

УДК 656.212.5

В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, В. Г. КОЗЛОВ, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ОДНОГРУППНЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

Расчет плана формирования одногруппных грузовых поездов на железнодорожном направлении представляет собой сложный и трудоемкий процесс и требует использования аналитических методов, которые позволяют находить с высокой точностью решение, близкое к оптимальному плану формирования при небольшом количестве операций. Неточность результатов, получаемых с использованием различных аналитических методов расчета можно определить с помощью моделирования исходных состояний железнодорожного направления, расчета плана формирования и проведения сравнительного анализа полученных результатов, который показал вероятностную оценку появления ошибки, что позволило разработать новые подходы к расчету плана формирования грузовых поездов и получать более точные результаты.

**В**ажной задачей повышения эффективности эксплуатации работ железной дороги является оптимизация расходов на организацию вагонопотоков в поезда различных категорий на основе поиска наилучшего плана формирования. Задача выбора плана формирования грузовых поездов на железной дороге относится к задачам комбинаторики с большим количеством вариантов и достаточно сложными логическими действиями при использовании аналитических методов. Решение задачи характеризуется трудоемкостью и требует весьма квалифицированного труда. Например, на железнодорожном направлении из пяти технических станций, участвующих в расчете плана формирования одногруппных поездов, число вариантов плана формирования при использовании метода абсолютного расчета (*полный перебор всех вариантов*) равно 64, а для десяти станций число вариантов превышает 68 миллиардов, для каждого из которых на основе аналитических зависимостей определяются зависящие затраты. Из полученных результатов отбирается вариант с наименьшими затратами, который при отсутствии ограничений, и будет являться оптимальным вариантом плана формирования.

В связи с указанной трудоемкостью, многими учеными в области эксплуатации железных дорог были разработаны аналитические методы расчета, упрощающие процедуру и алгоритмы расчета. Это позволяет за относительно небольшое количество операций расчета для железнодорожного направления с достаточно большим числом станций, найти оптимальный или близкий к нему вариант плана формирования. В научной литературе при анализе аналитических методов расчета указывается, что они позволяют найти оптимальный план формирования (ОПФ) или близкий к нему, но не указывается погрешность расчетов и вероятность совпадения результатов с ОПФ. Для оценки неточности расчетов был произведен сравнительный анализ традиционных методов расчета, а также новых способов расчета ПФ.

**1 Метод совмещенных аналитических сопоставлений**, получивших наибольшее распространение из-за точности получаемых результатов, при небольшом количестве шагов расчета, а также «простоты» реализации программными средствами, разработанный в 1948 году д. т. н., профессором К. А. Бернгардом. Сущность данного метода заключается в последовательном отбо-

ре наиболее выгодных назначений плана формирования. Достигается это на основе построения и последовательной пошаговой корректировки графа возможных назначений, который представляет собой совокупность всех возможных маршрутных назначений сквозных одногруппных поездов с включением в каждое назначение максимально возможного числа корреспонденций. Пошаговая корректировка графа осуществляется последовательным выбором одного назначения вагонопотока с использованием трех основных условий оценки: общего достаточного условия (ОДУ), необходимого условия (НУ) и достаточного условия (ДУ). После отбора назначения оно включается в ОПФ. Подробное описание метода и алгоритма расчета представлено в учебной и научной литературе [1].

**2 Метод совмещенных аналитических сопоставлений с новым, предложенным авторами, критерием выделения исходных назначений.** Изменения затрагивают три основных условия метода 1: ОДУ, НУ, ДУ, взамен которых предлагается одно условие:

$$t_{pq}^{np} = \max \left\{ \frac{\sum N_{pq} T_{эк} - c_p m_{pq}}{N_{pq}} \right\}, \quad (1)$$

где  $\sum N_{pq} T_{эк}$  – экономия приведенных вагоно-часов от проследования без переработки вагонов назначения от станции  $p$  до станции  $q$ ;  $N_{pq}$  – мощность данного назначения, вагонов;  $c_p m_{pq}$  – затраты на накопление, вагоно-часов.

Из графа вариантов за исходное назначение выбирается назначение, отвечающее условию (1). Это назначение используется для последующих сопоставлений с более короткими назначениями. Последующие действия расчета выполняются по алгоритму метода 1.

**3 Абсолютный расчет с предложенным авторами алгоритмом направленного перебора конкурентных назначений.** Из графа всех возможных назначений для полного перебора отбираются только конкурентные назначения, отвечающие следующему условию:

$$\sum T_{эк}^{pq} > t_{\max}^{np}, \quad (2)$$

где  $\sum T_{эк}^{pq}$  – сумма экономии часов от проследования станций без переработки вагонов назначения  $pq$ ;  $t_{\max}^{np}$  – максимальное значение приведенных часов экономии из всех возможных назначений [формула (1)].

**4 Метод с использованием алгоритма «муравьиной колонии»** – один из эффективных полиномиальных алгоритмов для нахождения приближённых решений в задачах поиска маршрутов на графах [2]. В основе алгоритма лежит модель «поведения» муравьёв, ищущих пути от колонии к источнику питания и представляет собой метаэвристическую оптимизацию.

**5 Метод с использованием «жадного алгоритма»** – с одним условием, при котором последовательно выделяются в ОПФ назначения, дающие наибольшую экономию вагоно-часов [3]:

$$\max \left\{ \sum N_{pq} T_{эк} - c_p m_{pq} \right\}. \quad (3)$$

Сравнение методов расчета проводилось на основе моделирования различных вариантов образования исходных вагонопотоков на условных железнодорожных направлениях. Для каждого варианта исходных корреспонденций вагонопотока произведен расчет плана формирования вышеуказанными методами с последующим сравнением полученных результатов. Из-за воз-

растающего объема вычислений методом абсолютного расчета при увеличении числа технических станций и упрощения процедуры расчета железнодорожное направление представлено двумя группами сложности: 1) направление до 7 технических станций со сравнением результатов с методом абсолютного расчета; 2) железнодорожное направление, включающее 7 и более технических станций со сравнением результатов с методом 3 (т. к. данный метод расчета показывал результаты, более близкие к ОПФ).

Полученные результаты расчетов методами 4 и 5 имели значительное отклонение от ОПФ, поэтому не приводятся. Например, алгоритм «муравьиной колонии» при 5 станциях на направлении давал только 60 % результатов, соответствующих или близких к ОПФ. Результаты сравнения остальных методов сведены в таблицу 1 и представлены в виде графика совпадений результатов с ОПФ (рисунок 1) и гистограммы распределения отклонений расчетных затрат вагоно-часов от ОПФ (рисунок 2).

Таблица 1 – Результаты анализа расчетов плана формирования грузовых поездов

Количество станций на направлении	Размер выборки исходных состояний	Метод совмещенных аналитических сопоставлений			Метод совмещенных аналитических сопоставлений с новым критерием выделения назначения в ОПФ			Абсолютный расчет с направленным перебором		
		Количество совпадений с ОПФ	Совпадение с ОПФ, %	Максимальное отклонение затрат от ОПФ, %	Количество совпадений с ОПФ	Совпадение с ОПФ, %	Максимальное отклонение затрат от ОПФ, %	Количество совпадений с ОПФ	Совпадение с ОПФ, %	Максимальное отклонение затрат от ОПФ, %
5	10000	9199	92	14	9655	96,5	12	9851	98,5	3
6	200	160	80	10	190	95	8	197	98	1
7	10000	7702	77	30	9404	94	9	Абсолютный расчет не производился. Сравнение результатов расчетов методами 1 и 2 производилось с данным методом		
8	10000	6496	65	17	8898	89	8			
9	10000	5153	51,5	26	8559	85,5	5			
10	10000	4000	40	22,5	8112	81	4			
15	200	6	3	13	125	63	2,5			

*Примечание* – Расчет производился с использованием «облачных» вычислений на базе мощностей Amazon Elastic Compute Cloud (2 virtual cores with 2.5 EC2 Compute Units each).

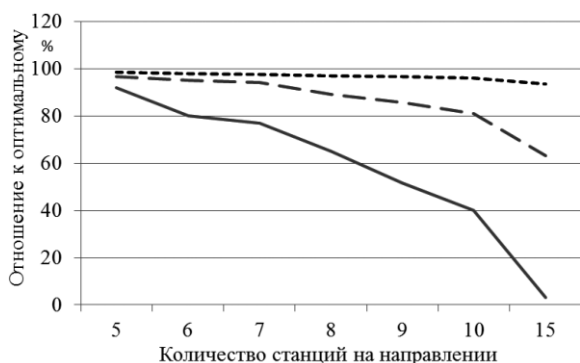


Рисунок 1 – Результаты расчетов с ОПФ методами:

- совмещенных аналитических сопоставлений;
- - - совмещенных аналитических сопоставлений с новым критерием;
- · - · - абсолютного расчета с предложенным авторами алгоритмом направленного перебора конкурентных назначений

Результаты сравнения, представленные на рисунке 1, показали, что с увеличением числа станций на направлении количество совпадений результатов расчетов с оптимальным планом формирования уменьшается и при 15 станциях достигает следующих значений: методом совмещенных аналитических сопоставлений только 2 % совпадений; совмещенных аналитических сопоставлений с новым критерием отбора назначений – 60 %; методом абсолютного расчета с предложенным алгоритмом направленного перебора – более 90 %. Следовательно, можно сделать вывод, что предложенные методы 2 и 3 в сравнении с традиционным методом совмещенных аналитических сопоставлений позволяют находить с наибольшей вероятностью наилучший план формирования грузовых поездов.

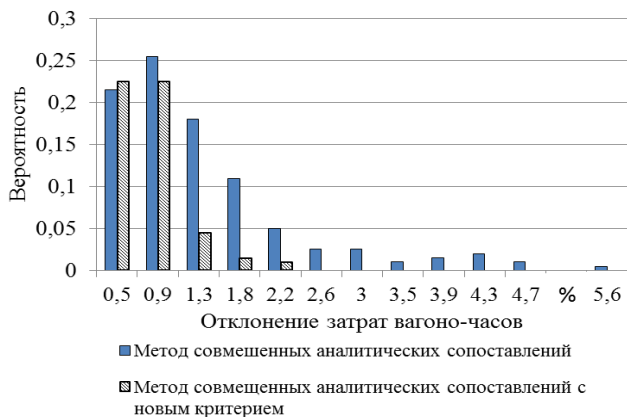


Рисунок 2 – Гистограмма распределения отклонений затрат вагоно-часов от ОПФ при 15 станциях на направлении

Распределение отклонений затрат вагоно-часов от ОПФ при 15 станциях на направлении методами 1 и 2 (рисунок 2) можно описать законом распределения Эрланга. Математическое ожидание составляет 1,5 % традиционным методом 1 и 0,6 % методом 2. Максимальное отклонение затрат составляет 13 % и 2,5 % соответственно. Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный метод совмещенных аналитических сопоставлений с новым критерием выделения назначений позволяет получать результаты более близкие к ОПФ. При этом метод является более производительным и при равных условиях можно применять в расчетах при большом количестве станций на направлении.

Более точные результаты дает и метод 3 – абсолютного расчета с направленным перебором вариантов. Математическое ожидание отклонений затрат вагоно-часов от ОПФ составляет порядка 0,1 %. Данный метод можно использовать при расчете плана формирования

грузовых поездов на направлениях, включающих в себя до 16 технических станций, когда при 7 станциях метод абсолютного расчета требует значительных вычислительных мощностей (продолжительности расчета).

**Выводы:** При автоматизации расчета плана формирования грузовых поездов на железнодорожном направлении из 7 и более станций целесообразно применять аналитические методы расчета. С достаточно небольшим допущением отклонения расчетных затрат вагоно-часов от ОПФ на направлении до 16 станций рационально использовать метод абсолютного расчета с предложенным алгоритмом перебора вариантов. В целом, для нахождения наилучшего плана формирования на железнодорожном направлении, где необходимо использовать аналитические методы, расчет должен производиться несколькими аналитическими методами, с последующим выбором оптимального варианта.

### Список литературы

- 1 **Петров, А. П.** Составление плана формирования поездов на электронных цифровых машинах / А. П. Петров, К. А. Бернгард; под ред. А. П. Петрова. – М. : Трансжелдориздат МПС. – 1962. – 231 с.
- 2 **Dorigo, M.** Ant colony optimization: Artificial ants as a computational intelligence technique / M. Dorigo, M. Birattari, T. Stützle. – Bruxelles : Iridia, 2006.
- 3 Алгоритмы: Построение и анализ / под ред. И. В. Красикова. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 1296 с.
- 4 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок / под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 542 с.
- 5 **Кузнецов, В. Г.** Расчет объемов транспортного потока по направлениям железнодорожной сети / В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов, М. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2011. – № 1. – С. 68–71.

Получено 08.04.2013

**V. G. Kuznetsov, V. G. Kozlov.** Evaluation of analytical method in calculating plans to create single-group freight trains.

The calculation of the plan of forming single-group freight trains on railway lines is a complex and time-consuming process and requires the use of analytical methods for a small number of operations allowed to find a solution close to the optimal plan formation. Analytical methods have different scopes of application of varying accuracy and purpose of the plan for the formation of the organization in a train wagon traffic. The inaccuracy of calculation results obtained using different analytical methods of calculation can be determined by modeling the initial states of railway lines, calculating plan formation and comparative analysis of the results. When comparing the results of calculations obtained using conventional analytical methods established probabilistic assessment of the error and suggest new approaches to the calculation of plan formation of a freight train, produce more accurate results.