УДК 656.212

Д. Н. КОЗАЧЕНКО[1*], Р. В. ВЕРНИГОРА[2*], В. В. МАЛАШКИН[3*]

[1*] Научно-исследовательская часть, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта kozachenko@upp.diit.edu.ua, ORCID – 0000-0003-2611-1350
[2*] Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный унывесритет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373-15-12, эл. почта romav1@yandex.ua, ORCID 0000-0001-7618-4617
3* Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный унывесритет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 371-51-03, эл. почта malaxa79@mail.ru, .ORCID 0000-0002-5650-1571

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Ефективним засобом аналізу та кількісної оцінки показників функціонування залізничних станцій є імітаційне моделювання станційних процесів. При цьому високу адекватність забезпечують ергатичні моделі, в яких людина бере безпосередню участь у моделюванні, виконуючи функції диспетчера станції.

Для функціонування ергатичних моделей використовуються файли даних спеціальної структури, в яких в закодованому вигляді формалізовані технічне оснащення і технологічний процес роботи станції. Досвід створення таких моделей для конкретних станцій показав, що формування зазначених файлів даних являє собою досить складну і трудомістку задачу. Для уніфікації та прискорення процесу побудови ергатичних моделей для конкретних станцій були розроблені спеціальні програмно-інструментальні засоби (редактори), які дозволяють в автоматизованому режимі отримати необхідні файли даних із закодованою інформацією про техніко-технологічні параметри станцій. Колійний розвиток станції та система станційної автоматики формалізовані на основі геометричних моделей, які отримують засобами автоматизованого проектування.

Основною проблемою, яка виникає при побудові моделей для конкретних станцій, є складність формалізації технологічних процесів їх роботи, які на кожній станції часто мають безліч своїх відмінних рис. Для вирішення цієї проблеми авторами була розроблена методика формалізації технології роботи залізничних станцій на основі детермінованих скінчених автоматів. Побудова скінчених автоматів для різних об'єктів, обслуговування яких виконується на станції, здійснюється з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. З цією метою розроблено спеціальний редактор, який дозволяє в автоматизованому режимі будувати скінчені автомати обслуговування об'єктів і формувати файл даних для моделі технологічного процесу станції.

У статті розглянута технологія автоматизованої побудови ергатичних моделей залізничних станцій, наведені блок-схеми алгоритмів і приклади діалогових вікон редактора технологічного процесу. Розроблена технологія побудови моделей є універсальною і може бути застосована до станцій будь-якого типу.

Ключові слова: імітаційне моделювання, ергатична модель станції, технологічний процес, автоматизоване проектування, об'єктно-орієнтований підхід.

Эффективным средством анализа и количественной оценки показателей функционирования железнодорожных станций, является имитационное моделирование станционных процессов. При этом высокую адекватность обеспечивают эргатические модели, в которых человек принимает непосредственное участие в процессе моделирования, выполняя функции диспетчера станции.

Для функционирования эргатической модели используются файлы данных специальной структуры, в которых в закодированном виде формализованы техническое оснащение и технологический процесс работы станции. Опыт создания таких моделей для конкретных станций показал, что формирование указанных файлов данных представляет собой достаточно сложную и трудоемкую задачу. Для унификации и ускорения процесса построения эргатических моделей для конкретных станций были разработаны специальные программно-инструментальные средства (редакторы), которые позволяют в автоматизированном режиме получить необходимые файлы данных с закодированной информацией о технико-технологических параметрах станций. Путевое развитие станции и система станционной автоматики формализованы на основе геометрических моделей, которые получают средствами автоматизированного проектирования.

Основной проблемой, которая возникает при построении моделей для конкретных станций, является сложность формализации технологических процессов их работы, которые на каждой станции имеют множество своих отличительных особенностей. Для решения этой проблемы авторами была разработана методика формализации технологии работы железнодорожных станций на основе детерминированных конечных автоматов. Построение конечных автоматов для различных объектов, обслуживание которых выполняется на

© Козаченко Д. Н., Р. Вернигора В., Малашкин В. В. 2014

станции, осуществляется с использованием объектно-ориентированного подхода. С этой целью разработан специальный редактор, который позволяет в автоматизированном режиме строить конечные автоматы обслуживания объектов и формировать файл данных для модели технологического процесса станции.

В статье рассмотрена технология автоматизированного построения эргатических моделей железнодорожных станций, приведены блок-схемы алгоритмов и примеры диалоговых окон редактора технологического процесса. Разработанная технология построения моделей является универсальной и применима к железнодорожным станциям любого типа.

Ключевые слова: имитационное моделирование, эргатическая модель станции, технологический процесс, автоматизированное проектирование, объектно-ориентированный подход.

Effective means of analysis and quantitative assessment of the functioning of the railway stations is a simulation processes. Ergatic model railway stations provide high adequacy of simulation. In such models, the person directly involved in the process of modeling, acting as Station Manager.

For the functioning of ergatic model are used data files of a special structure in which is encrypted formalized technical equipment and technological process of the station. Experience of creating ergatic models for specific stations showed that the formation of these data files is a rather complicated and time-consuming task. o unify and accelerate the process of building ergatic functional models for specific stations have developed special software and tools (editors), which allows in automated mode to obtain the necessary data files with encoded information about the technical and technological parameters of the stations. Scheme of the station and the station automation system is formalized on the basis of geometric models that receive with using of computer-aided design.

The main problem that arises in the construction of models for specific stations, is the difficulty of formalizing of their technological processes, which at each station often have many of their distinctive features. To solve this problem, the authors have developed a method of formalizing technology works railway stations on the basis of deterministic finite automata. Construction of finite automata for different objects, which are serviced on the station is carried out using an object-oriented approach. For this purpose, the authors have developed a special editor that allows you in automated mode to build finite automata for different objects and create a data file for the model of the technological process.

The article describes the automated construction technology ergatic models of railway stations. In article are shown flowcharts and examples of dialog boxes. The developed technology for the construction of models is universal and applicable to any type of railway stations.

Keywords: simulation, ergatic model of railway station, technological process, computer-aided design, object-oriented approach.

Введение

Эффективным средством анализа и количественной оценки показателей функционирования железнодорожных станций, их технико-технологических и экономических параметров является имитационное моделирование. Одной из основных проблем, возникающих при создании моделей станций, является имитация действующих систем управления, основным звеном которых является человек-диспетчер (ЧД). Вместе с тем адекватное моделирование управленческой деятельности представляет собой весьма непростую задачу, вследствие сложности технологических процессов (ТП) работы станций и многообразия возможных ситуаций, требующих вмешательства диспетчера для принятия управленческих решений. В этой связи для выполнения исследований целесообразно использовать эргатические модели железнодорожных станций, в которых человек (оператор модели) принимает непосредственное участие в процессе моделирования, выполняя функции диспетчера в интерактивном режиме. Указанные модели по своей природе наиболее точно учитывают бихевиоральные факторы, т.е. факторы, ассоциированные с поведением человека. Концепция эргатического моделирования изложена авторами в работах [1-4].

Разработанная эргатическая функциональная модель железнодорожной станции (ФМС) отражает структуру станции, а также функционирование и взаимодействие ее отдельных подсистем и элементов. В этой связи ФМС включает следующие структурные модули:

– модель путевого развития (МПР);

– модель системы управления перемещениями подвижного состава (МСУП);

– модель технологического процесса (МТП);

– информационная модель;

– управляющий модуль (диспетчер команд).

Структура ФМС и схема взаимодействия ее отдельных модулей приведена на рис. 1.

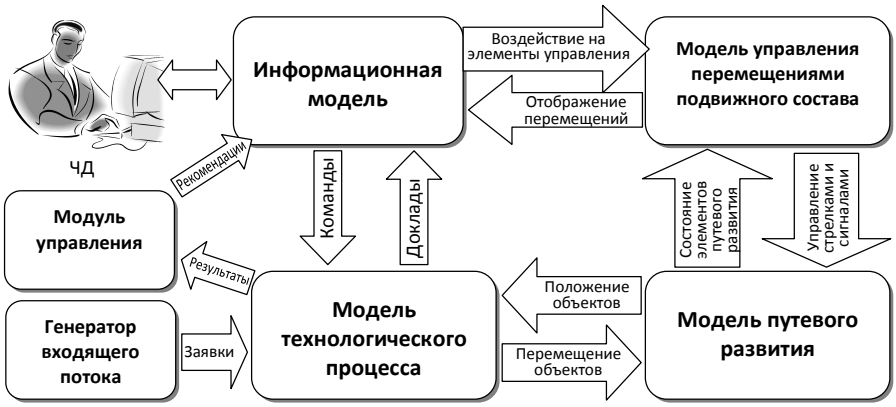


Рис. 1. Структура эргатической функциональной модели станции

Постановка задачи исследования

Для функционирования эргатической ФМС в целом и ее отдельных модулей (рис. 1) используются файлы данных специальной унифицированной структуры, в которых в закодированном виде формализованы техническое оснащение (путевое развитие и система станционной автоматики) и технологический процесс работы станции. Опыт создания эргатических ФМС для конкретных станций показал, что формирование указанных файлов данных представляет собой достаточно сложную и трудоемкую задачу. Прежде всего, это связано с большим количеством элементов и объектов на станциях, многообразием и сложностью связей между ними, а также с существенным отличием в техническом оснащении и технологии работы разных типов станций. Кроме того, вследствие достаточно сложной структуры файлов данных ФМС при ручном их формировании возможны ошибки и неточности, особенно при формализации работы крупных станций.

В этой связи была поставлена задача разработать программно-инструментальные средства (специальные компьютерные редакторы) для автоматизированного формирования файлов данных ФМС. Использование таких средств позволит существенно упростить и ускорить тиражирование подобных моделей для различных типов железнодорожных станций.

Формализация технического оснащения железнодорожных станций

Для унификации и ускорения процесса построения эргатических функциональных моделей для конкретных объектов авторами были разработаны специальные редакторы, которые позволяют в автоматизированном режиме получить необходимые файлы данных с закодированной информацией о технико-технологических параметрах той или иной станции. При этом исходные файлы данных для модели путевого развития [5] и модели управления перемещениям подвижного состава [6] получают на основе преобразования геометрических моделей путевого развития железнодорожных станций, которые содержат данные о топологии путевого развития станций, длинах путевых и стрелочных участков, типах стрелочных переводов и светофоров, расположении светофоров, предельных столбиков, изолирующих стыков и др. Указанные геометрические модели формируют с помощью средств автоматизированного проектирования железнодорожных станций [7]. Полученные таким образом файлы дополняются при построении МПР и МСУП вспомогательными данными, необходимыми для функционирования моделей (ограничения скорости движения, технологические функции путевых участков, коды команд для ФМС при занятии и освобождении путевых участков и изолированных секций и др.).

Кроме того, авторами разработан специальный графический редактор, позволяющий в автоматизированном режиме строить информационные модели для ФМС различных станций [3], в т. ч. для компьютерных тренажеров подготовки диспетчерского персонала станций [8].

Построение модели технологического процесса на основе объектно-ориентированной платформы

Основной проблемой, которая возникает при построении ФМС для конкретных станций, является сложность формализации ТП их работы, которые на каждой станции зачастую имеют множество своих отличительных особенностей. Для решения этой проблемы авторами

была разработана методика формализации технологии работы железнодорожных станций на основе детерминированных конечных автоматов (КА) [2, 4]. При этом для каждого типа объектов (пассажирский поезд, грузовой транзитный, грузовой в расформирование и др.) разрабатывается отдельный КА, формализующий технологию их обслуживания на станции.

Вместе с тем, построение для каждой станции подобных автоматов, которые бы адекватно описывали реальные процессы обслуживания различных объектов, вследствие указанных выше причин, также представляет собой весьма сложную и трудоемкую задачу. В этой связи авторами на основе объектно-ориентированной платформе была разработана методика автоматизированного построения подобных КА, а также специальные инструментальные средства (специализированный компьютерный редактор) для реализации этой методики. Следует отметить, что данная методика является универсальной и применима для формализации технологических процессов любой сложности при построении функциональных моделей железнодорожных станций любых типов.

При моделировании станция или ее отдельный технологический комплекс рассматривается как управляемая многофазная многоканальная система массового обслуживания. В указанной системе 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 могут принимать постоянные значения или моделируются как случайные величины, параметры которых зависят от характеристик объекта. Обслуживающими устройствами являются исполнители технологических операций (маневровые локомотивы, сортировочные горки, бригады ПТО и др.) [1].

Объектно-ориентированный подход требует разработки четкой структуры модели с выделением всех ее структурных элементов и определением взаимосвязей между ними. Основными элементами ТП работы станции являются: обслуживаемые объекты (составы, локомотивы), работы (технологические операции, в т.ч. связанные с передвижением подвижного состава), исполнители (как работники, так и отдельные технические средства). Для реализации МТП на объектно-ориентированной платформе в ее структуру введен еще один элемент – функции.

В качестве объектов модели рассматриваются локомотивы и составы. Свойства объектов в памяти ЭВМ хранятся в виде ассоциативного списка, каждый элемент которого описывается структурой (ключ-*1* . данные-*1*, ключ-*2* . данные-*2*, …. ключ-*N* . данные-*N*). Ключ представляет собой целое число и определяет тип конкретного параметра объекта (идентификатор объекта, тип объекта, текущее состояние, назначение, масса, число вагонов и др.). Данные соответствуют ключу и задаются либо в начале моделирования (формируются при разработке сценария моделирования) или корректируются в процессе работы модели.

С каждым объектом на станции выполняются определенные технологические операции (работы), которые предусмотрены технологическим процессом (закрепление, технический и коммерческий осмотр и др.). Каждой операции ТП станции поставлен в соответствие уникальный идентификатор и набор параметров, часть из которых постоянна (тип работы, исполнитель, условия ее выполнения, правила моделирования ее продолжительности и др.), а часть – динамически изменяется в процессе моделирования (моменты начала и окончания работы, текущий обслуживаемый объект, текущий исполнитель работы, текущее состояние работы).

Выполнение технологических операций на станции обеспечивают исполнители (маневровые локомотивы, сортировочные горки, бригады ПТО и др.). Принято, что каждую 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). Отдельные пути и стрелочные зоны также могут рассматриваться как исполнители. Каждый исполнитель имеет четкую специализацию, определяющую работы, которые он может выполнять. Если на станции есть несколько исполнителей одной специализации, то для выполнения работы может использоваться любой из свободных исполнителей данной специализации, а при необходимости в качестве одного из параметров в структуре данных о работах может быть задан приоритет использования исполнителей.

В МТП объекты, работы и исполнители представляются в виде специальных структур данных, которые отражают их свойства [1].

Множество функций выходов КА представляет собой команды, которые выполняются при наступлении определенных событий в ФМС (занятие или освобождение путевого участка, начало или окончание технологической операции, нажатие кнопки на моторном поле информационной модели и т.д.).

Модуль управления ФМС

Взаимодействие структурных модулей ФМС (рис. 1) в процессе моделирования организовано путем передачи сообщений специальной структуры. Для анализа и обработки сообщений разработан специальный функциональный язык-интерпретатор. Сообщения генерируются при наступлении определенных событий в ФМС и поступают вначале в модуль управления ФМС (диспетчер команд). В каждом сообщении указывается его получатель (идентификатор определенного структурного модуля ФМС). После анализа сообщения диспетчер команд направляет его для выполнения соответствующему структурному модулю ФМС.

В качестве управляющих конструкций в сообщениях выступают текстовые выражения. Каждое выражение состоит из названия функции и ее аргументов и представляет собой следующую конструкцию: *(функция аргумент-1 аргумент-2 … аргумент-N)*. Здесь функция – это идентификатор команды, которая должна быть выполнена. Аргументами функции могут быть константы или выражения. Число аргументов может быть переменным. Каждое выражение вычисляется и его результат посредством диспетчера команд возвращается в тот модуль ФМС, который является инициатором передачи данного сообщения. Результатом вычисления может быть число или текстовая строка. Анализ выполняется слева направо, пока не встретится открывающаяся или закрывающаяся скобка. Если встречается закрывающаяся скобка, то интерпретатор завершает анализ выражения, выполняет функцию и возвращает ее результат. Если встречается открывающаяся скобка, то осуществляется переход к анализу младшего уровня вложенности. В качестве аргументов выражений, формирующих сообщения в ФМС, кроме числовых и текстовых констант, могут выступать различные функции: математические, логические, текстовые, управляющие, вспомогательные.

Математические функции используются для выполнения математических вычислений: сложение, вычитание, умножение, деление, генерирование случайных величин с заданным законом распределения и др. Их аргументами и результатами вычислений являются целые и вещественные числа.

Логические функции используются для сравнения между собой двух или более аргументов. При формировании выражений используются также логические «И», «ИЛИ», «НЕ» и др. Результатами логических функций являются значения «TRUE» (1) или «FALSE» (0).

Текстовые функции предназначены для работы со строками и текстовой информацией: строк, объединение строк, поиск в строках и др. Результатом работы этих функций являются текстовые строки или символы.

Функции управления моделью станции позволяют изменять параметры объектов, а также формировать управляющие команды модели станции. При этом в качестве аргументов используются параметры объектов, исполнителей, работ, а также идентификаторы функций. Вспомогательные функции используются для управления вычислениями в текстовых выражениях сообщений ФМС.

Структура файла данных МТП

В ЭВМ технологический процесс работы станции представляется в виде файла данных специальной структуры. В соответствии со структурой объектно-ориентированной модели указанный файл состоит из четырех секций: «*Исполнители*», «*Работы*», «*Функции*» и «*Объекты*». Кроме того, в файл технологии включена дополнительная секция «*Определения*», которая располагается в его начале. Началом каждой секции является соответствующее ключевое слово. Исходные данные внутри секций представляются в виде ассоциативных списков, где данные интерпретируются в соответствии с предшествующими им ключевыми словами. Для примера, на рис. 2 представлена структура такого списка для описания работы.

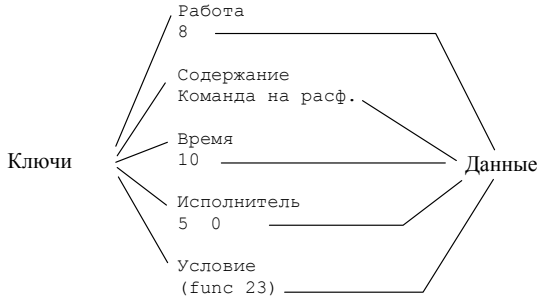


Рис. 2. Структура ассоциативного списка в файле технологии для элемента «*Работа*»

В секции «*Определения*» указываются коды специализаций исполнителей, а также коды возможных событий и команд.

В секции «*Исполнители*» приводится описание исполнителей технологических операций (идентификатор исполнителя, его название и специализация).

В секции «*Работы*» приводятся данные о технологических операциях, выполняемых с объектом каждого типа. В качестве параметров работ указываются: идентификатор, наименование, специализация исполнителя, продолжительность выполнения (константа или функция), команды, которые должны быть выполнены до и после завершения работы. Алгоритм моделирования выполнения технологической операции (работы) представлен на рис. 3.

В секции «*Функции*» приводится описание макрокоманд: вначале указывается идентификатор функции, а все последующие строки рассматриваются как текстовые выражения.

В секции «*Объекты*» содержатся параметры объектов, которые обслуживаются на станции (поездов, локомотивов, вагонов) и соответствующие этим объектам описания КА [2, 4], на основе которых формализованы технологические процессы обслуживания объектов. Каждому типу объектов соответствует отдельное описание в файле технологии. По каждому объекту указывается его тип, наименование, блок параметров (номер поезда, число вагонов, направление прибытия, назначение и др.); при этом каждый параметр записывается как:

Код параметра значение наименование

Основой информации об объектах является описание КА, на основе которого формализован ТП обслуживания объектов каждого типа.

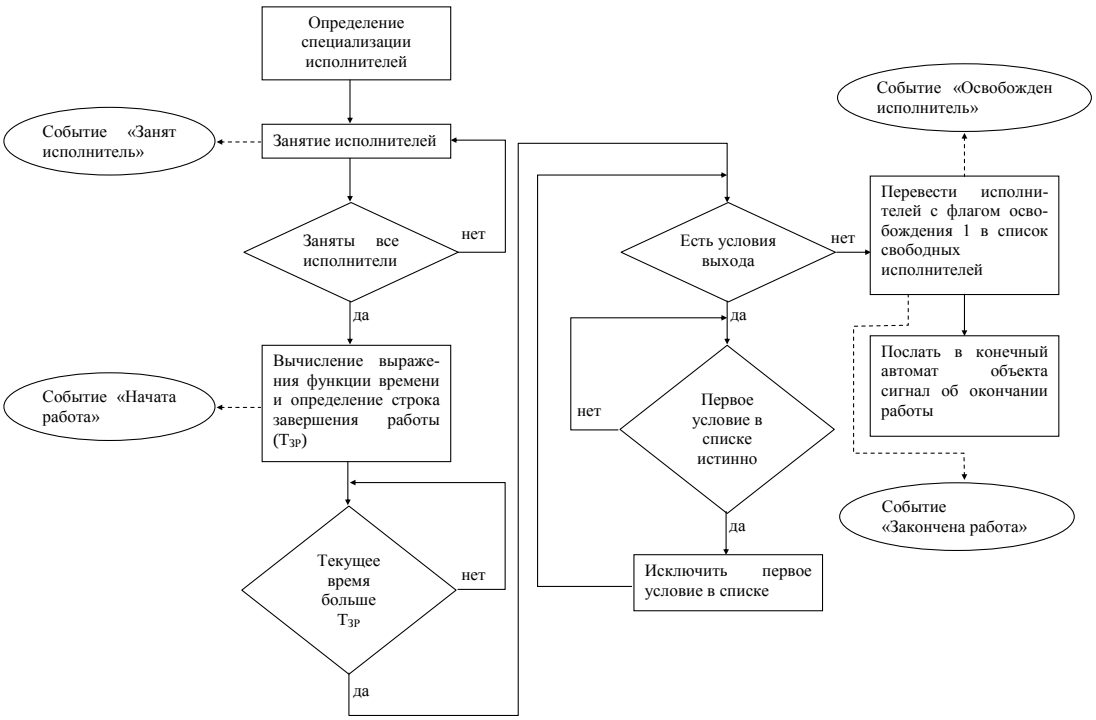


Рис. 3. Алгоритм моделирования технологической операции в МТП

В файле технологии КА представляется набором его возможных состояний, для каждого из которых указывается множество входных сигналов с соответствующими им выходными сигналами и переходами. Каждый из входных сигналов, возможных для данного состояния *N* представляется строкой:

С К П В

где *С* – входной сигнал;

К – идентификатор макроса входного контроля (*К* = 0 соответствует отсутствию входного контроля);

П – номер состояния, в которое осуществляется переход после получения данного сигнала (если *П* = *N* – объект остается в том же состоянии *N*, если *П* = 9999 – конец обработки объекта);

В – идентификатор макроса, соответствующего функции выхода.

Указанные параметры по каждому входному сигналу *С* дополняются также данными, необходимыми для графического ввода и отображения КА в специальном редакторе.

Редактор технологического процесса

Важно отметить, что разработанная структура файла технологии является универсальной и применима для построения моделей станций любого типа. Однако унификация файла техно-

логии приводит к существенному усложнению его структуры, поэтому при ручном формировании файла технологии возможны ошибки, что приводит к неточностям результатов моделирования. Для автоматизации формирования файла технологии авторами были разработаны специальные инструментальные средства – редактор технологического процесса, который позволяет реализовать следующие функции:

– ввод данных о работах, функциях и исполнителях с помощью специальных форм и диалоговых окон;

– графическое формирование графов КА, которые описывают технологические процессы обслуживания объектов разных типов;

– первичный форматный и логический контроль данных;

– файловые операции (открытие, сохранение, редактирование файла).

Окно редактора технологии в процессе ввода КА представлено на рис. 4. Управление работой редактора осуществляется с помощью панели инструментов и команд меню.

Построение файла данных МТП с помощью разработанного редактора технологического процесса выполняется в следующем порядке:

– формирование объектов и определение их свойств;

– формирование определений: специализаций исполнителей, событий, команд;

– формирование исполнителей и определение их свойств;

– формирование функций;

– формирование работ и определение их свойств;

– построение структуры КА для каждого из типов объектов, обслуживание или функционирование которых предусмотрено на станции.

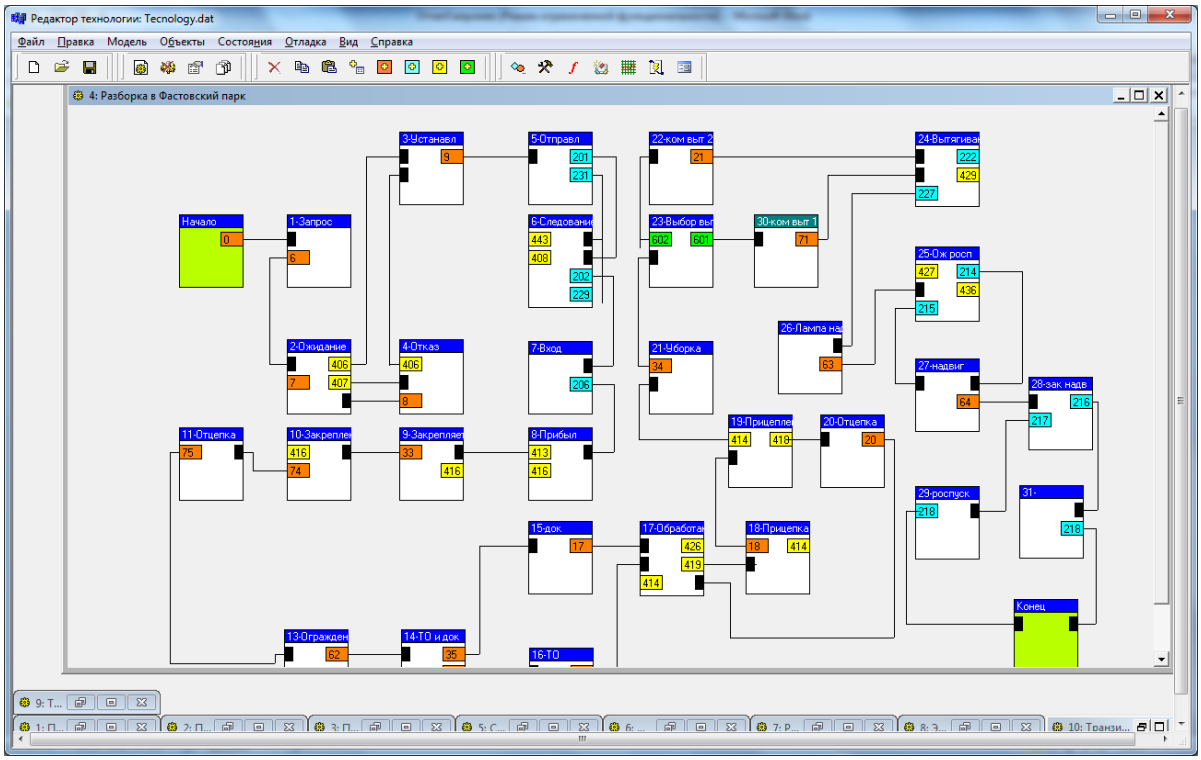


Рис. 4. Окно редактора технологии при построении конечного автомата объекта

Для формирования каждого элемента МТП предусмотрены специальные диалоговые окна (рис. 5, а). При этом после ввода параметров того или иного элемента автоматически формируется соответствующая секция файла технологии, который можно просматривать и непосредственно редактировать в текстовом режиме (рис. 5, б). Данные по каждому созданному элементу могут при необходимости корректироваться. Для ускорения редактирования сложных выражений при формировании макрокоманд (функций) можно использовать специальный построитель выражений (рис. 6).

На завершающем этапе формирования файла технологии с помощью редактора выполняется построение графов конечных автоматов, каждый из которых соответствует технологическому процессу обслуживания или функционирования определенного типа объектов. Соответственно, для каждого типа объектов, обслуживание или функционирование которых предусматривается на моделируемой станции, должны быть разработаны отдельные КА.

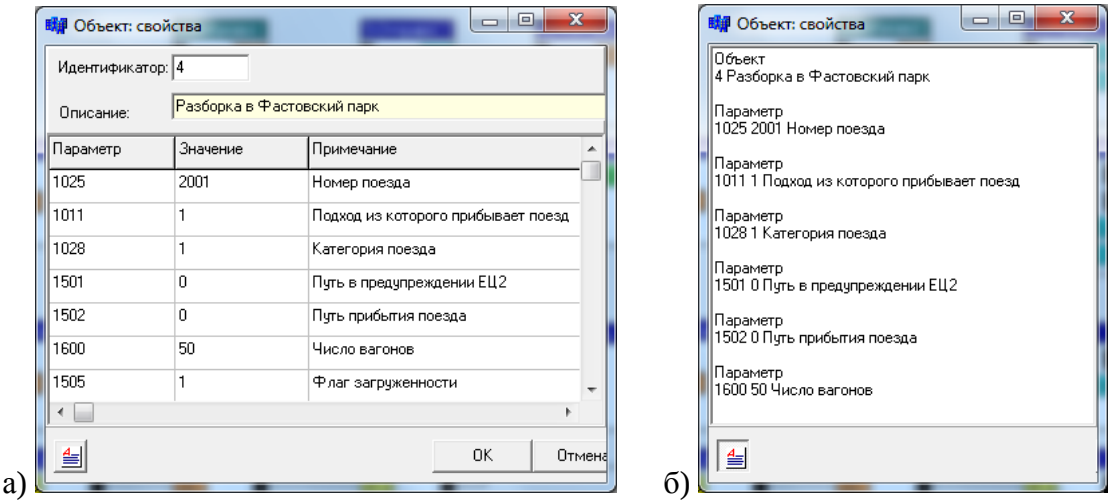


Рис. 5. Диалоговое окно редактирования свойств объекта:
а) форма для редактирования; б) текстовая запись в файле данных

Построение графа КА выполняется путем добавления необходимых состояний на поле редактора и их соединения в соответствии с функциями перехода.

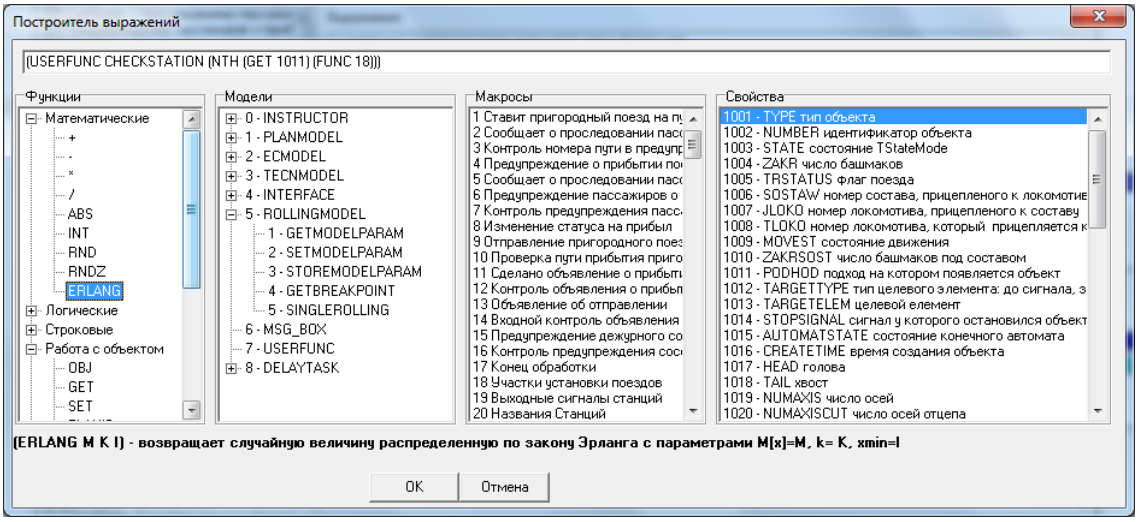


Рис. 6. Окно построителя выражений

Каждое состояние КА соответствует определенной фазе ТП обслуживания (функционирования) объекта и в редакторе изображается в виде прямоугольного поля, в котором есть заголовок (номер состояния и его наименование) и область входящих сигналов (рис. 7).

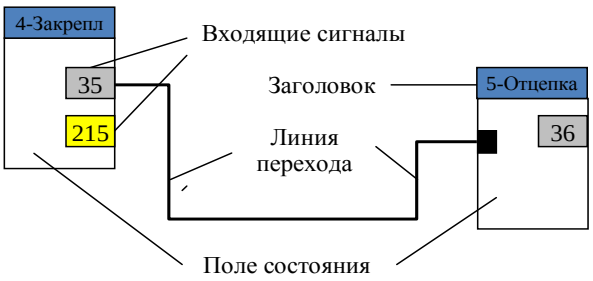
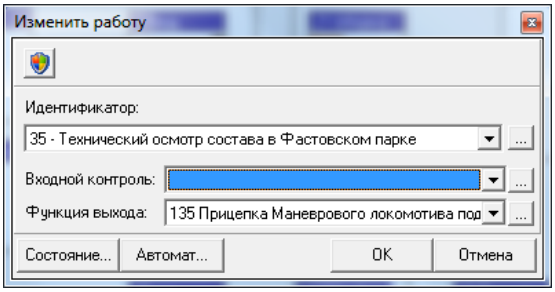


Рис. 7. Построение графа КА

Когда объект находится в определенном состоянии, на вход соответствующего КА могут поступить сигналы о завершении работ, о свершении эксплуатационных событий и команды от диспетчера на начало работ. Входящие сигналы изображаются в полях соответствующих состояний КА в виде прямоугольников разного цвета в зависимости от типа сигналов (рис. 7). Редактор позволяет добавлять, удалять и редактировать параметры входящих сигналов. С этой целью используются кнопки на панели инструментов и меню редактора технологии, а настройка параметров входящих сигналов (функция входного контроля, функция выхода) выполняется в диалоговых окнах, соответствующих типу сигнала (рис. 8).

а)



б)

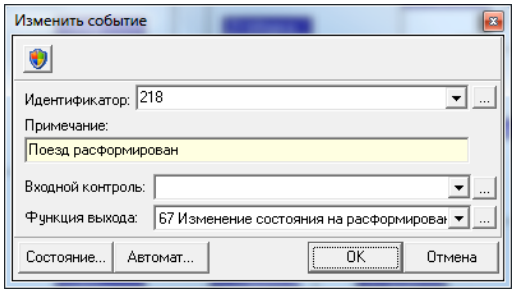


Рисунок 8. Диалоговое окно для настройки входящих сигналов:
а) завершение работы; б) событие

При построении графа КА целесообразно использовать манипулятор «мышь», с помощью которого создаются связи (переходы) между состояниями (рис. 7), выполняется вызов контекстных меню для редактирования параметров состояний и входящих сигналов, выделение и перемещение элементов графа.

Выводы

Эргатические функциональные модели являются эффективным средством исследования работы железнодорожных станций в различных эксплуатационных условиях. С помощью подобных моделей можно получать количественную и качественную оценку планируемых проектных решений по совершенствованию технического оснащения и технологии работы станций. Построение подобных функциональных моделей станций представляет собой сложную и трудоемкую задачу. Для автоматизации этого процесса разработаны специальные программно-инструментальные средства, которые позволяют существенно ускорить и упростить формирование файлов данных, необходимых для функционирования ФМС. Разработанная методика построения эргатических моделей является универсальной и применима к станциям любой степени сложности. Опыт использования подобных моделей для оценки реальных проектов развития некоторых железнодорожных станций подтвердил их адекватность и высокую эффективность, что дает основания рекомендовать разработанную методику для широкого внедрения на практике.

БИБИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобровский, В. И. Эргатические модели железнодорожных станций [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Транспортні системи і технології : зб. наук. праць КУЕТТ.– Київ: КУЕТТ, 2004. – Вип. 5. – С. 80-86.

2. Бобровский, В. И Технико-экономическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 6. – С. 17-21.

3. Бобровский, В. И. Количественная оценка технико-технологических параметров железнодорожных станций на основе эргатических моделей [Текст] / В. И. Бобровский, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин // Вісник ДНУЗТ. – 2007. – № 16. – С.50-57.

4. Bobrovskiy, V. I. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata [Text] / V. I. Bobrovskiy, D. N. Kozachenko, R. V. Vernygora // Transport Problems, Vol. 9, Issue 3 – The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Katowice, Poland – 2014. – p. 57-66.

5. Бобровський, В. І. Базова модель колійного розвитку в імітаційних моделях залізничних станцій [Текст] / В. І. Бобровський, Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора // Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України : зб. наук. праць УкрДАЗТ.– Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 62. – С. 20-25.

6. Вернигора, Р. В. Моделирование работы систем станционной автоматики в эргатических имитационных моделях железнодорожных станций [Текст] / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый, В. В. Малашкин // Транспортні системи і технології перевезень : зб. наук. праць ДНУЗТ.– Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – Вип. 2. – С. 31-37.

7. Бобровский, В. И. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций [Текст] : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин. – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, – 2010. – 156 с.

8. Вернигора, Р. В. Современные тренажерные системы для подготовки оперативно-диспетчерского персонала железнодорожных станций [Текст] / Р. В. Вернигора // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2010. – № 1, ч. 2. – С. 34-40.

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

Надійшла до редколегії 04.12.2014.
Прийнята до друку 05.12.2014.