

УДК 656.21.071

А. В. ГОРБОВА^{1*}

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПАРКА ПРИБЫТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

Цель. Имитационное моделирование работы станции является одним из основных методов изучения ее работы, позволяющее получить качественные и количественные показатели станции и оценить эффективность ее функционирования. Возникшая задача повлекла исследование и разработку метода моделирования парка прибытия железнодорожных станций с помощью конечных автоматов разных типов, что и является целью данной статьи. **Методика.** Для описания работы станции в статье применяется расширенный вариант диаграмм Харела, предназначенных для описания конечного автомата. В качестве методов исследования используются методы объектно-ориентированного проектирования, конечных автоматов и теории систем массового обслуживания. Графическое представление технологического процесса реализовано с помощью унифицированного языка моделирования UML. Представление технологического процесса железнодорожной станции реализовано в виде диаграмм состояний и действий программного комплекса IBM Rational Rose. Диаграммы описывают иерархическую организацию конечных автоматов, а также последовательности работ различной степени детализации. **Результаты.** Предложенная методика позволит с помощью диаграмм Харела строить имитационные модели железнодорожных станций. Ценность предложенного метода состоит в том, что модель представляет собой иерархически организованную совокупность взаимодействующих конечных автоматов, при этом сложная модель на каждом уровне иерархии сохраняет простую и обозримую 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 языком UML) позволяет использовать внешние алгоритмы там, где конечно-автоматный формализм становится неудобен. В качестве примеров приведены конечные автоматы, моделирующие работу приёмо-отправочного парка железнодорожной станции. Описанная методология реализована средствами языка UML, что существенно облегчает представление и восприятие модели станции. **Научная новизна.** Впервые предложено применение иерархических конечных автоматов к моделированию работы станции. Иерархическое представление позволяет моделировать работу станции методом перехода от общего к частному, избежав ошибок при моделировании и получив более достоверные эксплуатационные показатели работы станции. **Практическая значимость.** Модель железнодорожной станции предназначена для решения задач оперативного планирования и оптимизации работы станции. Кроме этого, предложенный метод позволит упростить графическое представление станции при моделировании технологических процессов.

Ключевые слова: технологический процесс; конечный автомат; диаграмма состояний; диаграмма Харела; язык UML

Вступление

Железнодорожная станция представляет собой многоканальную эргатическую систему массового обслуживания со сложной структурой. Данная система состоит из подсистем, которые взаимодействуют между собой в процессе функционирования. Основной целью оптимизации работы станции является увеличение перерабатывающей способности при уменьшении внутрипроизводственных затрат. В этой связи важно иметь имитационную модель работы станции для моделирования станционных технологических процессов.

Имитационная модель станций позволит получить качественные показатели их работы, а

также оценить эффективность разнообразных мероприятий по изменению конструкции, технического оснащения или технологии. Для построения модели применяется:

- моделирование работы с помощью конечного автомата;
- моделирование с помощью математических пакетов;
- моделирование с помощью унифицированного языка моделирования.

Язык UML не является вполне формализованным в том смысле, что работа описанного с его помощью автомата не определена однозначно, и нужно ввести дополнительные соглашения о среде исполнения и моделирования временных зависимостей.

В работе [17] рассмотрен способ моделирования операций с опорой на дополнительные спецификации UML [15]. Одним из возможных способов формализации являются диаграммы состояний UML вместе с правилами их перевода в исполняемые автоматы на основе сетей Петри, предложенный в работе [16]. В настоящей работе рассматривается альтернативный подход к решению этой задачи, основанный на описании среды функционирования автомата и протокола обмена сигналами.

Каждый из предложенных подходов нашел свое отражение в работах современных ученых и может быть применен для построения эффективной модели. Представление технологического процесса в виде имитационной системы рассматривалось в [1, 7, 8]. В приведенных работах показаны методы автоматического представления технологического процесса станции, предложены методы построения ее основных элементов и моделирование ее работы. Эти работы ценны тем, что предлагают одну возможные подходы к автоматическому построению модели технологического процесса железнодорожной станции.

В работе [2] предложен другой подход функционального представления работы станции на основании унифицированного языка моделирования UML. Предложенный подход позволяет моделировать работу станции как системы в виде простых диаграмм, причем каждая из них имеет простую для понимания структуру, не является громоздкой и требует сравнительно небольших временных затрат на моделирование. Но при описанном способе исследования пользователь получает качественную модель работы станции, но не получает количественных характеристик ее работы.

Кроме описанных подходов моделирования, одним из простых методов представления технологических процессов является представление функциональной работы станции методом конечных автоматов [4]. При правильном построении конечного автомата, моделирование работы станции в специализированных средах дает возможность получения не только функциональной модели, но и расчета количественных характеристик работы станции.

Цель

Целью статьи является моделирование парка прибытия железнодорожных станций с помощью конечных автоматов разных типов, организованных в иерархические структуры.

Методика

Рассмотрим возможность применения диаграмм состояния языка UML для описания работы станции. Диаграмма состояний представляет собой расширенный вариант диаграмм Харела [11, 14], предназначенных для описания конечного автомата. При этом используют обычное представление конечного автомата в виде графа с вершинами-состояниями и ребрами-переходами. Эти диаграммы отличаются, кроме того, наличием средств, позволяющих описать иерархические отношения (подсостояния), параллельность работ, синхронизацию. С каждым переходом также можно связать действие, позволяющее расширить изобразительные возможности модели за счет обращения к произвольным программам, которые не ограничены конечно-автоматным формализмом. Так, например, с любым состоянием автомата могут быть связаны метки классов `entry`, `exit`, `do` со ссылками на программы, выполняемые при входе в состояние, выходе из него и в течение времени, когда автомат пребывает в рассматриваемом состоянии. Метка перехода содержит:

- 1) имя события со списком параметра;
- 2) сторожевые условия (переход выполняется лишь в том случае, когда это условие выполнено);
- 3) действия (обращение к внешней программе, которая выполняется, когда происходит переход).

Применение диаграммы состояний языка UML делает возможным конечно-автоматное описание сложной системы в виде иерархически организованной совокупности конечных автоматов, причем на каждом уровне иерархии модель остается простой и обозримой, а обращение к внешним программам позволит избежать необходимости применения конечных автоматов в тех случаях, когда это становится неудобным.

На верхнем уровне модель станции представляет собой совокупность состояний, которые не связаны друг с другом. Каждое из этих состояний представляет собой некоторые подавтоматы, и работа подавтоматов происходит параллельно. Эти состояния соответствуют единицам технологических ресурсов (путь, маневровый локомотив, фронты разгрузки, бригада ПТО и проч.), а также таким объектам, как диспетчер (его основная функция – назначить исполнителя) и генератор входящего потока. Работу последних двух объектов целесообразно описывать с помощью внешних алгоритмов, а в конечно-автоматной модели они представлены

как автомат с единственным состоянием, находясь в котором, они генерирует сигналы, управляющие работой станции. Взаимодействия конечных автоматов друг с другом происходит посредством сигналов, которые генерируются в процессе работы автоматов. В качестве краткой иллюстрации опишем следующую последовательность переходов. Генератор заявок подает сигнал «Прибыл поезд (номер поезда)». Этот сигнал воспринимает диспетчер, который выдает сигнал «Принять поезд (номер поезда, путь)». При этом он выполняет некоторые алгоритмы для того, чтобы определить номер пути, на который следует принять поезд, а этот сигнал воспринимает автомат, представляющий соответствующий путь, последовательность состояний которого соответствует технологическому процессу обработки поезда. Таким образом, мы приходим к тому, что автоматы должны реагировать на следующие сигналы:

1) «Выполнить (работа, объект)» — этот сигнал воспринимает диспетчер, обрабатывает его и назначает исполнителя, генерируя сигнал,

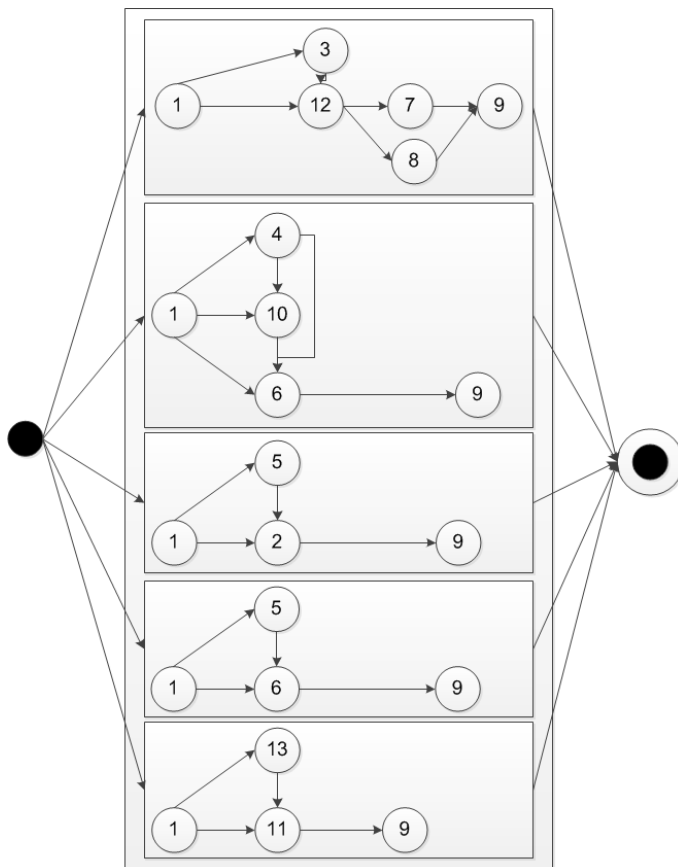
описанный в следующем пункте;

2) «Выполнить (работа, объект, исполнитель)» — исполнитель представляет собой конечный автомат, соответствующей некоторой единице технологического ресурса;

3) «Завершена (работа, объект)» — синхронизирующий сигнал, оповещающий о завершении работы;

4) специальный сигнал τ для измерения интервала времени.

Рассмотрим общие принципы описания работы технологического ресурса. При этом в качестве примера будем использовать маневровый локомотив, закрепленный за парком прибытия. Как правило, технологический ресурс, будучи задействован, участвует в операциях, следующих друг за другом, как это предписывает технологический процесс работы станции. Эти операции нетрудно представить в виде графа некоторого конечного автомата. На рис. 1 показаны графы для маневрового локомотива, выполняющего работы по транспортировке групп вагонов на фронтах разгрузки.



СОСТОЯНИЯ

1. Прибытие маневрового локомотива
2. Постановка группы вагонов под выгрузку на ВО-1.
3. Постановка группы вагонов на путь зернового парка.
4. Постановка группы вагонов на путь угольного парка
5. Постановка группы вагонов на путь рудного парка
6. Постановка группы вагонов под выгрузку на ВО-2.
7. Постановка группы вагонов под выгрузку на СРВ-1.
8. Постановка группы вагонов под выгрузку на СРВ-2.
9. Постановка порожних вагонов на пути приёмно-отправочного парка
10. Постановка группы вагонов под размораживание
11. Постановка группы вагонов под выгрузку контейнеров.
12. Выполнение лабораторного анализа
13. Постановка группы вагонов на путь

Рис. 1. Граф работ маневрового локомотива на станции

Рассмотрим, как в рамках конечного автоматного формализма представить информацию

о длительности выполнения технологической операции, точнее пусть нужно изобразить пе-

реход из состояния A , где объекты выполняют операции продолжительностью t в некоторое состояние B . Что считать сигналом, вызывающим этот переход и где хранить информацию о времени перехода. В работе предлагается считать что все сигналы являются внешними по отношению к состоянию для отслеживания времени и служат последовательностью однородных сигналов τ , которые соответствуют равномерно отстающим друг от друга моментов времени. Для отслеживания времени выполнения маневровых работ может применяться два подхода:

- 1) обработка состояний конечного автомата в каждый момент обработки событий τ ;
- 2) обработка событий автомата со сложной структурой.

Каждый из предложенных подходов подразумевает построение конечного автомата со своими правилами переходов между состояниями.

В случае построения конечного автомата первым методом, обработка состояний выполняется в каждый момент событий τ . При этом необходимо хранить массив времени изменения состояний конечного автомата, сигнал генерируется в момент τ и выполняется проверка перехода в следующее состояние конечного автомата. Работа автомата продолжается до тех пор пока в определённый момент времени τ не состояние конечного автомата будет последнее («Поезд отправлен»).

Второй подход генерируется так же на основе конечного автомата, но для такого подхода важным есть построение автомата от общих к детальным, а так же управление автоматов осуществляется через внешние сигналы и переходы сопровождаются количественными данными из одного состояния в другое. На рис. 2 показан конечный автомат, построенный средствами языка UML для разгрузки вагонов с разными грузами.

Модель представляет собой совокупность иерархических автоматов, каждый автомат соответствует единице технологического ресурса станции (путь, маневровый локомотив, сортировочная горка), рис. 3. Отдельные элементы (конечный автомат) моделируют деятельность диспетчера, стратегии действия этих элементов описывает множество параметров, которые в дальнейшем можно рассматривать, как переменные оптимизационной задачи в первом приближении описать деятельность диспетчера максимально простой стратегии. Вагоны, находящиеся в процессе обработки – параметры состояния.

Результаты

Предложена методика построения иерархических конечно-автоматных моделей железнодорожных станций с помощью диаграмм Харе-ла.

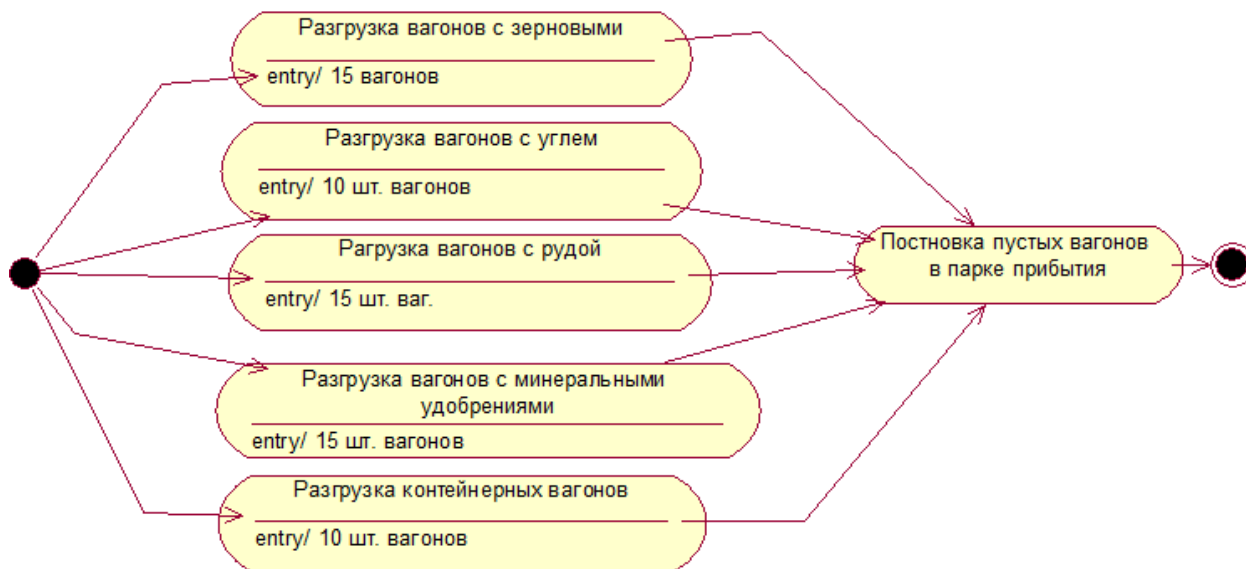


Рис. 2. Конечный автомат разгрузки вагонов с разными типами грузов, построенный средствами языка UML

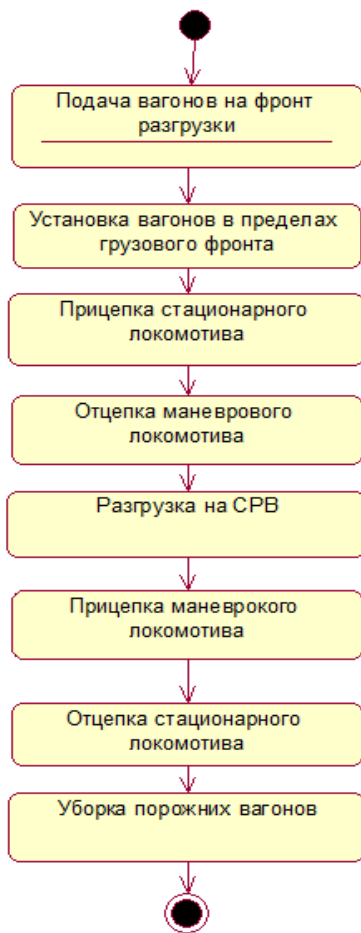


Рис. 3. Модель технологического процесса разгрузки вагонов как совокупность конечных автоматов

Научная новизна и практическая значимость

Предложен усовершенствованный метод функционального моделирования железнодорожных станций на основе применения иерархических конечных автоматов.

Функциональная модель железнодорожной станции может быть использована для анализа изменения конструкции, технического оснащения и технологии ее работы, а также для оценки соответствия технического оснащения существующим и перспективным объемам работы.

Выводы

В статье предложен метод моделирования работы станции. Этот метод позволяет с помощью диаграмм Харела строить модели железнодорожных станций. Ценность предложенного метода состоит в том, что модель представляет собой иерархически организованную совокупность взаимодействующих конечных автоматов, при этом сложная модель на каждом уровне иерархии сохраняет простую и обзори-

мую 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 языком UML) позволяет использовать внешние алгоритмы там, где конечно-автоматный формализм становится неудобен. В качестве примеров приведены конечные автоматы, моделирующие работу приёмно-отправочного парка железнодорожной станции. Описанная методология реализована средствами языка UML, что существенно облегчает представление и восприятие модели станции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобровский, В. И. Функциональное моделирование работы железнодорожных станций : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин. – Днепропетровск, 2015. – 269 с.
2. Бобровский, В. И. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций : монография / В.И. Бобровский, Д. Н.Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин. – Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2010. – 156 с.
3. Горбова, О. В. Удосконалення методів техніко-експлуатаційної оцінки роботи залізничних станцій : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Горбова Олександра Вікторівна. – Днепро : ДНУЗТ, 2016. – 167 с.
4. Глушков, В. М. Синтез цифровых автоматов / В. М. Глушков. – Москва : Физматлит, 1962. – 476 с.
5. Леоненков, А. В. Самоучитель UML / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2002. – 304 с.
6. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика Статистический контроль качества. / Р. Шторм. – Москва : Мир, 1970. – 370 с.
7. Козаченко, Д. Н. Объектно-ориентированная модель функционирования железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 4 (46). – С. 47-55. – doi: 10.15802/stp2013/16570.
8. Козаченко, Д. Н. Автоматизированное формирование функциональных моделей железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин // Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – Вип. 8. – С. 65-73. – doi : 10.15802/tstt2014/38089.
9. Козаченко, Д. М. Програмний комплекс для імітаційного моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану графіку / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Г. Коробйова // Заліз. трансп. України. – 2008. – № 4 (70). – С. 18–20.
10. Мірошніченко, В. М. Інформаційна технологія імітаційного моделювання систем залізнично-

го транспорту в середовищі Anylogic / В. М. Мірошніченко, С. В. Недзельський // Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті : Зб. матеріалів міжнадр. наук.-практ. конференції. – Київ : ДЕТУТ, 2014.

11. Рахмангулов, А.Н. Особенности построения имитационной модели технологии работы железнодорожной станции в системе ANYLOGIC : [Електронний ресурс] / А. Н. Рахмангулов, П. Н. Мишкоров // Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education. – 2012. – Режим доступу: <http://www.sworld.com.ua/index.php/en/transportation-412/rail-412/15131-412-0744>. – Перевірено 25.05.2017.

12. Gorbova, O. V. Modeling Work of Sorting Station Using UML / O. V. Gorbova // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – Вип. 1 (55). – С. 129-138. – doi : 10.15802/stp2015/38260

13. Harel, D. Statecharts: A visual formalism for complex systems / Devid Harel // Science of Computer Programming. – North-Holland, 1987. – P. 231-274.

14. Harel, D., Statecharts: A visual formalisms // Devid Harel – Communications of the ACM, 1988. –

Vol. 31, – Number 5. – P. 514-530.

15. Manuel Silva. On Modelling of Hierarchical and Distributed Discrete-Event Systems / Manuel Silva, José Manuel Colom, Jorgé Julvez, Cristian Mahulea, Jan H. van Schuppen, Rong Su, Jan Komenda, Jörg Raisch⁸, Stephanie Geist, Philippe Darondeau // The DISC Project Perspective, 2007. – P. 85.

16. Armin Zimmermann. Eine Quantitative Untersuchung des European Train Control System mit UML State Machines / Armin Zimmermann, Jan Trowitzsch // Entwurf komplexer Automatisierungssysteme, Mai 2006, Braunschweig

17. Vieri Del Bianco, A formalization of uml statecharts for real-time software modeling [Текст] / Vieri Del Bianco, Luigi Lavazza, Marco Mauri // Society for Design and Process Science, Printed in the United States of America, June, 2002.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Лаврухиным О.В (Украина)

Поступила в редколлегию 10.04.2017.

Принята к печати 12.04.2017.

О. В. ГОРБОВА

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПАРКУ ПРИБУТТЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Мета. Імітаційне моделювання роботи станції є одним з основних методів вивчення її роботи, що дозволяє отримати якісні і кількісні показники станції і оцінити ефективність її функціонування. Виникла задача спричинила дослідження і розробку методу моделювання парку прибуття залізничних станцій за допомогою кінцевих автоматів різних типів, що і є метою даної статті. **Методика.** Для опису роботи станції в статті застосовується розширений варіант діаграм Харела, призначених для опису скінченного автомата. В якості методів дослідження використовуються методи об'єктно-орієнтованого проектування, скінчених автоматів і теорії систем масового обслуговування. Графічне представлення технологічного процесу реалізовано за допомогою уніфікованої мови моделювання UML. Представлення технологічного процесу залізничної станції реалізовано у вигляді діаграм станів і дій програмного комплексу IBM Rational Rose. Діаграми описують ієрархічну організацію скінчених автоматів, а також послідовності робіт різного ступеня деталізації. **Результати.** Запропонована методика дозволить за допомогою діаграм Харела будувати імітаційні моделі залізничних станцій. Цінність запропонованого методу полягає в тому, що модель являє собою ієрархічно організовану сукупність взаємодіючих скінчених автоматів, при цьому складна модель на кожному рівні ієрархії зберігає просту і доступну для огляду структуру. Сигнали про початок і закінчення робіт, які генерують при переході між станами, дозволяють синхронізувати роботу моделі, а використання дій при описі станів і сигналів (розширення, що надається мовою UML) дозволяє використовувати зовнішні алгоритми там, де звичайно-автоматний формалізм стає незручний. Як приклад наведено скінченні автомати, що моделюють роботу приймально-відправних парку залізничної станції. А методологія що реалізована засобами мови UML дозволяє істотно полегшити уявлення і сприйняття моделі станції. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано застосування ієрархічних скінчених автоматів до моделювання роботи станції. Ієрархічне представлення дозволяє моделювати роботу станції методом переходу від загального до детального, уникаючи помилок при моделюванні і отримавши більш достовірні експлуатаційні показники роботи станції. **Практична значимість.** Модель залізничної станції призначена для вирішення завдань оперативного планування і оптимізації роботи станції. Крім цього, запропонований метод дозволить зменшити витрати часу для графічного представлення станції при моделюванні технологічних процесів.

Ключові слова: технологічний процес; кінцевий автомат; діаграма станів; діаграма Харела; мова UML.

MODELING WORK WITH PARK OF ARRIVAL TRAIN STATION

Purpose. Simulation modeling of the station is one of the main methods of studying its work, which allows to obtain qualitative and quantitative indicators of the station and to assess the effectiveness of its operation. This task entailed researching and developing a method for modeling the arrival park of railway stations using finite state machines of various types, which is the purpose of this article. **Method.** To describe the work of the station, an extended version of the Harel diagrams used to describe a finite automaton is used in the article. As research methods, methods of object-oriented design, finite automata, and the theory of mass service systems are used. The graphical representation of the technological process is realized with the help of a unified UML modeling language. Representation of the technological process of the railway station is realized in the form of diagrams of states and actions of the software complex IBM Rational Rose. Chart describes the hierarchical organization of finite automata, as well as the sequence of works of varying degrees of detail. **Results.** The proposed technique will allow using the Harel diagrams to build simulation models of railway stations. The value of the proposed method consists in the fact that the model represents a hierarchically organized set of interacting finite automata, with this complex model at each level of the hierarchy retains a simple and accessible for review structure. The signals about the start and end of work that are generated in the transition between the states allow synchronizing the work of the model, and the use of actions in the description of states and signals (the extension provided in the language UML) allows the use of external algorithms where the usual automatic formality becomes uncomfortable. As an example, finite automata that simulate the work of the receiving and sending park of the railway station are shown. A methodology implemented by means of the language UML allows significantly simplify the representation and perception of the model station. **Scientific novelty.** As a result of the study was first proposed use of hierarchical finite automata to modeling work station. A hierarchical representation allows you to simulate the work of the station by the method of transition from general to detailed, avoiding errors in modeling and obtaining more reliable operational performance of the station. **The practical significance.** Model of the railway station allows to solve problems of operational planning and optimization of the station. In addition, the proposed method will reduce the time expenditures for the graphical representation of the station during the simulation of technological processes.

Keywords: technological process; finite state machine; state diagram; Harel's diagram; language UML.