

8 Числов, О. Н. Транспортно-технологические модели припортовых железнодорожных станций / О. Н. Числов, Д. С. Безусов // Вестник РГУПС. № 4 (68). – 2017. – С. 101–110.

9 Числов, О. Н. Аксиоматика транспортных процессов припортовых грузовых станций / О. Н. Числов, В. В. Ильичева, Д. С. Безусов // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. № 6. – С. 73–81.

*O. N. CHISLOV, D. S. BEZUSOV*

## **DIRECTIONS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF TRANSPORTATION PROCESSES OF PORT RAILWAY STATIONS ON THE ANALYTICAL MODELING PRINCIPLES**

It is known that port railway stations are complex transport and technological systems consisting of a complex of interconnected subsystems. The selection, modeling and substantiation of rational parameters of their transport processes is of paramount importance in modern conditions of digitalization of railway transport. The article discusses an analytical approach to modeling the operation of port railway stations in order to identify system-wide patterns of operation, axiomatics of transport processes, the choice of rational parameters of the "station-port" system and reduce the downtime of local cars.

Получено 19.10.2020

---

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития  
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2020**

---

УДК 656.2

*Ж. ЯНЕВ, Е. А. ОВЧИННИКОВА, Н. О. БЕРЕСТОК*  
*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*  
*zivkoacter@yahoo.com*

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАНЦИИ В ПРОГРАММЕ ИСУЖТ**

Рассмотрен математический алгоритм создания цифровой топологической модели железнодорожной станции в рабочем окне программы «ИСУЖТ». Математический алгоритм построен на основе теории множеств, а также представлен пример отображения подмножеств с помощью кругов Эйлера. Разработаны этапы оцифровки топологических моделей станций и выявлено основное правило объединения элементов. Получено имитационное отображение схемы станции и описание технологии работы с помощью блок-схемы.

Важнейшее значение в перевозочном процессе принадлежит сортировочным станциям, от устойчивой работы которых зависит деятельность железнодорожных направлений и сети в целом. Сортировочные станции предназначены в основном для сортировки вагонов по маршрутам следования и массового формирования из них поездов дальних назначений. Кроме того, на сортировочных станциях выполняются техническое обслуживание и коммерческий осмотр вагонов, устранение выявленных неисправностей, смена локомотивов и локомотивных бригад, сортировка грузов, погрузка и выгрузка вагонов, обслуживание подъездных путей, формирование сборных вагонов с контейнерами и мелкими отправками и другие операции. Около 70 % времени своего оборота вагон находится на станциях и, именно, на них имеются основные резервы своевременного и качественного обеспечения перевозок.

Комплексное решение задач по усовершенствованию работы сортировочных и других станций можно получить за счет применения программ, предназначенных для автоматического расчета работы всех ресурсных, технологических и инфраструктурных цепочек работы станции. Самой трудоёмкой частью создания таких программ является описание технологии, инфраструктуры и разработка цифровой модели станции.

Последовательность получения цифровой топологической модели станции состоит из шагов загрузки немасштабной схемы, реализации цифровой модели, ее проверки с помощью блок-схемы и доработки цифровой модели железнодорожной станции.

Интеллектуальная система моделирования железнодорожного транспорта функционирует на основе математического алгоритма условий, ограничений и последовательностей. Бесперебойная работа программы обеспечивается за счёт соблюдения последовательности выполнения определенных математических операций. Для того чтобы описать алгоритм выполняемых действий, необходимо ввести подмножества  $X$  и  $Y$ . Подмножество  $X$  включает в себя все инфраструктурные элементы станции с указанием их координат. Подмножество  $Y$  включает в себя технологические элементы, описывающие инфраструктуру (параметры путей и стрелочных переводов, специализация станционных путей). Объединение их определяет множество  $Z$ . Состав подмножеств  $X$  и  $Y$  представлен следующими формулами:

$$X \supset (X_{\text{стр}} \cup X_{\text{пут}} \cup X_{\text{пар}} \cup X_{\text{гор}}), \quad (1)$$

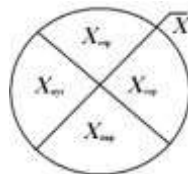
$$Y \supset (Y_{\text{спец}} \cup Y_{\text{стр}} \cup Y_{\text{лок}} \cup Y_{\text{сорт}}), \quad (2)$$

где  $X_{\text{стр}}$  – подмножество стрелочных переводов;  $X_{\text{пут}}$  – подмножество станционных путей;  $X_{\text{пар}}$  – подмножество станционных парков;  $X_{\text{гор}}$  – подмножество горок;  $Y_{\text{спец}}$  – подмножество специализаций путей;  $Y_{\text{стр}}$  – под-

множество типов стрелочных переводов;  $Y_{\text{лок}}$  – подмножество типов локомотивов;  $Y_{\text{сорт}}$  – подмножество типов вагонов.

Наглядно представить объединение подмножеств  $X$  и  $Y$  в множество  $Z$  можно с помощью кругов Эйлера. Пример с формированием подмножества  $X$  представлен на рисунке 1.

Рисунок 1 – Круг Эйлера, образующий множество инфраструктурных элементов  $X$



Правило объединения элементов между собой представлено записями:

$$f: x_1 \rightarrow y_1, f: x_2 \rightarrow y_2, f: x_3 \rightarrow y_3, f: x_4 \rightarrow y_4, f: x_5 \rightarrow y_5, f: x_6 \rightarrow y_6.$$

Тогда множество  $Z$  будет выглядеть следующим образом:

$$Z = X \times Y = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots \}. \quad (3)$$

Для запуска математического цикла операций необходимо загрузить данные из АС «ТРА». Для организации внешних связей программы с АС «ТРА» используются ссылки для получения данных из автоматизированных информационных систем ОАО «РЖД». Вводим множество  $Z_{\text{тра}}$  для сравнений подмножеств  $X$  и  $Y$  с нормативными подмножествами  $X_{\text{тра}}$  и  $Y_{\text{тра}}$ , где  $X_{\text{тра}}$  является подмножеством инфраструктурного назначения, а  $Y_{\text{тра}}$  – подмножеством технологического назначения. Совместно, подмножества  $X_{\text{тра}}$  и  $Y_{\text{тра}}$  образуют множество элементов  $Z_{\text{тра}}$ , представленное следующей формулой

$$Z_{\text{тра}} = \{X_{\text{тра}} \cdot Y_{\text{тра}} = \{(x_{1_{\text{тра}}}, y_{1_{\text{тра}}}), (x_{2_{\text{тра}}}, y_{2_{\text{тра}}}) \dots \}, \quad (4)$$

где  $X_{\text{тра}}$  – подмножество инфраструктурных элементов станции, выгруженный из АС «ТРА» (стрелочный перевод, диспетчерский съезд, станционный путь, станционный парк, горка);  $Y_{\text{тра}}$  – подмножество технологических элементов станции, выгруженный из АС «ТРА» (специализация пути, тип стрелочного перевода, тип локомотивов, тип вагонов, направление движения путей, направление движения поездов, тип связи на станции, принцип управления стрелочным переводом).

Множество элементов  $Z_{\text{тра}}$  является нормативной библиотекой, в которой содержатся все данные по выбранной станции и служат для сверки начерченной схемы со схемой загруженной в рабочее окно программы. При загрузке данных происходит проверка на полное соответствие элементов множества  $Z$  с элементами множества  $Z_{\text{тра}}$  согласно формуле

$$\{(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots\} = \left\{ \left( x_{1_{\text{тра}}}, y_{1_{\text{тра}}} \right), \left( x_{2_{\text{тра}}}, y_{2_{\text{тра}}} \right) \dots \right\}, \quad (5)$$

$$Z = Z_{\text{тра}}$$

Если условие согласно формуле (5) не удовлетворено, то необходимо провести корректировку элементов с целью получения одинаковых размерностей инфраструктурного и технологического диапазонов множеств  $Z$  и  $Z_{\text{тра}}$ . В случае удовлетворения этого условия необходимо добавить дополнительные подмножества  $X_{\text{сцб}}$  и  $Y_{\text{сцб}}$ , образующие множество  $Z_{\text{сцб}}$ . Описание множества  $Z_{\text{сцб}}$  приведено в формуле (6). Подмножество  $X_{\text{сцб}}$  используется для обозначения инфраструктурных элементов немасштабного плана СЦБ станции (сигналы, изолирующие участки, негабаритные стыки, стрелочные переводы), а подмножество  $Y_{\text{сцб}}$  обозначает технологические функции немасштабного плана СЦБ (направление движения путей, направление движения поездов, локомотивов и вагонов, направление регулирования движения светофором, тип связи на станции, принцип управления стрелочным переводом). Условие удовлетворения идентичности элементов  $X_{\text{сцб}}$  и  $Y_{\text{сцб}}$  с множеством элементов библиотеки  $Z_{\text{тра}}$  проверяется по формулам

$$Z_{\text{сцб}} = X_{\text{сцб}} \times Y_{\text{сцб}} = \left\{ \left( x_{1_{\text{сцб}}}, y_{1_{\text{сцб}}} \right), \left( x_{2_{\text{сцб}}}, y_{2_{\text{сцб}}} \right) \dots \right\}; \quad (6)$$

$$\left\{ \left( x_{1_{\text{сцб}}}, y_{1_{\text{сцб}}} \right), \left( x_{2_{\text{сцб}}}, y_{2_{\text{сцб}}} \right) \dots \right\} = \left\{ \left( x_{1_{\text{тра}}}, y_{1_{\text{тра}}} \right), \left( x_{2_{\text{тра}}}, y_{2_{\text{тра}}} \right) \dots \right\}, \quad (7)$$

$$Z_{\text{сцб}} = Z_{\text{тра}}$$

где  $X_{\text{сцб}}$  – подмножества инфраструктурных элементов немасштабного плана СЦБ станции (стрелочный перевод, диспетчерский съезд, станционный путь, станционный парк, горка);  $Y_{\text{сцб}}$  – подмножество технологических элементов немасштабного плана СЦБ (направление движения путей, направление движения поездов, тип связи на станции, принцип управления стрелочным переводом).

Определяем, что «1» обозначает полное соответствие и удовлетворение математического условия ограничения, а «0» – несоблюдение условия и выявление ошибки. Таким образом, множества должны удовлетворить следующему условию

$$\begin{aligned} \text{If } [Z_{\text{сцб}} = Z_{\text{тра}} = Z] = 1 &\rightarrow Z_{\text{цтмс}}, \text{ then Continue,} \\ \text{If } [Z_{\text{сцб}} = Z_{\text{тра}} = Z] = 0 &\text{, then False and Return.} \end{aligned} \quad (8)$$

Удовлетворение условию (8) формирует множество элементов  $Z_{\text{цтмс}}$ , называемое множеством элементов цифровой топологической модели станции. Если условие (8) неудовлетворенно, необходимо внести поправки в основные множества элементов  $Z$ ,  $Z_{\text{тра}}$  и  $Z_{\text{сцб}}$ , а затем заново произвести проверку условия (8). На основе математического алгоритма программы по разработке цифровой модели станции составлена блок-схема, которая демонстрирует основной принцип работы. Блок-схема представлена на рисунке 2.

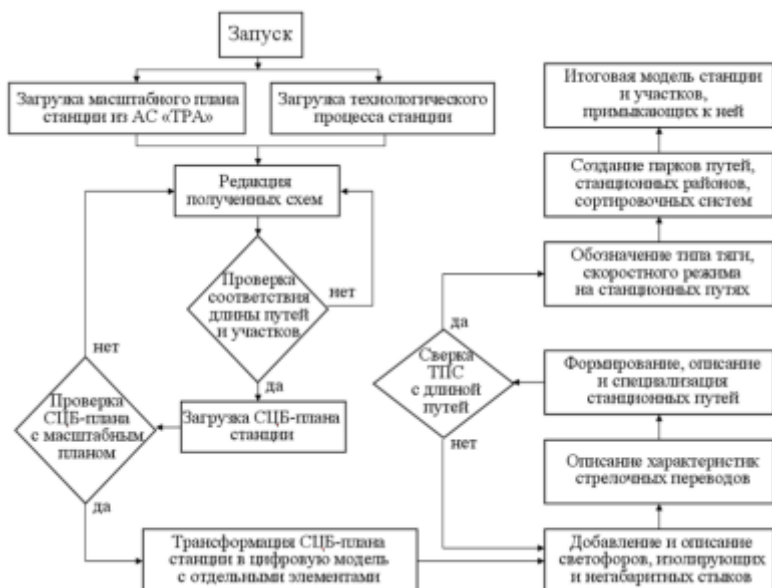


Рисунок 2 – Блок-схема принципа работы алгоритма цифровой топологической модели станции

Результаты работы алгоритма показали, что данный инструмент может послужить платформой для разработки и получения цифровых топологических моделей железнодорожных станций. Можно произвести моделирование инфраструктурных и технологических процессов на станциях, что позволяет сократить трудозатраты на прогнозирование работы железнодорожных станций при изменении величин пассажиро- и грузопотока. Также алгоритм обеспечивает наглядное имитационное отображение всех происходящих процессов на станции и дает возможность заранее идентифицировать «узкие места».

В дальнейшем данный алгоритм подлежит дополнительной проработке для добавления динамики технологических процессов на цифровой топологической модели станции.

Использование интеллектуальной системы моделирования технологических и инфраструктурных процессов на железнодорожном транспорте дает возможность:

- моделировать разные технологические и инфраструктурные ситуации на сортировочной станции с целью сокращения простоя транзитных поездов с переработкой и без переработки;
- улучшить показатели работы сортировочной станции за счёт изменения технологии работы сортировочной станции;

- проанализировать разные технологические ситуации на сортировочной станции с изменением грузопотока и вагонопотока;
- моделировать работу сортировочной станции при изменении количества маневровых локомотивов, станционных бригад и специализации ресурсов на станции;
- определить узкие места на сортировочной станции;
- моделировать отдельные технологические маршруты с целью внедрения таких маршрутов в технологию работы сортировочной станции;
- получить среднесуточные показатели работы сортировочной станции с учётом того, что первые расчётные сутки являются предварительными (разгонными), а вторые – учётными;
- детально рассмотреть динамику работы и простоя всех элементов сортировочной станции.

Основным преимуществом программы является ее гибкость и возможность подстройки к новым моделируемым ситуациям работы сортировочной станции с быстрой обработкой множества больших данных, сравнением с критичными нормативами в онлайн-режиме, а при возможности прямого подключения программы к серверам автоматизированных аналитических баз данных ОАО «РЖД» программа может в реальном времени дать оперативное решение проблемы в сложившейся ситуации с учётом реальных параметров работы на всей сети железных дорог Российской Федерации.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Александров, П. С. Введение в теорию множеств и общую топологию / П. С. Александров. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. – 369 с.
- 2 Лавров, И. А. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов / И. А. Лавров, Л. Л. Максимова. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 256 с.

*Z. JANEV, E. A. OVCHINNIKOVA, N. O. BERESTOK*

#### **MATHEMATICAL ALGORITHM FOR CREATING DIGITAL TOPOLOGICAL MODEL OF THE RAILWAY STATIONS IN THE PROGRAM “ISUZHT”**

The article considers a mathematical algorithm for creating a digital topological model of a railway station in the working window of the ISUZHT program. The mathematical algorithm is based on set theory, and an example of mapping subsets using Euler circles is presented also. The stages of digitization of topological models of stations are developed and the basic rule of combining elements is revealed. A simulated display of the station diagram and a description of the operation technology using a flowchart is achieved.

Получено 18.10.2020