

# АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ В ОБЩИХ СЕЧЕНИЯХ ИХ ПРОСЛЕДОВАНИЯ



С.П. Вакуленко



В.И. Апатцев

В статье описан разработанный авторами алгоритм определения размеров движения грузовых поездов в различных сечениях железнодорожных узлов и требуемого фонда номеров, выделяемого в нормативном графике движения поездов. Алгоритм учитывает структуру железнодорожного узла, взаимное расположение станций, открытых для грузовой работы и тарифные ограничения на пропуск грузовых поездов по отдельным участкам железнодорожной инфраструктуры узла.

**Ключевые слова:** транспортные потоки, грузовые перевозки, железнодорожный узел, размеры движения, эксплуатация инфраструктуры

EDN: KZVDBF

Целью разработки новых принципов проектирования и организации работы железнодорожных узлов является повышение эффективности использования железнодорожной инфраструктуры и улучшение показателей пропуска вагонопотока [1;2]. В зависимости от географического расположения и устоявшейся технологии работы железнодорожных узлов на сети на каждую станцию в пределах железнодорожного узла может приходиться различный объем работ при сопоставимом оснащении этих станций [3].

Интенсификация движения пассажирских и пригородных поездов в крупнейших железнодорожных узлах приводит к исчерпанию существующей провозной способности участков и требует решения более сложных эксплуатационных задач по разработке графика движения поездов [4]. Для сохранения технологической возможности продвижения материального потока железнодорожным транспортом в центр агломерации необходимо устанавливать технологические ограничения к параметрам пропускаемых грузовых поездов

**Вакуленко Сергей Петрович**, кандидат технических наук, профессор, заместитель директора по международным связям Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: пропускные и перерабатывающие способности линий и станций, управление вагонными парками, логистика грузовых и пассажирских перевозок, мультимодальные перевозки, транспортные коридоры, техническое оснащение и технология работы станций (всех типов). Автор более 300 научных работ.

**Апатцев Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор, советник при ректорате Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация и управление транспортными процессами. Автор около 200 научных и учебно-методических трудов.

**Калинин Кирилл Антонович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности эксплуатации железнодорожной инфраструктуры в грузовом и пассажирском сообщениях, конфигурация работы железнодорожных узлов, организация высокоскоростных пассажирских перевозок, современные логистические технологии на железнодорожном транспорте. Автор 80 научных работ, в том числе пяти учебных пособий и пяти монографий.

**Ершов Андрей Дмитриевич**, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: моделирование работы железнодорожных станций и участков, развитие полигонных технологий, современные логистические технологии на железнодорожном транспорте. Автор 20 научных работ, в том числе одного учебного пособия и одной монографии.

[5]. К качественным показателям организации пропуска грузовых поездов можно отнести их маршрутную скорость движения [6;7], эффективное использование пропускной и провозной способности сети [8–10], согласованность технологии работы отдельных станций и железнодорожных узлов между собой [11;12]. Внедрение новых технологий управления движением и совершенствование систем интервального регулирования в целях сокращения допустимого интервала между различными категориями поездов позволит повысить пропускную способность существующей железнодорожной инфраструктуры [13].

Простои в железнодорожном узле могут возникать в случае несогласованного подвода поездов различных назначений. Управление движением поездов, подход которых в различные временные промежутки носит вероятностный характер, происходит посредством назначения ниткам дробной нумерации в нормативном графике движения поездов [14]. Такая нумерация обозначает, что грузовые поезда нескольких назначений могут проследовать по такой нитке графика в различные сутки. При подобном способе организации движения возникают проблемы — при одновременном прибытии поездов двух назначений с различных подходов в железнодорожном узле могут возникать простои и для минимизации этогоостоя необходимо диспетчерское регулирование движения поездов на участке. Следует учитывать фактическую вероятность подхода в один день поездов соответствующих назначений на нитке графика. Для минимизации возникающих простоев при назначении дробных номеров на нитку графика могут применяться различные подходы к выбору нитки для обозначения дробности [15]. От выбора нитки графика для назначения дробного номера зависит величинастояния грузовых поездов в железнодорожном узле. Исходными данными для разработки нормативного графика движения поездов с дробной нумерацией будут являться размеры движения грузовых поездов в различных сечениях в пределах рассматриваемого железнодорожного узла. Для определения перспективных размеров движения грузовых поездов в различных сечениях авторами был разработан алгоритм, приведенный ниже.

### **Переменные, используемые в описании алгоритма**

При описании разработанного алгоритма используются следующие переменные и обозначения:

- $st \in [0...ST]$  — массив станций в пределах рассматриваемого полигона или железнодорожного узла;
- $ST$  — общее количество станций  $st$  в пределах рассматриваемого полигона или железнодорожного узла;

- $per \in [0...PER]$  — массив перегонов;
- $PER$  — общее количество перегонов, соединяющих станции  $st$  в пределах рассматриваемого полигона или железнодорожного узла;
- $per(st_{per;d}; st_{per;a})$  — координаты перегона в массиве  $per$ , соединяющие станции  $st_{per;d}$  и  $st_{per;a}$  из массива станций  $st$ ;
- $st_{per;d}$  — координата станции в массиве  $st$ , являющаяся станцией отправления на перегон при построении маршрута следования грузовых поездов;
- $st_{per;a}$  — координата станции в массиве  $st$ , являющаяся станцией прибытия с перегона при построении маршрута следования грузовых поездов;
- $l_{per} \in [0...L_{PER}]$  — массив фактических (или тарифных, в случае наличия численных отличий) протяженностей перегонов в массиве  $per$ , км;
- $L_{PER}$  — длина перегона  $PER$ , км;
- $rt$  — исследуемый маршрут перемещений поездов-допотоков в пределах рассматриваемого железнодорожного узла или полигона железной дороги. Общее количество маршрутов  $rt$  определяется исходя из поставленной задачи.
- $st_{rt,a}$  — изначальная станция отправления, в пределах массива  $st$  (формирования) маршрута при транзитном или внутриузловом (внутриполигонном) перемещении вагонопотока;
- $st_{rt,j}$  — промежуточная станция отправления, в пределах массива  $st$ , грузового поезда при расчете целевого маршрута следования вагонопотока, на  $j$  итерации расчета маршрута;
- $j$  — номер итерации расчета маршрута  $rt$ ;
- $l_{rt;j:min}$  — длина минимального перегона, примыкающего к точке  $st_{rt,j}$  на итерации  $j$ , соединяющего станции  $st_{rt,j}$  и  $st_{rt,j+1}$  при анализе конфигурации маршрута  $rt$ , км;
- $l_{rt,j}(st_{rt,j}; st)$  — фактическая (или тарифная) длина перегона, примыкающего к точке  $st_{rt,j}$  на итерации  $j$ , соединяющего станции  $st_{rt,j}$  и  $st$ , км;
- $b_{rt,j}(st_{rt,a}; st)$  — назначение следования из точки  $st$  в точку  $st_{rt,a}$  при расчете маршрута  $rt$  на итерации  $j$ ;
- $st_{rt;j:1}$  — номер станции  $st$  на итерации  $j$ , являющейся станцией отправления при проследовании минимального перегона  $l_{rt;j:min}$ ;
- $st_{rt;j:2}$  — номер станции  $st$  на итерации  $j$ , являющейся станцией назначения при проследовании минимального перегона  $l_{rt;j:min}$ ;
- $N_n$  — моделируемые размеры движения поездов, следующих по маршруту  $rt$ ;
- $Nbs_n$  — количество перегонов, проследуемых по маршруту  $rt$ ;
- $bs_{rt,per}$  — булева переменная, характеризующая прохождение маршрута  $rt$  по перегону  $per$ ;

- $rt,x$  – номер маршрута  $rt$ , рассматриваемый по координате  $x$  в матрице  $RT \times RT$  при определении фонда номеров на маршруте;
- $rt,y$  – номер маршрута  $rt$ , рассматриваемый по координате  $y$  в матрице  $RT \times RT$  при определении фонда номеров на маршруте;
- $NNbs_r$  – итоговое количество номеров, требуемое для резервации на маршруте  $rt$ .

### Описание разработанного алгоритма

На первом этапе алгоритма (рис. 1) схема железнодорожного узла представляется в виде соответствующих массивов данных, содержащих информацию о множестве железнодорожных станций в пределах рассматриваемого полигона  $st$ , с общим количеством станций  $ST$  и множестве перегонов  $per$ , попарно соединяющих рассматриваемые точки  $(st_{per;d}; st_{per;a})$ . Станции  $st_{per;d}$  и  $st_{per;a}$  являются частью общего массива станций  $st$ .

$$st_{per;d} \subseteq st; st_{per;a} \subseteq st. \quad (1)$$

Каждый перегон имеет длину  $l_{per}$  принятую в соответствии с фактическим или тарифным расстоянием между станциями.

После формирования массивов с информацией о структуре рассматриваемого полигона необходимо

выявить маршруты следования грузовых поездов  $rt$ , каждый из которых будет содержать в себе упорядоченную последовательность перегонов  $per$ , преодолеваемых грузовым поездом. Для выявления внутриузловых маршрутов следования грузовых поездов в условиях наличия ограниченного количества станций формирования поездов целесообразно применение алгоритма Дейкстры, позволяющего для каждого маршрута следования определить последовательность станций при целевой функции минимизации приведенных затрат на пропуск поездов. Расчет производится для каждой станции формирования грузовых поездов.

На рис. 2–4 изображены элементы блок-схемы, последовательно описывающие порядок применения алгоритма Дейкстры при определении внутриузловых маршрутов следования грузовых поездов. На рис. 2 приведены блоки, отвечающие за присвоение на начальной точке маршрута следования поездов  $rt$  и обнуление номера итерации расчета маршрута  $j$ . Искомая протяженность маршрута принимается бесконечно большой:

$$l_{rt,j;\min} := \infty. \quad (2)$$



Рис. 1. Первый фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов (формализация структуры железнодорожного узла)

Вводится ограничение на максимальное количество итераций  $j$  расчета маршрута  $rt$ . Количество итераций не должно превышать общее количество станций в рамках рассматриваемого полигона железной дороги:

$$j < ST. \quad (3)$$

На первой итерации при анализе маршрута  $rt - j$  осуществляется проверка наличия между рассматриваемыми точками  $st_{rt,j}$  и  $st$  соединяющего их перегона из массива  $PER$ . В случае наличия перегона начальная протяженность маршрута принимается равной длине перегона, в прочих случаях протяженность остается неизвестной и принимается равной  $\infty$ , т.е.:

$$\begin{cases} \text{Если } (st_{rt,j}; st) \in [0 \dots PER], \text{ то } l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) = l_{per}(st_{rt,j}; st); \\ \text{Если } (st_{rt,j}; st) \notin [0 \dots PER], \text{ то } l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) = \infty. \end{cases} \quad (4)$$

На последующих итерациях ( $j > 1$ ) происходит поиск более эффективного маршрута следования грузового поезда по критерию сокращения его пробега  $l_{rt}$ . В зависимости от принятого в начале цикла расстояния применяется различный набор операций. При неизвестной начальной длине маршрута, т.е.  $l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) = \infty$ , новое значение длины маршрута принимается как минимально возможное из расстояний между точками  $st_{rt,j}$  и  $st$ :

$$l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) = \min(l_{rt,j}(st_{rt,j}; st)) \text{ для } j \in (1 \dots j-1). \quad (5)$$

В случае наличия выявленного маршрута следования между точками и маршрутным расстоянием  $l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) \neq \infty$ , выполняется проверка целесообразности изменения маршрута следования для уменьшения величины  $l_{rt,j}$ :

$$\begin{cases} \text{Если } (l_{per}(st_{rt,j}; st) + l_{rt,j-1; min}) < l_{rt,j-1}(st_{rt,j-1}; st), \\ \text{то } l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) := (l_{per}(st_{rt,j}; st) + l_{rt,j-1; min}). \\ \text{Если } (l_{per}(st_{rt,j}; st) + l_{rt,j-1; min}) \geq l_{rt,j-1}(st_{rt,j-1}; st), \\ \text{то } l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) := l_{rt,j-1}(st_{rt,j-1}; st). \end{cases} \quad (6)$$

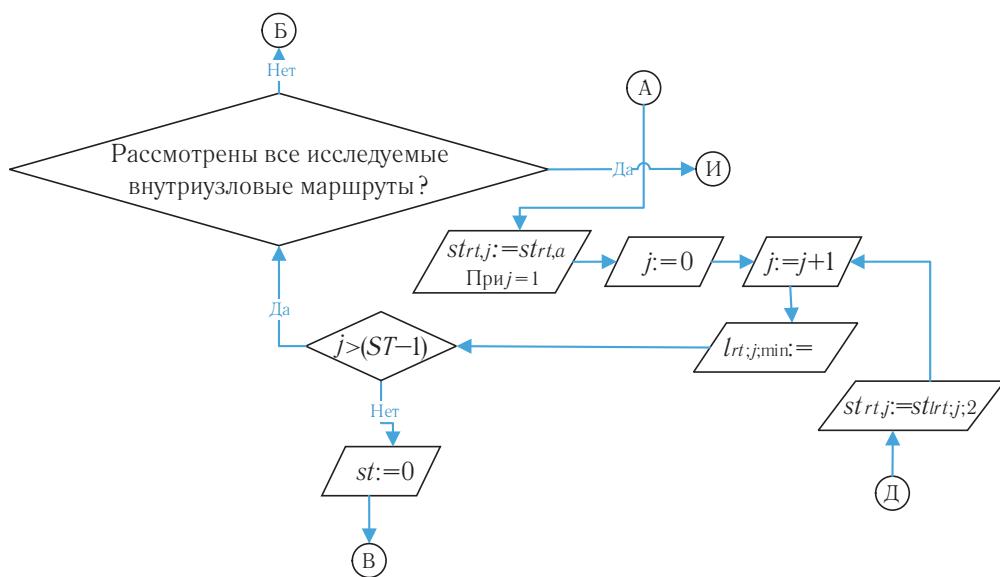


Рис. 2. Второй фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов (присвоение начальных параметров исследуемых маршрутов)

В случае, если все описанные условия изменения маршрута удовлетворяются и выявляется более короткое расстояние, т.е.  $l_{rt,j}(st_{rt,j};st) < l_{rt,j-1}(st_{rt,j-1};st)$  вносятся изменения в составленные матрицы расстояний  $l_{rt}$  и направления следования поезда, изменяется принятное минимальное расстояние и координаты станций отправления и назначения в маршруте следования грузового поезда для последующих итераций  $j+n$ :

$$b_{rt,j}(st_{rt,a};st) := st_{rt,j}, \quad (7)$$

$$l_{rt,j,min} := l_{rt}(st_{rt,i,j};st), \quad (8)$$

$$st_{l_{rt,j};1} := st_{rt,j}; st_{l_{rt,j};2} := st. \quad (9)$$

Описанные фрагменты блок-схем приведены на рис. 4,5.

После проверки всех станций массива происходит переход на следующую итерацию  $j$ , в которой из рассмотрения исключаются все ранее проверенные станции массива  $st$ . После достижения номера итерации, соответствующего количеству станций в массиве  $j=ST$ , выполняется переход на последующий исследуемый в рамках поставленной задачи маршрут:

$$rt := rt + 1. \quad (10)$$

После проверки всех исследуемых внутриузловых маршрутов для каждого из них формируется упорядоченное множество станций массива  $st$ , характеризующее маршрут следования грузового поезда:

$$\forall st_{n,i,j} \in rt | st_{n,i,j} \in st. \quad (11)$$

Общее количество маршрутов для дальнейших преобразований принимается

$$RT := rt. \quad (12)$$

В условиях эксплуатации железнодорожной инфраструктуры в крупных железнодорожных узлах с интенсивным движением прочих категорий поездов, на движение грузовых поездов могут накладываться ограничения на использование определенных участков и перегонов. Следствием таких ограничений может являться принудительное отклонение грузовых поездов на части внутриузловых назначений от оптимального маршрута по критерию минимизации пробега поездов. В дальнейших расчетах для всех рассматриваемых назначений грузовых поездов будет выполняться проверка ограничений и корректировка маршрутов следования при их наличии.

Для каждого назначения  $rt$  задается мощность корреспонденции  $N_r$ , составляется матрица, размерность которой определяется общим количеством маршрутов и перегонов в пределах железнодорожного узла ( $RT \times PER$ ). Каждый элемент полученного массива  $bs_{rt,per}$ , отражающий инцидентность перегонов к выделенным маршрутам следования заполняется переменными из булева множества по принципу:

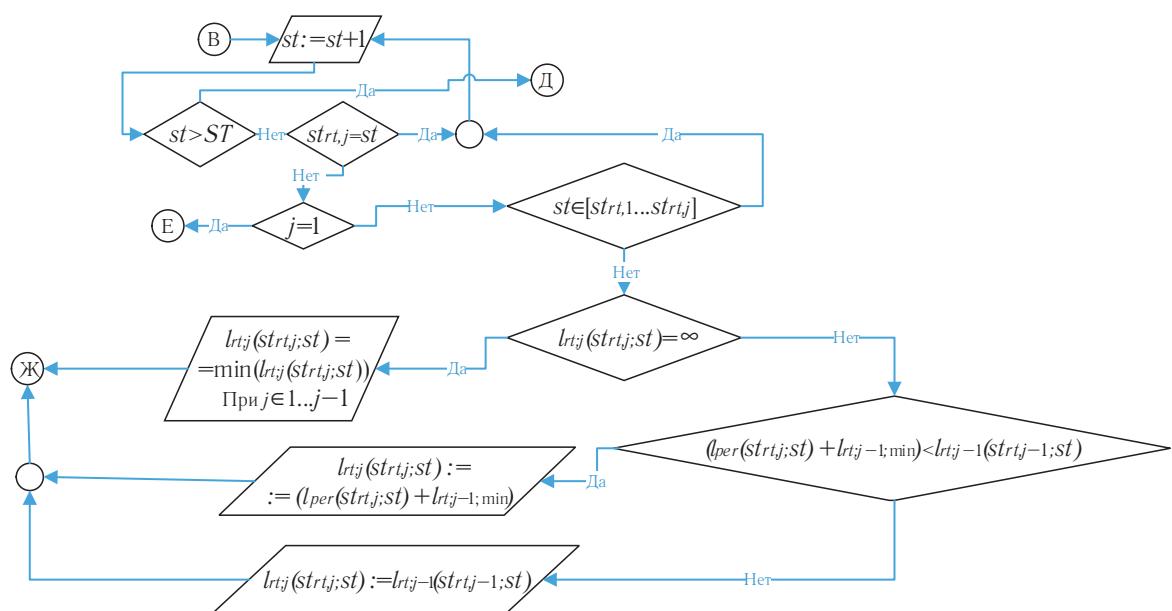


Рис. 3. Третий фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов (выявление более эффективных маршрутов следования)

$$\begin{cases} \text{Если } per \in [b_{rt,j}(st_{rt,a}; st)] \forall j, \\ \text{то } bs_{rt,per} := 1; \\ \text{Если } per \notin [b_{rt,j}(st_{rt,a}; st)] \forall j, \\ \text{то } bs_{rt,per} := 0. \end{cases} \quad (13)$$

Для маршрутов  $rt$  определяется общее количество проследуемых перегонов –  $Nbs_{rt}$ . На первой итерации при  $j=1$ , общее количество проследуемых перегонов принимается равным нулю ( $Nbs_{rt}=0$ ), далее на каждой итерации к этой величине добавляется  $bs_{rt,per}$ , т.е.:

$$Nbs_{rt} := Nbs_{rt} + bs_{rt,per}. \quad (14)$$

Описанный фрагмент алгоритма представлен в виде блок-схемы на рис. 5.

Для определения общих сечений маршрутов  $rt$  составляется матрица сочетаемости назначений размерностью  $RT \times RT$ , элементы массива задаются координатами  $[rt,x]$  и  $[rt,y]$ . Каждый элемент матрицы проверяется на выполнение условия сочетаемости маршрутов  $rt$  по следующему принципу:

- если координата  $[rt,x]$  соответствует  $[rt,y]$ , то идентичный маршрут не является сочетаемым;
- если сумма произведений значений матрицы  $RT \times PER$  маршрутов  $[rt,x]$  и  $[rt,y]$  соответствует величине  $Nbs_{rt}$ , то маршрут  $[rt,x]$  является более дальним по отношению к маршруту  $[rt,y]$ . При расчете фонда номеров на маршруте  $[rt,y]$  будут дополнительно учитываться значения  $[rt,x]$ ;
- если сумма произведений значений матрицы  $RT \times PER$  маршрутов  $[rt,x]$  и  $[rt,y]$  не соответствует величине  $Nbs_{rt}$ , то маршруты могут иметь некоторые

перегоны с общим участком следования поездов, однако не являются сочетаемыми по отношению друг к другу.

Формализовать описанное условие можно следующим образом:

$$\begin{cases} \text{Если } \sum_{per}^{PER} bs_{rt,x,per} \cdot bs_{rt,y,per} = Nbs_{rt}, \\ \text{то } NNbs_{rt,y} := NNbs_{rt,y} + NNbs_{rt,x}. \end{cases} \quad (15)$$

Блок-схема описанного фрагмента алгоритма приведена на рис. 6.

После проверки и заполнения всех ячеек матрицы  $RT \times RT$ , т.е.  $[rt,x] > 0$  и  $[rt,y] > 0$ , определения потенциальных размеров движения грузовых поездов в сечениях для каждого маршрута  $NNbs_{rt,y}$  выводится результат расчета в парах поездов или в общем количестве резервируемых на данном участке номеров. Для определения фонда номеров для каждого  $[rt,y]$  производится удвоение размеров движения поездов, выраженного в парах поездов.

Использование разработанного алгоритма позволяет выявить сечения с наибольшими проектными поездопотоками и наложением маршрутов с образованием дробной нумерации. Полученные значения непосредственно влияют на порядок составления графика движения поездов в крупных железнодорожных узлах или полигонах сети железных дорог. В зависимости от применяемого типа графика движения поездов для каждой нитки грузового поезда определяется ее дробность, т.е. фактическое количество номеров, присваиваемое каждой нитке графика. 

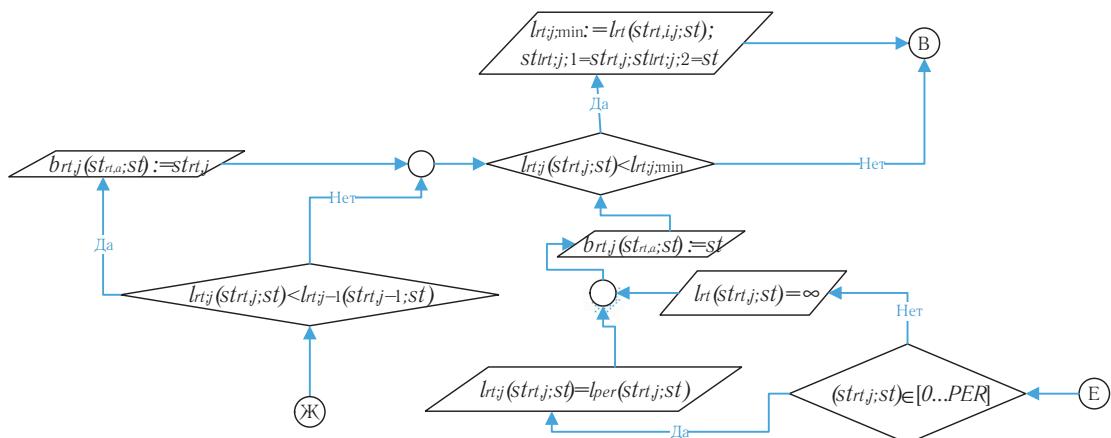


Рис. 4. Четвертый фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов (корректировка параметров исследуемых маршрутов)

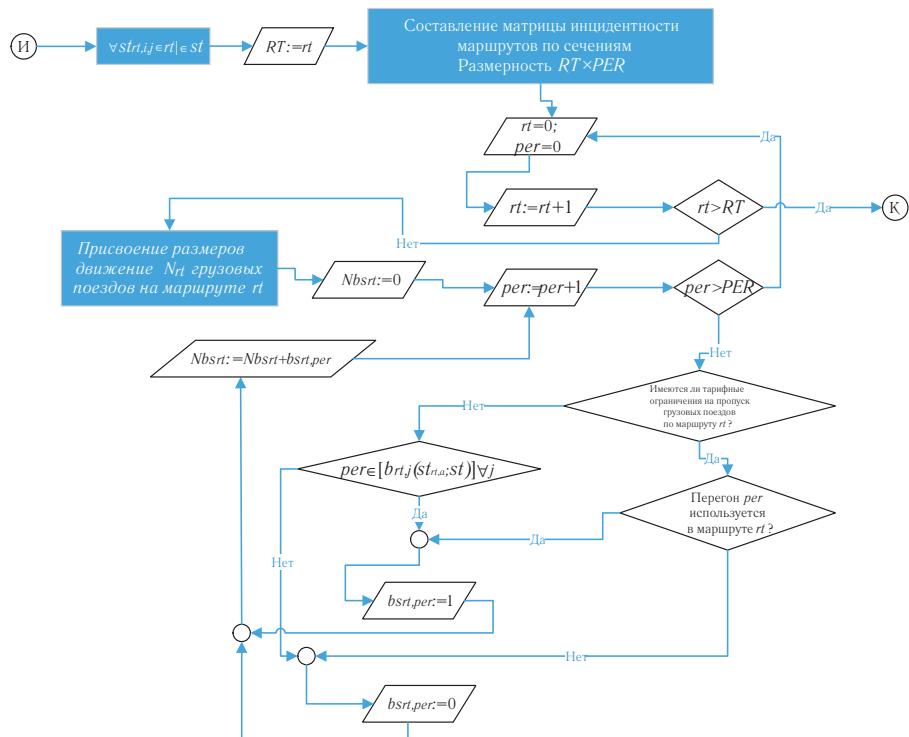


Рис. 5. Пятый фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов

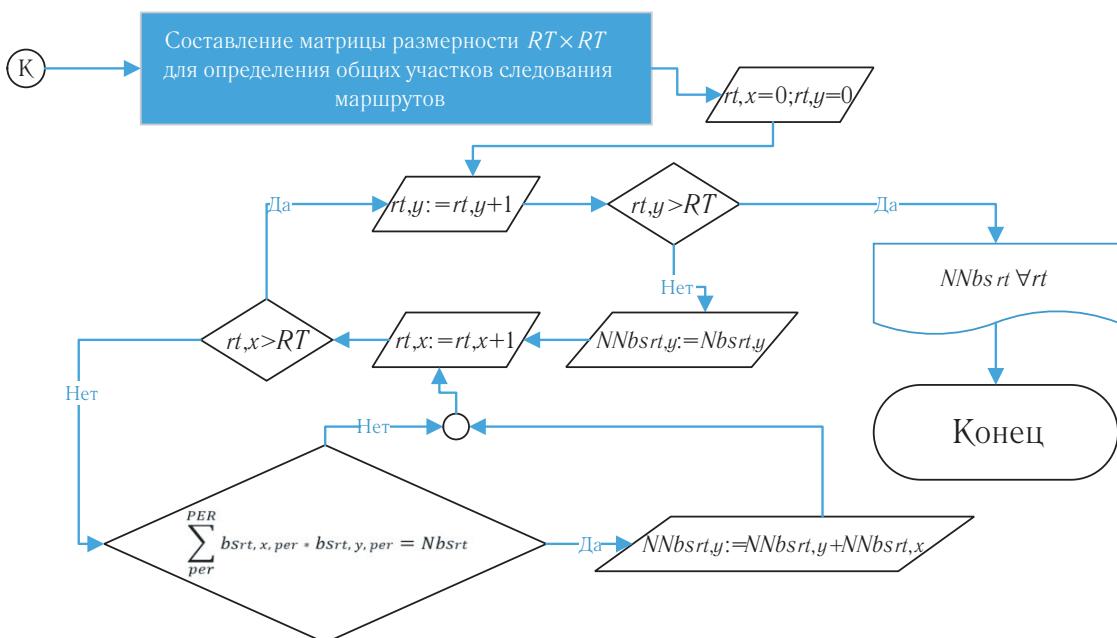


Рис. 6. Шестой фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов  
(определение размеров движения в общих сечениях)

## Литература

1. Железнодорожные станции и узлы: учебник / В. И. Апатцев, С. П. Вакуленко, А. К. Головнич [и др.]. - Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2024. - 692 с. - EDN ISGFDR. - Текст : непосредственный.
2. Вакуленко, С. П. Изменение характера работы железнодорожных узлов в условиях внедрения новых технологий перевозок / С. П. Вакуленко, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Академик Владимир Николаевич Образцов - основоположник транспортной науки: труды международной научно-практической конференции, Москва, 17 ноября 2023 года. - Москва : ЗАО «Университетская книга», 2023. - С. 448-454. - EDN: DBNYLD.
3. Вакуленко, С. П. Особенности распределения вагонопотоков на сети железных дорог / С. П. Вакуленко, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2024. - №9. - С. 12-15. - EDN: ALEVLE.
4. Методологические основы технологии организации пригородно-городских пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в крупных транспортных узлах (на примере Центрального транспортного узла: опыт и перспективы) / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин [и др.]. - Москва : РУТ (МИИТ), 2023. - 428 с. - EDN: FFIEBQ.
5. Куренков, П. В. Перспективы организации развоза грузов на радиальных участках Московского железнодорожного узла / П. В. Куренков, К. А. Калинин, П. В. Иванов. - Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. - 2024. - № 10. - С. 32-44. - EDN: MCOSMF.
6. Задачи развития системы оперативного управления перевозочным процессом / М. И. Мехедов, Е. А. Сотников, П. С. Холодняк, С. В. Лобанов. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2024. - № 6. - С. 4-9. - EDN: DCAWBJ.
7. Метод участковых скоростей для диагностики перевозочного процесса сети железных дорог / С. А. Виноградов, М. И. Мехедов, Л. А. Мугинштейн [и др.]. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2022. - № 4. - С. 12-17. - EDN: HDGPJH.
8. Оценка баланса провозной способности полигонов сети железных дорог / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, М. А. Агеева [и др.]. - Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2022. - Т. 81, № 2. - С. 158-169. - DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-2-158-169. - EDN: RDALYA.
9. Повышение и использование перевозочной мощности полигонов сети: эффективные стратегия и тактика / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. А. Лаханкин [и др.]. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2022. - № 7. - С. 8-16. - EDN: RZTHWU.
10. Бородин, А. Ф. Использование ресурсов железнодорожной сети: результативность планирования и управления / А. Ф. Бородин, Р. В. Шиндеров, Р. Г. Строченков. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 3(82). - С. 3-10. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-3-3-10. - EDN: QYCIJB.
11. Об устойчивости транспортных систем / П. А. Козлов, С. П. Вакуленко, О. В. Осокин, Н. В. Якушев. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 2(81). - С. 11-15. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-2-11-15. - EDN: CHWROF.
12. Козлов, П. А. Оптимизация развития транспортных узлов и полигонов на основе имитационного моделирования / П. А. Козлов. - Текст : непосредственный // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». - 2023. - № 8-2. - С. 30-40. - EDN: GEIEHV.
13. Оптимизация управления движением поездов: учебное пособие для студентов специальностей «Управление и информатика в технических системах» и «Электрическая тяга» / Баранов Л. А. [и др.]; под ред. Л. А. Баранова; ФГБОУ ВПО «Московский гос. ун-т путей сообщ.», Каф. «Упр. и информатика в технических системах». - Москва : ФГБОУ ВПО «Московский гос. ун-т путей сообщ.», 2011. - 163 с. - ISBN 978-5-7876-0151-0. - EDN: QNYRIV. - Текст : непосредственный.
14. Вакуленко, С. П. Структуризация опыта применения дробной нумерации в графике движения поездов в крупных железнодорожных узлах / С. П. Вакуленко, А. Д. Ершов, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2024. - № 1. - С. 44-50. - EDN: LMZPLM.
15. Вакуленко, С. П. Определение интервалов между грузовыми поездами при использовании полностью дробной нумерации ниток поездов в нормативном графике движения / С. П. Вакуленко, А. Д. Ершов, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Интеллектуальные транспортные системы: материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2024 года. - Москва : Российский университет транспорта (МИИТ), 2024. - С. 54-62. - DOI 10.30932/9785002446094-2024-54-62. - EDN: IQIOUV.