

Повышение оперативности грузоперевозок армейской авиации

А.А. Кузнецова^{1,2}, В.С. Виноградов¹, С.В. Ктитров²

¹ОАО «РТИ»

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Действия сухопутных войск в современных условиях отличаются высокой динамичностью, широким маневром во фланг и тыл противника, быстрым переносом усилий с одного направления на другое. Однако, несмотря на оснащение сухопутных войск современной высокопроходимой боевой техникой и отлаженной системой специально-технического и тылового обеспечения, для своевременного маневра войск в ходе боевых действий широко применяется транспортная и армейская авиация (АА). Поэтому одна из важных задач, решаемых органами военного управления, заключается в планировании перевозок авиации, а основным критерием эффективности является минимизация расходуемого летного ресурса при временных и пространственных ограничениях.

$$\sum_{m=1}^M \left[R_m + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N r_{mij} x_{mij} \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

где M – число маршрутов, N – суммарное число пунктов погрузки и выгрузки, x_{mij} – переменная, характеризующая направление движения между пунктами i и j , R_m – дополнительные затраты на m -м маршруте, связанные с местоположением пункта базирования, r_{mij} – затраты на перелет между пунктами i и j по m -му маршруту, которые могут быть рассчитаны следующим образом:

- 1) $r_{mij} = n_m S_{ij}$ – расходуемый ресурс, исчисляемый в км;
- 2) $r_{mij} = n_m \frac{S_{ij}}{v_m}$ или $r_{mij} = t_{mij}$ – расходуемый ресурс, исчисляемый в часах полета.

n_m – число вертолетов на m -м маршруте, S_{ij} – расстояние между пунктами i и j , v_m – скорость вертолета, t_{mij} – время перелета между пунктами i и j по m -му маршруту.

Временные ограничения накладываются на время прибытия АА в пункты погрузки/выгрузки: в каждый пункт вертолеты должны прибыть в пределах заранее установленного временного интервала («временного окна»), $\forall j = \overline{1, N}, \forall m = \overline{1, M}$:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N x_{mij} (T_{mi} + t_{mij} - T_{mj}) \leq 0, \quad (2)$$

$$a_i \leq T_{mi} \leq b_i, i = \overline{1, N},$$

где T_{mi} – время прибытия в i -й пункт по m -му.

Пространственные ограничения, к примеру, могут быть следующими: суммарный вес грузов на каждом маршруте не может превышать заданной величины, а длина проложенного маршрута должна соответствовать техническим возможностям вертолетов, $\forall m = \overline{1, M}$:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N G_{mij} x_{mij} \leq G^{max}, \quad (3)$$

$$S_m + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N S_{ij} x_{mij} \leq S_m^{max}, \quad (4)$$

где G_{mij} – вес груза, перевозимого между пунктами i и j по m -му маршруту, G^{max} – максимальный вес грузов для всех маршрутов, S_m – дополнительное расстояние, которое учитывает расположение пункта базирования; S_m^{max} – максимальное расстояние, которое может преодолеть вертолет заданного типа по m -му маршруту (рассчитывается на основании тактико-технических характеристик).

Для разработки математической модели в работе предложена формализация исходной задачи на основе задачи многомерной маршрутизации с временными окнами (the multiple Vehicle Routing Problem with Time Windows – mVRPTW) [1], [2] с учетом дополнительных ограничений

и фиксации граней допустимой области решений – связей конкретных пунктов погрузки и выгрузки, определяющих направление движения вертолетов на маршруте.

В полученной постановке присутствует множество неизвестных переменных: $M \times N^2$ пространственных, представляющих собой булевы переменные, и $M \times N$ временных, принимающих целочисленные значения. Также стоит отметить, что в большинстве случаев заведомо может быть не задано количество выполняемых маршрутов M , что в свою очередь осложняет процедуру поиска решения.

Однако возрастание требований к оперативности управления войсками и вовлечение большего количества сил и средств при одновременном планировании операций ведет к неэффективности применения классических подходов к решению транспортных задач в исходной размерности. Поэтому для усовершенствования алгоритмов поиска в работе предлагается существенно снизить размерность задачи за счет предварительной оценки допустимой области решений на основании специфики задачи, а именно временных окон и фиксированных граней. Такой подход позволяет свести исходную задачу к одной или нескольким задачам меньшей размерности, для решения которых могут быть применены известные методы (например, метод ветвей и границ, генетический алгоритм, алгоритм муравьиной колонии и др.) [3]. Хотя таким образом не гарантируется получение точного оптимального решения, предварительный анализ допустимой области позволяет найти приближенное к точному решение и на 30-40% сокращает время составления план-графика перевозок по сравнению со временем поиска решения поставленной оперативно-тактической задачи в исходной размерности.

Литература

1. *Dumas Y., Desrosiers J., Gelinat E., Solomon M.M.* An optimal algorithm for the traveling salesman problem with time windows // *Operations Research*. 1995. V.43. P. 367-371.
2. *Гладков Л.А., Гладкова Н.В.* Особенности и новые подходы к решению динамических транспортных задач с ограничением по времени // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2014. № 7 (156). С. 178-187.
3. *El-Sherbeny Nasser A.* Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods // *Journal of King Saud University (Science)*. 2010. V. 22. P. 123-131.