

УДК 656.212

Д. Н. КОЗАЧЕНКО^{1*}

^{1*} Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 371 51 09, эл. почта kozachenko@upr.diit.edu.ua

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Цель. Целью статьи является совершенствование функциональной модели железнодорожных станций, направленное на сокращение затрат времени на формализацию технологических процессов их работы за счет использования типовых элементов технологии. **Методика.** В качестве основных элементов функционирования железнодорожной станции рассматриваются технологические операции, исполнители и объекты технологии. В ходе исследования использовались методы теории массового обслуживания, имитационного моделирования, конечных автоматов и объектно-ориентированного анализа. **Результаты.** В результате исследования разработаны формальные структуры данных, которые позволяют моделировать функционирование железнодорожной станции с любой степенью детализации. В соответствии с принципами объектно-ориентированного подхода в разработанной модели отдельные элементы станционной технологии представляются совместно с описанием их поведения. Предложенная модель реализована в виде программного комплекса. **Научная новизна.** За счет применения объектно-ориентированного подхода при организации данных усовершенствована модель функционирования железнодорожных станций, что позволяет создавать библиотеки элементарных технологических процессов и сократить затраты времени на формализацию технологии работы станций. **Практическая значимость.** Использование программного комплекса, разработанного на базе предложенной модели, позволяет сократить затраты времени технологов на получение технико-эксплуатационной оценки проектируемых и существующих железнодорожных станций.

Ключевые слова: железнодорожная станция; технологический процесс; план-график работы; математическая модель; объектно-ориентированный подход

Введение

Эффективным средством анализа и оценки показателей функционирования железнодорожных станций, их технико-технологических и экономических параметров является имитационное моделирование станционных процессов. Использование имитационных моделей при выполнении проектных работ, а также при оперативном управлении на станциях позволяет принимать наиболее рациональные решения, направленные на сокращение собственных расходов станций и увеличение прибыли от перевозок.

Исследования по проблемам создания имитационных моделей железнодорожных станций для анализа и оптимизации их работы были начаты в 60-х годах прошлого века с появлением серийных ЭВМ [6, 12]. В указанных работах для изучения загрузки технических устройств станций предлагалось использовать статистическое моделирование технологических процессов. При этом для учета неравномерности

моделируется случайный входящий поток поездов, а продолжительность обслуживания поезда на станции моделируется как случайная величина с заданным законом распределения. По результатам моделирования определяются «узкие» места на станции, задержки и простои поездов.

Появление ЭВМ более высокой производительности создало возможности для разработки имитационных моделей, позволяющих детально моделировать сложные технологические процессы, происходящие на сортировочных станциях и в железнодорожных узлах [7, 11]. Недостатком таких моделей являлось то, что они представляли программное описание функционирования конкретной станции и для их создания необходимы были как технологи, так и программисты.

Преодоление данной проблемы достигается путем отделения формального представления технологии работы станции от универсального моделирующего модуля. Такой подход позво-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ляет использовать различные специализированные редакторы для автоматизированного построения технологических процессов работы станций. Для формализации технологических процессов применяются сети Петри [13–15], сетевые графики [1], конечные автоматы [2, 3, 8, 9] и др.

Опыт практического использования модели, предложенной в [3], показал ее высокую эффективность при моделировании функционирования технических станций. Преимуществами данной модели является возможность проведения имитационных экспериментов как в автоматическом, так и в автоматизированном режиме с участием человека. Это позволило построить на ее основе широкий круг приложений [5, 8].

В то же время были выявлены и недостатки модели [3], связанные со значительными затратами времени на описание технологии работы станций, особенно грузовых и промышленных. В отличие от условий работы технических станций, где обрабатывается большое количество однотипных объектов, для грузовых и промышленных станций характерна обработка небольшого количества объектов, но со сложной и уникальной технологией. Решением данной проблемы может быть разработка методов, позволяющих формализовывать технологию работы станции с использованием библиотеки типовых элементов.

Цель

Целью статьи является совершенствование функциональной модели железнодорожной станции, направленное на сокращение трудозатрат на формализацию технологических процессов их работы за счет использования типовых элементов технологии.

Методика

Решение поставленной задачи совершенствования модели функционирования железнодорожной станции выполнялось с применением методов имитационного моделирования, конечных автоматов и объектно-ориентированного анализа.

В качестве базовой в исследовании использовалась модель, представленная в [3]. В данной модели станция или ее отдельный техно-

логический комплекс рассматривается как управляемая многофазная многоканальная система массового обслуживания. При этом входящий поток образуют объекты, требующие обслуживания на станции (поезда, составы, локомотивы). Фазами обслуживания являются отдельные технологические операции (закрепление состава, технический осмотр и др.), которые выполняются в определенной последовательности в соответствии с технологическим процессом. Продолжительности операций технологического процесса могут принимать постоянные значения или моделируются как случайные величины, параметры которых зависят от характеристик объекта. Как обслуживающие устройства рассматриваются исполнители технологических операций (маневровые локомотивы, сортировочные горки, бригады ПТО и др.).

Основными элементами технологического процесса на станции являются технологические операции Q , исполнители E и объекты технологии O .

Для возможности создания библиотеки типовых элементов станционной технологии необходимо разработать структуры данных для формального представления функционирования отдельных объектов станций независимо от работы других элементов станций.

Функционирование станции связано с выполнением технологических операций с грузами, вагонами, локомотивами, поездами и др., предусмотренных ее технологическим процессом. В разработанной модели каждая технологическая операция представляется структурой

$$q_i = \{I_w, U_q, F_q, t_q, s_q\}, i = 1, 2, \dots, n_{qj},$$

где I_w – идентификатор шаблона технологической операции; U_q – список исполнителей, занятых выполнением операции; F_q – список условий окончания технологической операции; t_q – момент окончания выполнения технологической операции; s_q – состояние выполнения технологической операции; n_{qj} – общее количество операций, выполняемых с j -м объектом.

Параметр s_q представляет собой переменную, которая характеризует текущее состояние операции q_i для объекта O_j . При этом

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$s_q = 0$, если операция q_i может быть начата с объектом O_j и ожидает освобождения исполнителей необходимой специализации; $s_q = 1$, если операция q_i выполняется; $s_q = 2$, если выполнено условие продолжительности операции и она находится в состоянии выполнения условий ее завершения.

Шаблоны технологических операций w_k содержат информацию, которая необходима для параметризации отдельных операций q

$$w_k = \{I_w, f_t, \mathbf{f}_w, s_w, z_w, \mathbf{p}_w\}, j = 1, 2, \dots, n_w,$$

где f_t – функция, которая определяет продолжительность выполнения технологической операции; \mathbf{f}_w – функции, выполняемые в момент разрешения начала выполнения операции, после ее начала, перед завершением и после завершения; s_w – сигнал, посылаемый в конечный автомат, описывающий технологический процесс обработки объекта при завершении операции; z_w – тип значка, соответствующего технологической операции; \mathbf{p}_w – список исполнителей, необходимых для выполнения технологической операции; n_w – общее количество шаблонов технологических операций.

Порядок выполнения технологической операции отдельным исполнителем p_w из списка \mathbf{p}_w описывается как

$$p_w = \{\gamma, f_p, z_p, z_d, z_n\},$$

где γ – специализация исполнителя; f_p – параметр, указывающий на порядок освобождения исполнителя после окончания технологической операции; z_p, z_d, z_n – параметры, указывающие на необходимость графического вывода значка работы на плане-графике станции [10] при использовании исполнителя, а также значков ожидания технологической операции перед и после ее выполнения соответственно.

Выполнение технологических операций на станции обеспечивают исполнители. Принято, что каждую технологическую операцию должны выполнять исполнители строго определенной специализации (например, закрепление состава выполняет сигналист, осмотр вагонов –

бригада ПТО, роспуск состава – маневровый локомотив и сортировочная горка и т. д.). В то же время исполнитель определенной специализации может выполнять несколько различных операций (например, сигналист выполняет закрепление состава и уборку тормозных башмаков). Для упрощения модели станции пути и стрелочные зоны также могут рассматриваться как исполнители.

Каждый исполнитель, который работает на станции, в модели технологического процесса может представляться структурой

$$E_r = \{I_e, \gamma, g_e\}, r = 1, 2, \dots, n_e,$$

где I_e – идентификатор исполнителя; g_e – показатель активности исполнителя; n_e – общее число исполнителей на станции.

Исполнители имеют специализацию γ , определяющую работы, которые они могут выполнять. Если на станции есть несколько исполнителей одной специализации, то для выполнения работы может использоваться любой из свободных исполнителей данной специализации.

Использование исполнителей для выполнения работ на станции моделируется с помощью динамически изменяемых списков \mathbf{U} . Исполнитель E_r считается занятым, если в текущий момент времени он выполняет некоторую технологическую операцию (находится в списке \mathbf{U}_q какой-либо операции) или находится в списке ожидания выполнения следующих операций с тем же объектом (список \mathbf{U}_o какого-либо объекта). Для учета свободных исполнителей в модели технологического процесса ведется динамический список \mathbf{U}_r . Например, после выполнения операции закрепления состава тормозными башмаками выполняющий ее сигналист освобождается и может выполнять другую операцию с любым объектом. Напротив, после выполнения операции прицепки маневрового локомотива к составу для расформирования этот локомотив не освобождается, а ожидает уборки башмаков и выполняет с данным составом надвиг и роспуск.

Порядок освобождения исполнителей определяется параметром f_p шаблона работы:

– если $f_p = -1$, то после окончания выпол-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

нення технологічної операції виконавця необхідно переместити в список свободних виконавців станції U_r ;

– якщо $f_p = 0$, то після закінчення виконання технологічної операції виконавця необхідно переместити в список виконавців, очікуючих виконання операцій U_o того ж об'єкта, який їм обслуговувався;

– якщо $f_p > 0$, то після закінчення виконання технологічної операції виконавця необхідно переместити в список виконавців, очікуючих виконання операцій U_o об'єкта, ідентифікатор якого дорівнює f_p .

В початку моделювання всі виконавці вважаються свободними.

В процесі заняття і звільнення виконавця в відповідності з параметрами z_p, z_d, z_n , а також типом значка z_w виконуваної їм технологічної операції подаються команди в інформаційну модель [10] для формування плану-графіка.

В якості об'єктів в моделі [3] розглядаються локомотиви і склади. При цьому в процесі моделювання передбачається, що об'єкт по мірі обслуговування повинен перейти з початкового стану s_o в кінцевий стан s_k , після чого він виключається з системи обслуговування. На вантажних і промислових станціях, на відміну від технічних, робота проводиться з окремими вагонами; при цьому можуть реалізовуватися різні варіанти їх обслуговування. В результаті виникає необхідність створення великої кількості об'єктів, відповідних окремим вагонам, з складною технологією. Крім того, на промислових станціях звертаються вагони внутрішнього парку, які після виконання певного циклу операцій не виключаються з системи обслуговування, а використовуються для виконання того ж або іншого циклу операцій. Для подолання вказаних проблем пропонується розглядати функціонування станції не як обслуговування окремих об'єктів з моменту їх надходження до моменту відходу зі станції, а як процес узгодженого взаємодія елементарних технологічних об'єктів. В якості таких об'єктів

можуть розглядатися як об'єкти, поступаючі на станцію для обслуговування (поезда, поїзні локомотиви, вагони, вантажі і т.п.), так і окремі технічні засоби станції (маневрові локомотиви, сортировочні шляхи, фронти вантажної роботи і т.п.).

В відповідності з об'єктно-орієнтованою парадигмою кожен окремий об'єкт характеризується властивостями і поведінкою [4]. В моделі станції під поведінкою об'єкта розглядаються технологічні операції, які з ним виконуються, а також певний технологічний процес порядку виконання цих операцій. Формалізація об'єктів разом з їх поведінкою дозволяє створювати бібліотеки елементарних технологічних процесів і за рахунок їх використання скоротити витрати часу на формалізацію технології роботи станції.

Властивості об'єктів і їх поведінку описуються в шаблонах d . Шаблиони об'єктів представляються структурами

$$d_y = \{I_d, P_c, W_d, E_d, A\}, y = 1, 2, \dots, n_d,$$

де I_d – ідентифікатор шаблону об'єкта; P_c – множина властивостей об'єкта з значеннями, встановлюваними за замовчуванням; W_d – шаблиони технологічних операцій, виконуваних з об'єктом; E_d – список виконавців, необхідних для обслуговування об'єкта; A – кінцевий автомат, описуючий порядок виконання технологічних операцій з об'єктом.

При цьому параметри P_c представляють властивості об'єкта, а W_d і A – його поведінку.

Технологічний процес (ТП) об'єкта представляється в вигляді детермінованого кінцевого автомата (КА)

$$A = \{X, Z, S, F_z, F_s\},$$

де X, Z – відповідно вхідної і вихідної алфавіти; S – множина станів автомата; F_z, F_s – функції виходів і переходів.

Кожний стан автомата відповідає певному стану ТП обслуговування об'єкта. Множина станів автомата визначається числом різних фаз обслуговування об'єкта, які відрізняються комбінаціями

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

технологических операций, имеющих разную степень завершенности.

Входной алфавит X автомата включает три подмножества входных сигналов $X = \{X_1, X_2, X_3\}$; здесь X_1 – окончание технологических операций; X_2 – эксплуатационное событие; X_3 – команды, поступающие от лица, выполняющего моделирование (ЛВМ).

Функции выходов F_z и переходов F_s автомата A выполняют превращение входной последовательности сигналов $x_j = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ в соответствующую исходящую последовательность $z_j = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$. Для формализации разных вариантов технологии обслуживания некоторого объекта используются разные входные последовательности x_j . Выбор последовательности x_j осуществляется ЛВМ. Порядок обработки сигналов при их поступлении в КА зависит от того, к какому из подмножеств они относятся. По завершению некоторой последовательности операций объекты исключаются из модели станции либо остаются в состоянии ожидания выполнения следующей последовательности операций.

Учитывая, что таблицы выходов и переходов соответствующих КА являются сильно разреженными, то для представления автоматов выбран ориентированный граф.

При добавлении шаблона объектов к модели станции из библиотеки устанавливается соответствие между исполнителями объекта E_d и исполнителями станции E .

В процессе моделирования на основании шаблонов классов объектов d_y при инициализации модели станции по командам, поступающим от генератора входного потока или от других объектов, производится создание экземпляров объектов O_j . При этом объекты представляются с помощью структур:

$$O_j = \{I_o, d_{ш}, P, s, U_o, Q_o\}, j = 1, 2, \dots, n_o,$$

где I_o – идентификатор объекта; P – множество свойств объекта; s – текущее состояние объекта, которое определяет фазу технологического процесса его обслуживания; U_o – список исполнителей, которые ожидают начала выполнения операций с объектом; Q_o – список

технологических операций, выполняемых с объектом в текущий момент времени; n_o – общее число объектов, находящихся в системе обслуживания.

Свойства объектов в памяти ЭВМ хранятся в виде ассоциативного списка, каждый элемент которого описывается структурой, содержащей ключ и данные. Ключ представляет собой целое число. Значение ключа соответствует типу данных:

1001–1999 – целые числа;

2001–2999 – вещественные числа;

3001–3999 – текстовые значения.

При этом значения ключей 1001–1500, 2001–2500, 3001–3500 используются для обязательных свойств, а ключей 1501–1999, 2501–2999, 3501–3999 для свойств, определяемых пользователем.

Технологический процесс отдельного объекта моделируется последовательностью переходов КА из одного состояния в другое по мере выполнения предусмотренных операций.

Результаты

Предложенная модель реализована в виде программного комплекса для функционального моделирования железнодорожных станций. Программный комплекс содержит две основные программы – редактор технологического процесса работы станций и суточный план-график работы станций.

Редактор технологического процесса работы станций, главное окно которого представлено на рис. 1, позволяет в графическом виде создавать графы переходов конечного автомата, а также заполнять данные об объектах, их свойствах, работах и др. в виде специальных форм.

Программа «Суточный план-график работы станции» предназначена для имитационного моделирования работы железнодорожных станций с целью определить технико-эксплуатационные показатели их работы. Использование этой программы позволяет находить узкие места в работе станций и разрабатывать мероприятия по их ликвидации.

Главное окно программы содержит изображение технологического процесса работы станции на часовой сетке в виде суточного плана-графика и элементы управления. Общий вид главного окна изображен на рис. 2.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

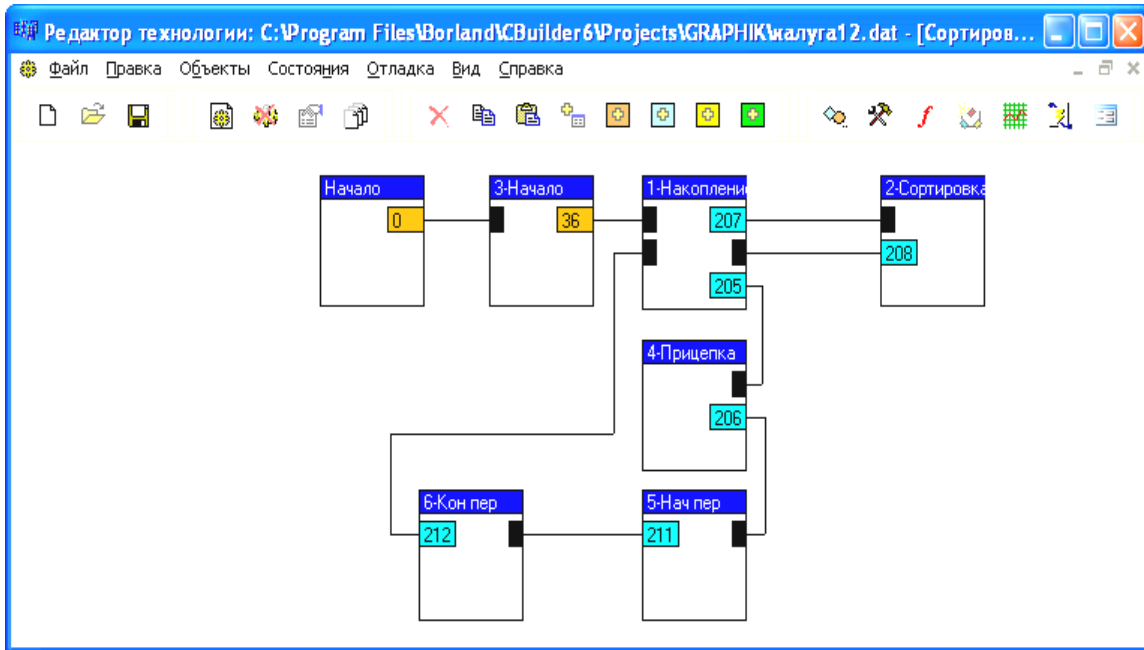


Рис. 1. Главное окно редактора технологического процесса работы станций

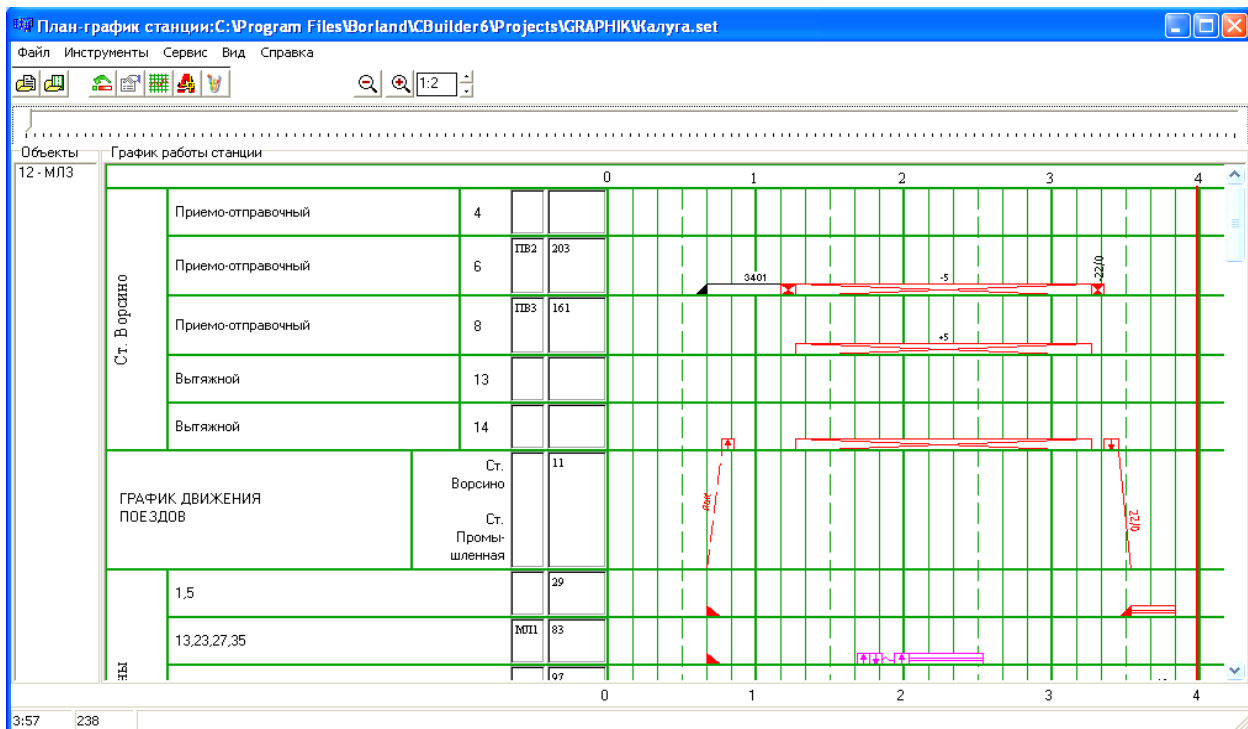


Рис. 2. Главное окно программы «Суточный план-график работы станции»

Результатами функционального моделирования работы железнодорожной станции с помощью программы «Суточный план-график» является план-график работы станции, который может быть экспортирован в формате графиче-

ских файлов *dxf*, *wmf* и *eps*, а также показатели работы станции, такие как загрузка отдельных исполнителей и продолжительности нахождения объектов в отдельных фазах обслуживания.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Научная новизна и практическая значимость

В результате выполненных исследований с применением объектно-ориентированного подхода при организации данных усовершенствована модель функционирования железнодорожных станций, что позволяет создавать библиотеки элементарных технологических процессов и за счет этого сократить затраты времени на формализацию технологии работы станций.

Разработанная модель реализована в виде программного комплекса, использование которого позволяет сократить затраты времени технологов при решении задач получения технико-эксплуатационной оценки проектируемых и существующих железнодорожных станций.

Выводы

1. В соответствии с принципами объектно-ориентированного подхода предложена структура модели, обеспечивающая формализацию объектов совместно с их поведением. Такой подход позволяет описывать функционирование отдельных объектов независимо от работы других элементов станций и создавать на их основании библиотеки типовых элементов технологических процессов.

2. Использование библиотеки типовых элементов технологических процессов при формализации технологии работы станций позволяет ускорить разработку их моделей и повысить эффективность работы проектировщиков и технологов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Бобровский, В. И. Функциональное моделирование железнодорожных станций в тренажерах оперативно-диспетчерского персонала / В. И. Бобровский, Р. В. Вернигора // Математичне моделювання. – 2000. – № 2 (5). – С. 68–71.
- Бобровский, В. И. Эргатические модели железнодорожных станций / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Зб. наук. пр. КУЕТТ. Сер. «Трансп. системи і технології». – К., 2004. – Вип. 5. – С. 80–86.
- Бобровский, В. И. Технично-економічне управління залізничними станціями на основі ергатических моделей / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Інформ.-керуючі системи на залізнич. трансп. – 2004. – № 6. – С. 17–21.
- Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений (UML 2) / Г. Буч, Р. А. Максимчук, М. У. Энгл. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2010. – 720 с.
- Вернигора, Р. В. Підготовка ДСП станцій ділянки з використанням тренажерного комплексу / Р. В. Вернигора, В. В. Малашкін // Трансп. системи та технології перевезень. – Д., 2010. – Вип. 1. – С. 34–37.
- Ветухов, Е. А. Определение уровня загрузки станций методом моделирования их работы на ЭЦВМ / Е. А. Ветухов, Е. А. Сотников // Ж.-д. трансп. – 1969. – № 7. – С. 34–37.
- Ивницкий, В. А. Оперативный анализ работы и нормирование простоев на станции с использованием имитационного моделирования / В. А. Ивницкий, А. Г. Миркин // Вестн. ВНИИЖТа. – 1990. – № 7. – С. 7–10.
- 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 // Залізнич. трансп. України. – 2008. – № 4 (70). – С. 18–20.
- Коробйова, Р. Г. Адекватність математичних моделей для визначення техніко-експлуатаційних показників роботи станцій / Р. Г. Коробйова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 28. – С. 29–33.
- Коробьева, Р. Г. Информационная модель для анализа станционных процессов на ЭВМ / Р. Г. Коробьева // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 31. – С. 50–54.
- Лещинский, Е. И. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте / Е. И. Лещинский. – М. : Транспорт, 1977. – 176 с.
- Шабалин, Н. Н. Моделирование процессов массового обслуживания на станциях / Н. Н. Шабалин // Ж.-д. трансп. – 1971. – № 5. – С. 64–65.
- A fuzzy Petri net model to estimate train delays / S. Milinkovic, M. Markovic, S. Veskovic et al. – 2013. – № 33. – P. 144–157.
- Giua, A. Modeling and supervisory control of railway networks using Petri nets / A. Giua, C. Seatzu // IEEE Trans. on Automation Science and Engineering. – 2008. – Vol. 5, № 3. – P. 431–445.
- Szűcs, G. Railway Simulation with the CASSANDRA Simulation System / G. Szűcs // Journal of Computing and Information Technology – CIT. – 2001. – Vol. 9, № 2. – P. 133–142.

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}

^{1*} Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 371 51 09, ел. пошта kozachenko@upp.diit.edu.ua

ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

Мета. Метою статті є вдосконалення функціональної моделі залізничної станції, спрямоване на скорочення трудовитрат на формалізацію технологічних процесів їх роботи за рахунок використання типових елементів технології. **Методика.** Як основні елементи функціонування залізничної станції розглядаються технологічні операції, виконавці та об'єкти технології. У ході дослідження використовувалися методи теорії масового обслуговування, імітаційного моделювання, кінцевих автоматів і об'єктно-орієнтованого аналізу. **Результати.** У результаті дослідження розроблено формальні структури даних, які дозволяють моделювати функціонування залізничної станції з будь-яким рівнем деталізації. Відповідно до принципів об'єктно-орієнтованого підходу в розробленій моделі окремі об'єкти станційної технології представляються разом з описом їх поведінки. Запропонована модель реалізована у вигляді програмного комплексу. **Наукова новизна.** За рахунок застосування об'єктно-орієнтованого підходу при організації даних удосконалено модель функціонування залізничних станцій, що дозволяє створювати бібліотеки елементарних технологічних процесів і скоротити витрати часу на формалізацію технології роботи станцій. **Практична значимість.** Використання розробленого на базі запропонованої моделі програмного комплексу дозволяє скоротити витрати часу технологів на вирішення завдань отримання техніко-експлуатаційної оцінки проєктованих та існуючих залізничних станцій.

Ключові слова: залізнична станція; технологічний процес; план-графік роботи; математична модель; об'єктно-орієнтований підхід

D. M. KOZACHENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail kozachenko@upp.diit.edu.ua

OBJECT-ORIENTED MODEL OF RAILWAY STATIONS OPERATION

Purpose. The purpose of this article is improvement of the railway stations functional model; it leads to time expenditure cut for formalization technological processes of their work through the use of standard elements of technology. **Methodology.** Some technological operations, executives and technology objects are considered as main elements of the railway station functioning. Queuing techniques were used as the methods of research, simulation, finite state machines and object-oriented analysis. **Findings.** Formal data structures were developed as the result of research that can allow simulating the operation of the railway station with any degree of detail. In accordance with the principles of object-oriented approach in the developed model, separate elements of station technology are presented jointly with a description of their behavior. The proposed model is implemented as a software package. **Originality.** Functional model of railway stations was improved through the application of object-oriented approach to data management. It allow to create libraries of elementary technological processes and reduce time expenditure for formalization the technology of stations work. **Practical value.** Using of software package that was developed on the base of proposed model will reduce time expenditure of technologists in order to obtain technical and operational assessment of projected and existing rail stations.

Keywords: railway station; technical process; plan-schedule of work; mathematical model; an object-oriented approach

REFERENCES

1. Bobrovskiy V.I., Vernigora R.V. Funktsionalnoye modelirovaniye zheleznodorozhnykh stantsiy v trenazherakh operativno - dispetcherskogo personala [Functional modeling of railway stations in simulators of operational - dispatching personnel]. *Matematychnye modeliuvannia – Mathematical modeling*, 2000, no. 2 (5), pp. 68-71.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

2. Bobrovskiy V.I., Kozachenko D.N., Vernigora R.V. Ergaticheskiye modeli zheleznodorozhnykh stantsiy [Ergatic models of railway stations]. *Zbirnyk naukovykh prats Kyivskoho universytetu ekonomiky i tekhnolohii transportu: Seriya "Transportni systemy i tekhnolohii"* [Proc. of State Economy and Technology University of Transport: Series "Transportation Systems and Technology"], 2004, issue 5, pp. 80-86.
3. Bobrovskiy V.I., Kozachenko D.N., Vernigora R.V. Tekhniko-ekonomicheskoye upravleniye zheleznodorozhnyimi stantsiyami na osnove ergaticheskikh modeley [Technical and economic management of railway stations on the basis of ergatic models]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information management systems for railways transport*, 2004, no. 6, pp. 17-21.
4. Buch G., Maksimchuk R.A., Engl M.U. *Obyektno-oriyentirovannyi analiz i proyektirovaniye s primerami prilozheniy (UML 2). 3-ye izdaniye* [Object-Oriented Analysis and Design with Applications (UML 2). The 3-rd edition]. Moscow, Vilyams Publ., 2010. 720 p.
5. Vernigora, R.V., Malashkin V.V. Pidhotovka DSP stantsii dilyanky z vykorystanniam trenazhernoho kompleksu [Attendants Stations Training at a plot using a training set]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen* [Transport systems and technologies of transportation], 2010, issue 1, pp. 34-37.
6. Vetukhov Ye.A., Sotnikov Ye.A. Opredeleniye urovnya zagruzki stantsiy metodom modelirovaniya ikh roboty na ETsVM [Determination of stations charging floor with simulation technique of their work on a electronic digital computer]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1969, no. 7, pp. 34-37.
7. Ivnitkiy V.A., Mirkin A.G. Operativnyy analiz roboty i normirovaniye prostoyev na stantsii s ispolzovaniyem imitatsionnogo modelirovaniya [Operational work analysis and detention settings at a station with the simulation technique use]. *Vestnik VNIIZhTa – VNIIZhT Bulletin*, 1990, issue 7, pp. 7-10.
8. Kozachenko D.N., Vernigora R.V., Korobyova R.H. Proqramnyi kompleks dlia imitatsiinoho modeliuвання roboty zaliznychnykh stantsii na osnovi dobovoho planu – hrafiku [Software system for simulation of railway stations operation based on a daily plan - schedule]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2008, no. 4 (70), pp. 18-20.
9. Korobyova R.H. Adekvatnist matematychnykh modelei dlia vyznachennia tekhniko-eksploatatsiinykh pokaznykiv roboty stantsii [Adequacy of mathematical models for determining the technical and process indicators of station activity]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 28, pp. 29-33.
10. Korobyova R.G. Informatsionnaya model dlya analiza stantsionnykh protsessov na EVM [The information model for the analysis of station processes on a computer]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 31, pp. 50-54.
11. Leshchinskiy Ye.I. *Imitatsionnoye modelirovaniye na zheleznodorozhnom transporte* [Simulation on railway transport]. Moscow, Transport Publ., 1977. 176 p.
12. Shabalin N.N. Modelirovaniye protsessov massovogo obsluzhivaniya na stantsiyakh [Simulation of queuing processes at the stations]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1971, no. 5, pp. 64-65.
13. Milinkovic S., Markovic M., Veskovic S., Ivic M., Pavlovic N. A fuzzy Petri net model to estimate train delays. *Simulation Modeling Practice and Theory*, 2013, no. 33, pp. 144-157.
14. Giua A., Seatzu C. Modeling and supervisory control of railway networks using Petri nets. *IEEE Trans. on Automation Science and Engineering*, 2008, vol. 5, no. 3, pp. 431-445.
15. Szücs G. Railway Simulation with the CASSANDRA Simulation System. *Journal of Computing and Information Technology, CIT*, 2001, vol. 9, no. 2, pp.133-142.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. И. Бобровским (Украина); д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Украина)

Поступила в редколлегию 21.11.2012

Принята к печати 18.07.2013