ставить у відповідність час виконання операції на діаграмі станів.

Визначимо початкову та кінцеву вершини переходу:

$$f^{scd} : V^{scd} \rightarrow R. \quad (6)$$

Інформація про діаграму, що відображена у файлі, у моделі складається зі структур:

– перелік вершин – назви робіт. V^{scd} описує вершину, яку визначає її унікальний номер – поле *quid* та поле *type*, що містить рядок *StartState*, список атрибутів представлено у полі *actions*, кожний елемент цього списку – атрибут вершини, що має назву, унікальний номер і поле *ActionTime*. Поле *ActionTime* містить атрибут виконання операції у вершині графа значення множини W ;

– список ребер визначений полем *transitions* і службовим словом *list transition_list*, кожне ребро – структурою *object State_Transition*, унікальним номером, полем *label*. Кінцева вершина ребра визначена службовим словом *supplier*, *supplier_quidu* – унікальний номер кінцевої вершини. Початкова вершина ребра визначена службовим словом *client*, *client_quidu* – унікальний номер початкової вершини. Ребро характеризується виконанням дії під час переходу та визначене полем *Event*. Поле *Event* характеризується назвою типу рядок, унікальним номером та службовим повідомленням, що визначено полем *sendEvent*, а повідомлення має свій унікальний номер;

– вершини початкового стану діаграми представлені у файлі через поле *object State* та позначені рядком *\$UNNAMED\$0*, через поле *type StartState* вершина визначена як початковий стан для графа.

– вершини кінцевого стану діаграми представлені у файлі через поле *object State* і позначені рядком *\$UNNAMED\$1*. Через поле *type*

EndState вершина визначена, як початковий кінцевий стан для графа.

Діаграму діяльностей (*Activity Diagram*) описуємо такою структурою:

$$D_{act} = \{I_{act}^{ad}, V^{ad}, E^{ad}, V_{\text{start}}^{ad}, V_{\text{stop}}^{ad}, f^{ad}, f_{\text{begin}}^{ad}, f_{\text{end}}^{ad}, S\}, \quad (7)$$

де I_{act}^{ad} – унікальний номер діаграми діяльності; V^{ad} – список вершин (станів) діаграми діяльності; S – список паралельних виконавців діаграми діяльності; E^{ad} – список переходів діаграми діяльності; V_{start}^{ad} – вершини початкового стану діаграми діяльності; V_{stop}^{ad} – вершини кінцевого стану діаграми діяльності; f_{begin}^{ad} – початкова вершина діаграми діяльності; f_{end}^{ad} – кінцева вершина діаграми діяльності; f^{ad} – функція, що ставить у відповідність час виконання кожної операції діаграми діяльності.

Для списку вершин справедливо:

$$V^{ad} = VA \cup VC \cup VD \cup VG, \quad (8)$$

де VA – множина вершин переходів вершина діаграми діяльності; VC – множина вершин умовних переходів вершина діаграми діяльності; VD – множина вершин переходів точок роз'єднання діаграми діяльності; VG – множина вершин переходів точок склеювання діаграми діяльності.

Множини VA , VC , VD , VG попарно не перетинаються. У множини VD може бути тільки один вхід у ребро, що набуває вигляду:

$$(\forall v \in VD) \text{Card} \{e \in E^{ad}, f_{\text{begin}}^{ad}(e) = v\} = 1, \quad (9)$$

$$(\forall v \in VD) \text{Card} \{e \in E^{ad}, f_{\text{end}}^{ad}(e) = v\} = 1, \quad (10)$$

$$s : V^{ad} \rightarrow S. \quad (11)$$

Інформація про діаграму, що відображена у файлі, у моделі складається зі структур:

– перелік вершин – назви робіт або переходів спеціального типу;

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

– перехід типу *State*;
 – умовний перехід;
 – перехід точки роз'єднання та склеювання типу *SynchronizationState* визначений унікальним номером та полем *quid*. Для точки роз'єднання характерним є список ребер роз'єднання. Список визначений полем *transitions (list transition_list)* та списком ребер із полем *object State_Transition*. Кожна вершина визначена полем *quid*, унікальним номером ребра та списком ребер початкового стану й кінцевих. Ребра початкові описані полем *supplier*, вони містять посилання на початковий стан графа та кінцеві, описані полем *client*. Усі переходи мають свої унікальні номери та подію передачі даних під час здійснення переходів;

– вершини початкового та кінцевого станів, список ребер і станів діаграми описані за допомогою службових слів;

– список виконавців *S* визначений у діаграмі як розділ *partitions (list Partitions)*. Список виконавців ініційований полем *object Partition*, має назву, унікальний номер визначений полем *quid*. Поле *class* містить дані на посилання належності до сутності діаграми прецедентів, поле *persistence* визначає тип сутності.

У цілому модель являє собою список графічних об'єктів, що записані в певному порядку.

Таким чином, у вхідній моделі запропоновано описання графоаналітичного представлення технологічного процесу залізничної станції, що виконано в середовищі IBM Rational Rose.

Внутрішня модель представлення технологічного процесу. Розглянуті діаграми станів і діяльностей визначають правила функції моделі залізничної станції. Станція являє собою сукупність автоматів, що взаємодіють між собою в дискретному часі. Частина автоматів існує весь час роботи моделі (постійні), а частину створюють і знищують у процесі роботи (тимчасові).

Постійні автомати відповідають ресурсам станції (маневрові локомотиви, колії, бригади ПТО та ін.). Тимчасовим автоматам відповідають поїзди.

Постійний автомат приймає запити від тимчасового автомата на виділення ресурсу, якщо в його розпорядженні є достатня кількість оди-

ниць ресурсів Після закінчення роботи тимчасового автомата вивільняється задіяний ресурс постійного автомата.

Тимчасовий автомат створюється в разі активації вузла або вершини «діаграму прецедентів». Алгоритм виконання наступних дій описують відповідною діаграмою станів. Після завершення робіт, що відповідають поточному стану тимчасового автомата, він змінює свій стан під час переходу в нову активну вершину.

Якщо з однієї вершини виходить декілька дуг, то перехід відбувається уздовж однієї з них. Правило, що дозволяє обрати ребро, є атрибутом вершини. Робота тимчасового автомата закінчується, і він знищується після досягнення кінцевого стану.

Задача передбачає моделювання роботи станції, коли тимчасовий автомат знаходиться в одній із вершин діаграми станів. Цій вершині поставлена у відповідність діаграма діяльностей, вершини якої описують групи робіт, причому деякі роботи можуть виконуватися паралельно.

Внутрішня модель повинна бути основою для розробки ефективних методів функціонального моделювання роботи станцій. Побудову внутрішньої моделі здійснюють автоматично на основі вхідної моделі за допомогою UML – діаграм: прецедентів, станів і діяльностей.

На підставі діаграми прецедентів формують списки виконавців *E* та шаблонів об'єктів *D*, кожний елемент яких описують наступною структурою даних:

$$e_r = \{i_e, P_e\}, \quad (12)$$

де i_e – унікальний номер виконавця; P_e – список параметрів виконавця.

Шаблон об'єкта $d_y \in D$

$$d_y = \{i_d, P_c, E_d, A\}, \quad (13)$$

де i_d – унікальний номер шаблону об'єкта; P_c – множина властивостей об'єкта зі значеннями за замовчуванням; E_d – список виконавців, необхідних для обслуговування об'єкта; A – скінченний автомат, що описує порядок виконання технологічних операцій з об'єктом.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Формування скінченного автомата, що описує порядок виконання технологічних операцій з об'єктом, здійснюють на підставі діаграми станів. Для описання автомата використовують орієнтовний параметричний граф, вершини якого відповідають станам скінченного автомата, а дуги – переходам. Для описання структури графа використовують списки інцидентності вершин. При цьому кожен стан автомата описують структурою

$$s_a = \{i_a, R, X\}, \quad (14)$$

де i_a – унікальний номер стану автомата; R – технологія обслуговування об'єкта в окремій фазі технологічного процесу; X – список переходів автомата.

Елемент списку переходів описують структурою

$$x_q = \{z, i_a, f_p\}, \quad (15)$$

де z – вхідний сигнал; f_p – функція переходу.

Технологія обслуговування об'єкта в окремих фазах технологічного процесу формується на підставі діаграми діяльності. Моделлю технології є орієнтовний граф

$$T = \{O, G\} \quad (16)$$

Вершинам графа $o_j \in O$ відповідають технологічні операції, а також точки початку та закінчення технологічного процесу, розгалуження, злиття та прийняття рішень. Зокрема, технологічні операції представляють структурами:

$$q_i = \{i_q, i_{qn}, f_s, f_d, f_e, E_q\}, \quad (17)$$

де i_q – унікальний номер вершини; i_{qn} – унікальний номер наступної вершини; f_s, f_e – функції, які виконують відповідно на початку та після закінчення операції; f_d – функція, що визначає тривалість операції; E_q – список виконавців. Кожен елемент списку виконавців визначають спеціалізацією виконавця, необхідною для початку роботи, і параметром, що вказує на порядок його звільнення. При цьому прийнято, що якщо вершина, яка пов'язана із

зазначеною, розміщується на тій же доріжці виконавця, що й одна з пов'язаних із нею вершин, то після закінчення виконання операції виконавець залишається зайнятим об'єктом, інакше виконавець звільняється.

Результати

Запропонована методика дозволить за допомогою діаграм прецедентів, станів і діяльності мови UML будувати імітаційні моделі залізничних станцій. Перевагою моделі є те, що вона являє собою ієрархічно організовану сукупність взаємодіючих скінчених автоматів, при цьому складна модель на кожному рівні ієрархії зберігає просту й доступну для огляду структуру.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає в розробці функціональної моделі залізничних станцій із застосуванням методів візуального проектування, що дозволяє зменшити витрати часу на етапі параметризації моделі.

Модель роботи залізничної станції дозволяє вирішувати завдання оперативного планування її роботи.

Висновки

У цій статті запропоновано методику формалізації описання технологічних процесів залізничних станцій на основі методів візуального програмування. Адаптовано діаграми станів і діяльності UML для представлення технології роботи залізничних станцій. Під час формалізації описання діаграми станів залізничної станції описують зміну фаз обслуговування об'єктів у процесі виконання цього технологічного процесу. Діаграма станів являє собою скінченний автомат, який моделює послідовності зміни станів об'єкта. Деталізацію поведінки об'єктів, які обслуговують на залізничних станціях, виконують за допомогою діаграм діяльності. Їх використовують для формального описання технологічних операцій з об'єктами та виконавців, що їх забезпечують.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бобровский В. И. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин. – Д. : Изд-во Маковецкий, 2010. – 156 с. doi: 10.15802/978-966-1507-24-0
2. Бобровский В. И. Функциональное моделирование работы железнодорожных станций: монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин; Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2015. – 269 с.
3. Глушков, В. М. Синтез цифровых автоматов / В. М. Глушков. – Москва: Физматлит, 1962. – 476 с.
4. Горбова, О. В. Удосконалення методів техніко-експлуатаційної оцінки роботи залізничних станцій : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Горбова Олександра Вікторівна ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2016. – 167 с.
5. Дозорцев, В. М. Динамическое моделирование в оптимальном управлении и автоматизированном обучении операторов технологических процессов. Ч. 2. Компьютерные тренажеры реального времени / В. М. Дозорцев // Приборы и системы управления. – 1996. – № 8. – С.41–50.
6. Жуковицкий, И. В. Моделирование в процессе проектирования информационных систем на железнодорожном транспорте / И. В. Жуковицкий, А. А. Косолапов // Системные технологии моделирования сложных процессов : монография / под общ. ред. проф. А. И. Михалева. – Днепр, 2016. – С. 268–286.
7. Козаченко, Д. Н. Автоматизированное формирование функциональных моделей железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 8. – С. 65–73.
8. Козаченко, Д. Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 3 (45). – С. 22–28. doi: 10.15802/stp2013/14540
9. Козаченко, Д. Н. Объектно-ориентированная модель функционирования железнодорожных станций / Д. М. Козаченко // Наука та прогрес трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 47–55.
10. Козаченко, Д. М. Программний комплекс для імітаційного моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану графіку / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Г. Коробйова // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 4 (70). – С. 18–20.
11. Леоненков, А. В., Самоучитель UML / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ–Петербург, 2002.
12. Мальков, М. В. Моделирование технологических процессов: методы и опыт / М. В. Мальков, А. Г. Олейник, А. М. Федоров // Труды КНЦ РАН, 2010. – С. 93–101.
13. Петросов, Д. А. Поэтапное моделирование технологических процессов с использованием интеллектуального структурно-параметрического синтеза / Д. А. Петросов., В. А. Игнатенко // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 12 (1). – С. 97–102. doi:10.17513/fr.41986
14. Bianco, Vieri del. A formalization of UML statecharts for real-time software modeling [Електронний ресурс] / Vieri del Bianco, L. Lavazza, M. Mauri. – Режим доступу: <https://cutt.ly/QeZxM3q> – Назва з екрана. – Перевірено : 20.11.2019.
15. Bobrovskiy, V. I. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata / V. I. Bobrovskiy, D. N. Kozachenko, R. V. Vernigora // Transport problems. – 2014. – Vol. 9. – Iss. 3. – P. 57–65.
16. Gorbova, O. V. Modeling Work of Sorting Station Using UML / O. V. Gorbova // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1 (55). – С. 129–138. doi 10.15802/STP2015/38260
17. Harel, D. Statecharts: A visual formalism for complex systems / D. Harel // Science of Computer Programming. – North-Holland, 1987. – Vol. 8. – Iss. 3. – P. 231–274. doi:10.1016/0167-6423(87)90035-9
18. Harel, D., Statecharts: A visual formalisms / Devid Harel // Communications of the ACM. – New York, 1988. – Vol. 31, Iss. 5, P. 514–530.
19. On Modelling of Hierarchical and Distributed Discrete-Event Systems / M. Silva, J.-M. Colom, J. Julvez, C. Mahulea, J. H. van Schuppen, R. Su, J. Komenda, J. Raisch, S. Geist, P. Darondeau // The DISC Project Perspective. – 2007. – p. 85.
20. Zimmermann, A. Eine Quantitative Untersuchung des European Train Control System mit UML State Machines [Електронний ресурс] / A. Zimmermann, J. Trowitzsch. – Режим доступу: <https://cutt.ly/HeZxV5r> – Назва з екрана. – Перевірено : 20.11.2019.

А. В. ГОРБОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5612-2715

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЭТАПНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель. Для представления технологического процесса с использованием методологии поэтапного моделирования необходимо применять специализированное программное обеспечение. Формализация технологического процесса является одной из основных задач на этапе проектирования или оптимизации работы железнодорожной станции. В статье предусмотрено разработать методику формализации технологических процессов на основе метода поэтапного моделирования. **Методика.** С помощью методики поэтапного проектирования выполнено построение входной, внутренней и исходной модели проектирования работы железнодорожной станции. Входная модель образована диаграммами прецедентов, состояний и деятельностей, построенных с помощью инструментов программного комплекса IBM Rational Rose. Эта модель обеспечивает возможность графоаналитического представления технологических процессов железнодорожной станции с его визуальным контролем, который позволяет избежать трудоемкого ручного кодирования и исключить появление ошибок. Приведенные диаграммы описывают технологический процесс железнодорожной станции на базе иерархических диаграмм последовательности работ различной степени детализации. А исходная и внутренняя модели построены с помощью унифицированного языка моделирования UML. В качестве методов исследования использованы методы объектно-ориентированного проектирования, конечных автоматов и системного программирования. **Результаты.** Предложенная методика позволяет с помощью диаграмм Харела строить имитационные модели железнодорожных станций. Эти модели представляют собой иерархически организованную совокупность взаимодействующих конечных автоматов, при этом сложная модель на каждом уровне иерархии сохраняет простую и доступную для осмотра структуру. Сигналы о начале и окончании работ, которые генерируют при переходе между состояниями, позволяют синхронизировать работу модели, а использование действий при описании состояний и сигналов (расширение, предоставляемое на языке UML) позволяет использовать внешние алгоритмы там, где обычный/автоматный формализм становится неудобным. Методология, реализованная средствами языка UML, позволяет существенно облегчить представление и восприятие модели станции. **Научная новизна.** Усовершенствована методика представления функциональной модели железнодорожных станций с применением методов визуального проектирования. **Практическая значимость.** Предложенная методика предназначена для графоаналитического представления технологического процесса работы железнодорожной станции с использованием методологии поэтапного моделирования. При моделировании на базе графической входной модели выполнено построение внутренней и исходящей моделей, а также представление методов их преобразований.

Ключевые слова: технологический процесс; диаграмма состояний; диаграмма действий; диаграмма прецедентов; язык UML; железнодорожная станция; модель работы станции

А. V. GORBOVA^{1*}

^{1*}Dep. «Computer Information Technologies», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5612-2715

FORMALIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESSES AT RAILWAY STATIONS BASED ON THE STEP-BY-STEP MODELING

Purpose. Specialized software must be used to represent the technological process using step-by-step modeling methodology. Formalizing the technological process is one of the main tasks in the design or optimization phase of a railway station. The article proposes to develop a methodology of formalizing the technological processes based

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

on the step-by-step modeling. **Methodology.** Using the methodology of stage-by-stage design, the input, internal and initial model of the railway station's operation were constructed. The input model of the proposed method is formed by the use case diagram, the statechart and activities diagrams, which are constructed using the tools of the IBM Rational Rose software. This model provides a graphoanalytic representation of the technological processes of a railway station with its visual control, which avoids time-consuming manual coding and eliminates errors. The diagrams below describe the technological process of a railway station based on hierarchical diagrams of the sequence of works of different detail degrees. Both initial and internal models are constructed using a unified UML modeling language. The methods of object-oriented design, finite state machines and system programming are used as research methods. **Findings.** The proposed methodology will make it possible to construct simulation models of railway stations using Harel statecharts. These models represent a hierarchically organized set of interacting finite state machines, while the complex model at each level of the hierarchy retains a simple and accessible structure. The start and finish signals generated by the state transition allow the model to be synchronized, and the use of state and signal description actions (UML extension) makes it possible to use external algorithms where the usual/automatic formalism becomes inconvenient. And the methodology implemented by means of the UML language, significantly facilitates the presentation and perception of the station model. **Originality.** The methodology of presenting a functional model of railway stations with the use of visual design methods has been improved. **Practical value.** The proposed method is intended for semigraphical representation of technological process of railway station operation, using the methodology of step-by-step modeling. Modeling on the basis of a graphical input model constructs internal and output models, as well as presents the methods for their transformations.

Keywords: technological process; statechart; activity diagram; use case diagram; UML language; railway station; railway station operation model

REFERENCES

1. Bobrovskiy, V. I., Kozachenko, D. N., Vernigora, R. V., & Malashkin, V. V. (2015). *Functional modeling of the work of railway stations. Monografiya*. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. (in Russian)
2. Bobrovskiy, V. I., Kozachenko, D. N., Vernigora, R. V., & Malashkin, V. V. (2010). *Models and Methods of Automatization Railway Station Engineering*. Dnipropetrovsk: Makovetskiy. doi: 10.15802/978-966-1507-24-0 (in Russian)
3. Glushkov, V. M. (1962). *Sintez tsifrovyykh avtomatov*. Moscow: Fizmatlit. (in Russian)
4. Gorbova, O. V. (2016). *Udoskonalnya metodiv tekhniko-eksploatatsiyno otsinki robots zaliznychnykh stantsiy*. (Dysertatsiia kandydata tekhnichnykh nauk). Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro. (in Ukrainian)
5. Dozortsev, V. M. (1996). *Dinamicheskoe modelirovaniye v optimalnom upravlenii i avtomatizirovannom obuchenii operatorov tekhnologicheskikh protsessov. Vol. 2. Kompyuternye trenazhery realnogo vremeni. Pribory i sistemy upravleniya*. (in Russian)
6. Zhukovitsky, I. V. & Kosolapov A. A. Modelirovaniye v protsesse proektirovaniya informatsionnykh sistem na zheleznodorozhnom transporte. In A. I. Mikhaleva (Ed.). *Sistemnye tekhnologii modelirovaniya slozhnykh protsessov: Monografiya*. Dnipro. (in Russian)
7. Kozachenko, D. N., Vernigora, R. V. & Malashkin, V. V. (2014). Avtomatizirovannoe formirovaniye funktsionalnykh modeley zheleznodorozhnykh stantsiy. *Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan «Transport System and Transportation Technologies»*, 8, 65-73. (in Russian)
8. Kozachenko, D. N. (2013). Mathematical model for estimating of technical and technological indicators of railway stations operation. *Science and transport progress*, 3(45), 22–28. doi: 10.15802/stp2013/14540 (in Russian)
9. Kozachenko D. N. (2014). The object-oriented model of the functioning of railway stations. *Science and Transport Progress*, 4(46), 47-55. (in Russian)
10. Kozachenko, D. M., Vernigora, R. V., & Korobyova, R. G. (2008). Programnyy kompleks dlja imitacijnogho modeljuvannja roboty zaliznychnykh stancij na osnovi dobovogho planu ghrafiku. *Zaliznychnyj transport Ukrainy*, 4(70), 18-20. (in Russian)
11. Leonenkov, A. V. (2002). *Samouchitel UML*. St. Petersburg: BHV-Petersburg. (in Russian)
12. Malkov, M. V, Oleynik, A. G., & Fedorov, A. M. (2010). Modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov: metody i opyt. *Trudy KNTs RAN*, 93-101. (in Russian)

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

13. Petrosov, D. A., & Ignatenko, V. A. (2017). Step-by-modeling of technological processes with use of intelligent structural-parametric synthesis. *Fundamentalnye issledovaniya*, 12(1), 97-102. doi:10.17513/fr.41986 (in Russian)
14. Bianco, Vieri del, Lavazza, L., Mauri, M. *A formalization of uml statecharts for real-time software modeling*. <https://cutt.ly/HeZxV5r> (in English)
15. Bobrovskiy, V. I., Kozachenko, D. N., & Vernigora, R. V. (2014). Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata. *Transport problems* 9(3), 57-65. (in English)
16. Gorbova, O. V. (2015). Modeling work of sorting station using uml. *Science and Transport Progress*, 1(55), 129-138. doi:10.15802/stp2015/38260 (in English)
17. Harel, D. (1987). Statecharts: a visual formalism for complex systems. *Science of Computer Programming*, 8(3), 231–274. doi:10.1016/0167-6423(87)90035-9 (in English)
18. Harel, D. (1988). Statecharts: A visual formalisms. *Communications of the ACM*, 31(5), 514-530.
19. Silva, M., Colom, J.-M., Julvez, J., Mahulea, C., Schuppen, J. H. van, Su, R. ... Darondeau, P. (2007). *On Modeling of Hierarchical and Distributed Discrete-Event Systems*. The DISC Project Perspective. (in English)
20. Zimmermann, A., & Trowitzsch, J. Eine Quantitative Untersuchung des European Train Control System mit UML State Machines. Retrieved from <https://cutt.ly/HeZxV5r> (in German)

Надійшла до редколегії: 27.05.2019

Прийнята до друку: 24.09.2019