

УДК 629.424.2

*В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, В. Г. КОЗЛОВ, научный сотрудник, И. М. ЛИТВИНОВА, ассистент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

## ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСЧЕТА ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В РЕГИОНАЛЬНОМ И ГОРОДСКОМ СООБЩЕНИЯХ

Рассматриваются вопросы оптимизации потребного количества моторвагонного подвижного состава для обслуживания региональных и городских линий по заданным размерам движения с использованием математических методов и современных информационных технологий на транспорте. Приведен анализ существующих методов решения задачи, дана область их применения и структуризация исходных данных. Разработан алгоритм проведения расчетов по оптимизации потребного количества моторвагонного подвижного состава и решена задача автоматизации расчетов с помощью АСР «Пригород».

**З**адача оптимизации потребного количества моторвагонного подвижного состава (МВПС) для обслуживания пассажиров в региональном сообщении является многофакторной, и ее решение должно учитывать способы и условия организации движения пассажирских поездов региональных линий. Кроме того, для региональных поездов характерны периоды интенсивного прибытия их с головной станции в утренние часы и отправления – в вечерние, маятниковое движение поездов на участках, примыкающих к железнодорожным узлам, назначение на нитку графика движения поездов МВПС различной вместимостью.

Высокая степень неопределенности влияния факторов, неравномерность перевозок требуют наличия больших резервов подвижного состава, трудовых ресурсов, пропускной способности участков, станций и вокзалов для освоения потребных объемов перевозок. Все это вызывает необходимость систематического поиска наиболее эффективных способов оптимизации потребного количества моторвагонного подвижного состава на региональных линиях.

На решение данной задачи накладываются такие ограничения, как существующий график движения поездов и заданные размеры движения пассажирских поездов регионального сообщения, минимально необходимое время нахождения состава в пунктах оборота, время технического обслуживания подвижного состава и др. Данные ограничения в значительной мере определяют эффективность и качество перевозочного процесса, так как, с одной стороны, с ними связаны время доставки пассажиров, а с другой, – потребность в подвижном составе, необходимая пропускная способность, затраты железных дорог на выполнение заданного объема перевозок.

Задача оптимизации потребного количества МВПС относится к сложным, так как необходимо освоить пассажиропоток, величина которого обладает во времени высокой неравномерностью, и надо учитывать совокупность затрат. Для решения таких задач следует использовать современные математические методы и применять информационные технологии для реализации процедур автоматизации решения задач. В задачах подобного типа может быть использована динамическая модель, с помощью которой можно производить расчеты минимально необходимого числа МВПС для обслуживания региональных поездов, а также осуществлять

оперативное регулирование потребности МВПС на Белорусской железной дороге при изменении графика движения поездов.

Существующие методы определения потребности МВПС для региональных поездов можно подразделить на аналитические и графоаналитические.

**Аналитические методы** применяют при определении потребности парка МВПС на дальнюю и среднесрочную перспективу в целом по железной дороге, по полигонам тяги и направлениям, а также для текущих нужд по отделениям железных дорог и депо.

**Графоаналитический метод** может применяться для определения потребного количества составов МВПС при оперативном планировании на конкретных участках обращения этих поездов. Расчет ведется по графику или ведомости оборота моторвагонного подвижного состава, в основе составления которых лежит график или расписание движения поездов. Точность расчета достаточно большая и определяется устойчивостью принятого графика движения поездов. График оборота составов является не только расчетным документом, но и планом работы МВПС и локомотивных депо на период действия графика движения поездов.

Структуризация исходных данных и результатов расчета в существующих методах определения потребности МВПС показаны на рисунке 1.

На практике основным методом оперативного планирования и определения потребности МВПС принят графоаналитический, основой которого является график оборота составов. Он строится на основании графика движения региональных поездов, разработка которого, в свою очередь, производится с учетом возможности осуществления оборота моторвагонных подвижных составов. Так, отправление с зонной станции прибывшего состава должно устанавливаться с таким расчетом, чтобы время стоянки было не меньше суммы времени на операции по прибытию и отправлению этого состава. Продолжительность операций с составом определяется с учетом ограничений:

- технологических (нормативов, заложенных в технологическом процессе работы станций);
- технических (наличия технических средств для возможности параллельного выполнения операций с различными МВПС);



Рисунок 1 – Структура исходных данных и результатов в методах расчета потребности парка моторвагонного подвижного состава

– путевого развития станций (возможность приема и длительного отстоя необходимого количества составов, в отдельные периоды времени).

Для оптимизации потребного количества МВПС на основании графика оборота региональных поездов, как правило, используют метод линейного программирования. Однако этот метод сложен в реализации на практике, поэтому для решения данной задачи необходима автоматизация расчета. Алгоритмизация процесса позволяет создать прикладной программный продукт и использовать его в оперативном планировании потребности МВПС на Белорусской железной дороге.

Сущность метода линейного программирования в данной задаче сводится к тому, что из всех возможных вариантов увязки составов по обороту можно найти вариант с минимальным временем простоя их под оборотом. При обороте составов по принципу «первым прибыл, первым отправился» вариант увязки составов один, он же и оптимальный вариант. В условиях интенсивного движения региональных поездов (рисунок 2) и ограничениях времени нахождения составов на станции этот вариант будет нарушен. В этих случаях необходимо составлять и анализировать возможные варианты увязки оборота составов.

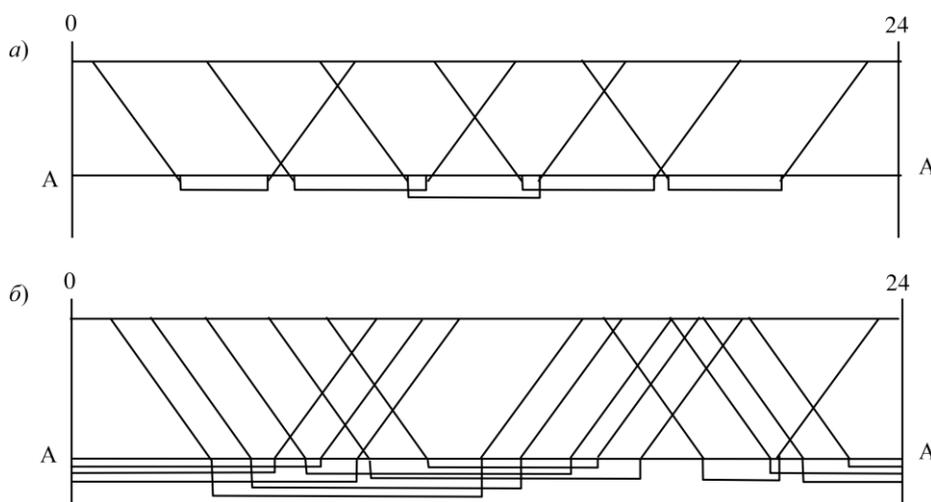


Рисунок 2 – Варианты графика оборота моторвагонных подвижных составов:

*а* – равномерная прокладка региональных поездов на графике движения; *б* – неравномерное движение региональных поездов на графике



Таблица 3 – Расписание движение региональных поездов по станции Осиповичи

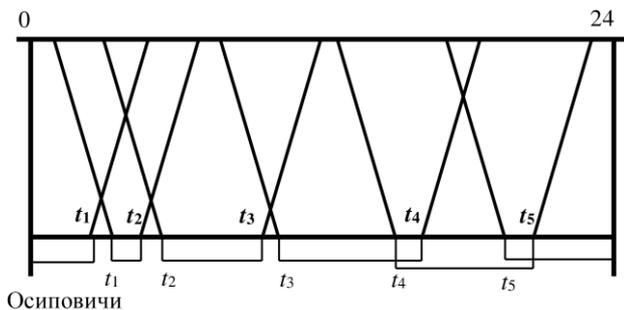
Номер поезда	6501	6503	6505	6507	6511	6502	6504	6506	6510	6512
Прибытие, $t_i$	7:05	8:44	12:39	16:13	19:41	–	–	–	–	–
Отправление, $t_j$	–	–	–	–	–	6:23	8:29	12:18	17:13	21:04

Вместо матрицы стоимостей  $C_{ij}$  получим матрицу предшествования  $D_{ij}$ :

$$D_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_i^{np} + t_{об} \leq t_j^{от}, \text{ т.е. } t_i^{np} \text{ предшествует } t_j^{от}; \\ 1, & \text{если } t_i^{np} + t_{об} > t_j^{от}, \text{ т.е. } t_j^{от} \text{ предшествует } t_i^{np}. \end{cases}$$

На рисунке 3 показаны график оборота моторвагонного подвижного состава по станции Осиповичи (сверху) и матрица предшествования (внизу). Особенности такой матрицы заключаются в том, что правее и выше любого нуля расположены только нули, а ниже и левее любой единицы – только единицы. Как видно из рисунка, граница  $L$  разделяет ломаной жирной линией нули и единицы. Ломаная линия чаще всего расположена над диагональю и характеризуется длиной горизонтальных ступенек, измеряемых числом столбцов, содержащих единицу.

$$L_1 = 1; L_2 = 1; L_3 = 1; L_4 = 1; L_5 = 1.$$



$$D_{ij} =$$

$t_i$	$t_j$				
	1	2	3	4	5
1	1	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0
3	1	1	1	0	0
4	1	1	1	1	0
5	1	1	1	1	1

Рисунок 3 – Пример построения графика оборота составов по станции Осиповичи и соответствующая ему матрица предшествования

При этом максимальная длина ступеньки  $L_{max}$  соответствует оптимальному числу составов, которые переходят на другие сутки и представляют линейную форму  $M = \sum_{i=1}^{N_{np}} \sum_{j=1}^{N_{от}} d_{ij} X_{ij}$ , где  $X_{ij}$  соответствует условию (2). Так как при парном графике движения региональных поездов время прибытия  $t_i^{np}$  может быть увязано с временем отправления  $t_j^{от}$  и наоборот, то справедливы и соотношения (3). Матрица решений  $X_{ij}$ , характеризующая график оборота составов, показанный на рисунке 2, имеет вид

$$X_{ij} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$a) M = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 d_{ij} X_{ij} = 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 1.$$

Возможны варианты, когда на станции оборота на следующие сутки остается несколько составов. Тогда существует ряд графиков с оптимальной величиной линейной формы  $M$ . В этом случае имеем следующий алгоритм расчета:

- в потенциальную клетку столбца 1 засылаем единичную подставку  $X_{K_1} = 1$ . Клетка столбца  $j$  называется потенциальной, если при засылке в нее единичной подставки не нарушается оптимальность решения;

- вычеркивая столбец 1 и строку  $K_1$ , получаем матрицу порядка  $N - 1$ ;

- в одну из потенциальных клеток столбца 1 полученной матрицы помещаем снова единичную подставку  $X_{K_2} = 1$ ;

- вычеркиваем столбец 2 и строку  $K_2$ . После этого переходим к матрице  $N - 2$  и повторяем действия последовательно до тех пор, пока не спустимся к матрице первого порядка.

Такой цикл расчетов дает возможность получить первый оптимальный вариант

$$X_{K_1 1} = 1; X_{K_{N-1} N-1} = 1;$$

$$X_{K_2 2} = 1; X_{K_N N} = 1.$$

Прежде чем решать следующий вариант, проверяем исходную матрицу  $D_{ij}$ , чтобы установить, нет ли не рассмотренных в столбце 1 ее потенциальных клеток. При наличии таких клеток записываем в них  $X_{K'_{N-1} N-1} = 1$  и снова переходим к матрице первого порядка. Тогда получаем новое оптимальное решение:

$$X_{K_1 1} = 1; X_{K'_{N-1} N-1} = 1;$$

$$X_{K_2 1} = 1; X_{K_N N} = 1;$$

$$X_{K_{N-1} N-2} = 1.$$

После рассмотрения в матрице второго порядка всех потенциальных клеток возвращаемся к матрице третьего порядка и т. д. до исходной матрицы порядка  $N$ , пока не будут зафиксированы все потенциальные клетки. Таким порядком получают все варианты с одинаковой и оптимальной величиной линейной формы  $M$ .

На основании вышеуказанных процедур расчета научно-исследовательской лабораторией «Управление перевозочным процессом» БелГУТа была разработана автоматизированная система расчета «Пригород». Данный программный продукт позволяет спе-

циалистам Белорусской железной дороги строить график оборота моторвагонных составов региональных и городских линий и определять потребное количество МВПС для обслуживания заданных размеров движения на конкретных линиях. Результаты расчета программы могут быть представлены в виде графика оборота составов, а также в виде различных табличных форм.

Автоматизированная система расчета «Пригород» предназначена для использования на дорожном и отделенческом уровнях Белорусской железной дороги. Она позволяет осуществлять оперативное регулирование потребности составов региональных и городских поездов на Белорусской железной дороге в условиях изменения графика движения поездов, а также

обслуживание железнодорожных участков минимально возможным количеством МВПС.

#### Список литературы

1 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок / под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 542 с.

2 **Кочнев, Ф. П.** Пассажирыские перевозки на железных дорогах / Ф. П. Кочнев. – М. : Транспорт, 1972. – 407 с.

3 **Пазойский, Ю. О.** Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) / Ю. О. Пазойский, Л. С. Рябуха, В. Г. Шубко; под ред. В. Г. Шубко. – М. : Транспорт, 1991. – 240 с.

Получено 10.11.2013

**V. G. Kuznechov, V. G. Kozlov, I. M. Litvinova.** Information and analytical solution of the model calculation amount need multiple units in regional and urban transport.

Questions of optimization required quantity multiple units for maintenance of regional and urban lines given the dimensions of movement using mathematical methods and modern information technologies in transport. An analysis of existing methods of solving the problem, given the scope of their application and structuring of the source data. An algorithm for optimizing the calculations required amount of multiple units and solves the problem of automation of calculations using RSA «Suburbs».