

УДК 656.225

П. Г. ДЕМИДОВ, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО МАРШРУТА ВЫПОЛНЕНИЯ ВОИНСКОЙ ПЕРЕВОЗКИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ КАРТЫ МЕСТНОСТИ

Приведена методика определения рационального маршрута воинской перевозки на основе цифровой карты местности. Более подробно рассмотрен алгоритм выбора маршрута при совершении марша, обеспечивающего выполнение системы ограничений, обусловленных особенностями пересекаемой местности и условиями боевой обстановки.

В современных условиях большое значение придается повышению боевой готовности войск, в которой важнейшей составляющей является тщательное планирование воинских перевозок с использованием различных видов транспорта.

В связи с этим целесообразно применение прогнозистического моделирования данного процесса, что позволит учитывать множество факторов и достаточно точно воспроизводить развитие событий во времени и в пространстве на основе цифровой карты местности (ЦКМ).

Следует отметить, что в основу существующих подходов к моделированию положено, как правило, использование упрощенных методик (например, коэффициентных методик на основе боевых потенциалов) либо применение аналитических моделей, построенных на основе разновидностей метода динамики средних и пр. Однако преследуемые цели прогнозистического моделирования воинской перевозки и специфика рассматриваемого объекта таковы, что любое упрощение ведет к недопустимому искажению получаемого результата.

В статье представлен алгоритм поиска рационального маршрута воинской перевозки на основе ЦКМ (рисунок 1). Последовательность действий по применению данного алгоритма положена в основу методики поиска рационального маршрута воинской перевозки [1]:

1 Задаётся время на перевозку войск T_3 и ограничивается стоимость перевозки C_3 .

2 Осуществляется предварительный анализ участка местности с целью формирования множества дискрет местности, пригодных для дальнейшего решения военно-прикладной задачи.

Следует обратить внимание на то, что в общем случае ЦКМ может содержать множество объектов Ω , из которых подмножество объектов Ω' является критичным. При этом как множество Ω , так и подмножество Ω' могут содержать объекты, оказывающие различное влияние на решаемую задачу.

Каждая дискрета в свою очередь содержит некоторое множество объектов P_{ij} (где i и j определяют место дискреты в регулярной сетке, наложенной на исследуемый участок местности из различных слоев ЦКМ ($P_{ij} \subset \Omega$, $P_{ij} \neq \Omega'$), среди которых могут быть критичные объекты. Для формирования показателя пригодности каждой дискреты составляется характеристическая матрица $\|A_{mn}\|$ с элементами:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } P_{ij} \cap \Omega' \neq \emptyset; \\ 0, & \text{если } P_{ij} \cap \Omega' = \emptyset. \end{cases} \quad (1)$$

Следует отметить, что и объекты внутри подмножества Ω' , формирующего критерий, могут отличаться друг от друга по некоторым, существенным для решаемой задачи, характеристикам, например, дороги могут быть грунтовые или с покрытием. В свою очередь покрытие также может быть разным. Другими словами подмножество Ω' может содержать неравноценные объекты. Для учета этого необходимо назначить каждому объекту внутри подмножества Ω' , формирующего критерий, весовой коэффициент, соответствующий приоритетности некоторой характеристики объекта в подмножестве.

Предположим, подмножество объектов Ω' содержит k объектов ω_l ($l = \overline{1, k}$). Тогда можно составить матрицу весовых коэффициентов $\|T_k\|$, соответствующих объектам рассматриваемого критерия. В этом случае элементы характеристической матрицы $\|A_{mn}\|$ будут формироваться следующим образом:

$$a_{ij} = \sum_{\omega_l \in (P_{ij} \cap \Omega')} T_l, \quad (2)$$

где T_l – коэффициент, соответствующий приоритетности объекта ω_l из подмножества объектов Ω' , $l = \overline{1, k}$.

Значение весового коэффициента объекта внутри множества, формирующего критерий, может выражаться в процентах и выбираться из диапазона от 0 до 100 %, что равносильно введению некоторого эталонного объекта и соответствию других объектов множества этому эталону.

Если критерий носит характер влияния, то значения элементам матрицы присваиваются в соответствии с некоторой функциональной зависимостью $\Psi(\bullet)$, как правило, учитывающей удаленность критичного объекта от соответствующей дискреты местности:

$$a_{ij} = \Psi(d, \omega_l | \omega_l \in (P_{ij} \cap \Omega')), \quad (3)$$

где d – расстояние от ij -й дискреты до дискреты, содержащей объект ω_l .

3 Выбираются рациональные маршруты комбинированной перевозки, выполняемые различными видами транспорта в отдельности:

- а) рассчитываются параметры перевозки войск:
 - железнодорожным транспортом;
 - воздушным транспортом;
 - речным транспортом;

б) рассчитываются параметры передвижения подразделения своим ходом.

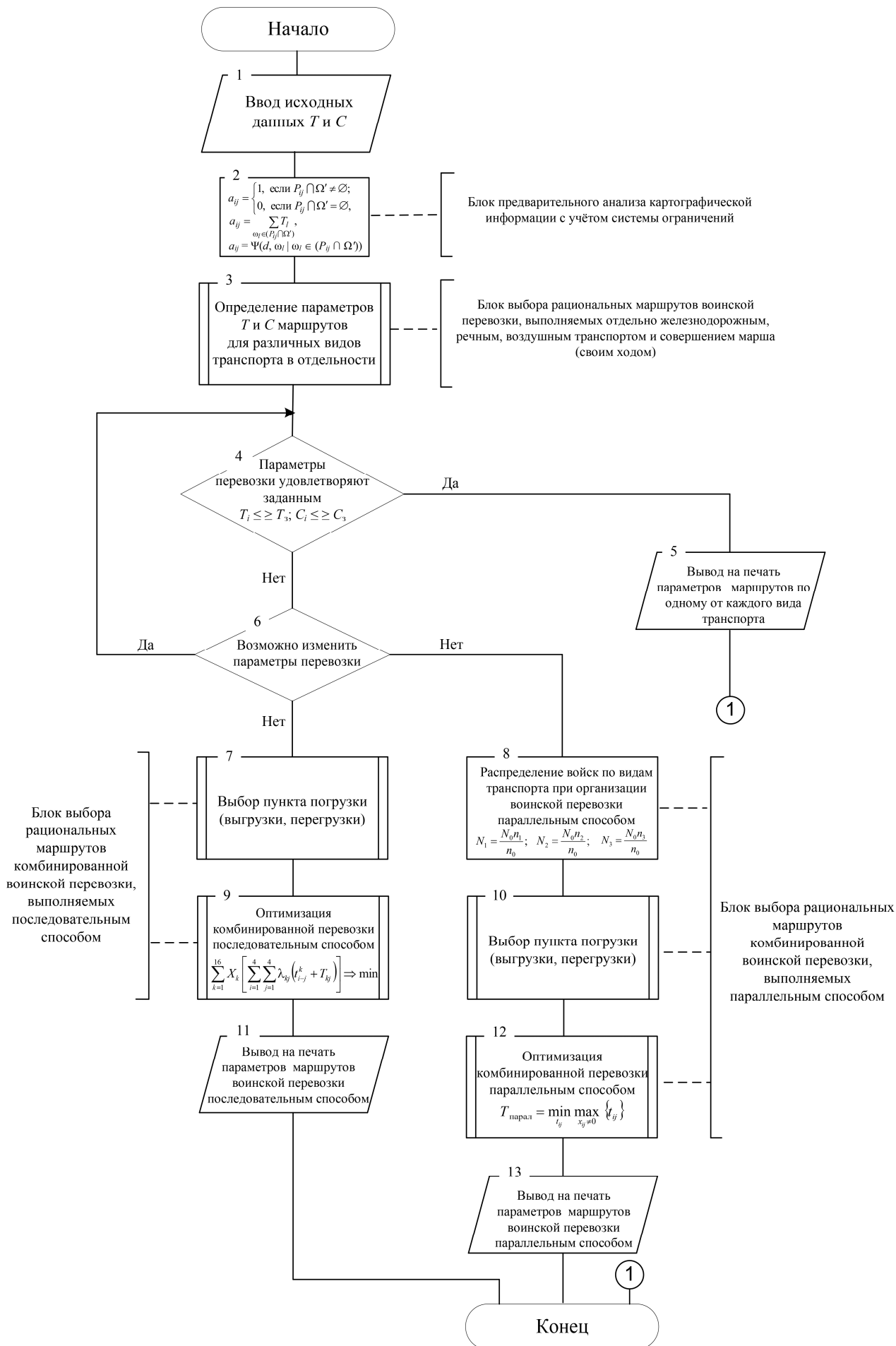


Рисунок 1 – Алгоритм поиска рационального маршрута воинской перевозки

4 Сравниваются рассчитанные для i -го вида транспорта параметры T_i и C_i с заданными T_3 и C_3 .

При сравнении критериев перевозки с заданными возможны три варианта:

а) перевозка войск удовлетворяет двум заданным критериям;

б) перевозка войск удовлетворяет одному из двух заданных критериев;

в) перевозка войск не удовлетворяет ни одному из двух заданных критериев.

5 В первом случае за рациональные принимаются маршруты с наименьшими значениями времени и стоимости по одному от каждого вида транспорта.

6 Во втором и третьем случаях перевозку войск по заданным критериям выполнить невозможно, и производится корректировка времени T_3 и (или) стоимости C_3 перевозки. В этом случае алгоритм повторяется, начиная с пункта 3 (см. рисунок 1). Если корректировка параметров невозможна, планируется выполнение комбинированной перевозки войск одним из способов (последовательным или параллельным).

7 Выбираются рациональные маршруты комбинированной перевозки, выполняемые последовательным способом:

7.1 Выбирается пункт передачи войск с i -го на j -й вид транспорта в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 2 [2].

7.2 Оптимизируется комбинированная перевозка в соответствии с формулой [3]:

$$T_{\text{посл}} = \sum_{k=1}^{16} X_k \left[\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \lambda_{kj} (t_{i-j}^k + T_{kj}) \right] \Rightarrow \min, \quad (4)$$

где X_k – параметр, принимающий значение 1 для искомого оптимального варианта организации перевозки и равный 0 для всех остальных; λ_{kj} – элементы матрицы вариантов перевозки $\|\lambda_{kj}\|$, показывающие наличие или отсутствие j -го вида транспорта в k -м варианте; t_{i-j}^k – время передачи войск для k -го варианта с i -го вида транспорта на j -й; T_{kj} – время движения на j -м виде транспорте.

7.3 На конечном этапе планирования комбинированной последовательной перевозки даются рекомендации по выбору маршрута следования.

8 Выбираются рациональные маршруты комбинированной перевозки, выполняемые параллельным способом:

8.1 Распределяется общий объем комбинированных перевозок войск по видам транспорта в зависимости от наличия путей сообщения в районе перевозки, состава перевозимой боевой техники и сроков выполнения перевозок. Так, например, распределение общего объема перевозок войск железнодорожным транспортом, при условии, что время движения одного поезда от станции погрузки до станции выгрузки по параллельным маршрутам примерно одинаково, устанавливается по формулам

$$N_1 = \frac{N_0 n_1}{n_0}; \quad N_2 = \frac{N_0 n_2}{n_0}; \quad N_3 = \frac{N_0 n_3}{n_0}, \quad (5)$$

где N_1, N_2, N_3 – количество поездов, которое может быть перевезено по первому (второму, третьему) маршруту; N_0 – общее количество поездов, подлежащее перевозке; n_0 – общий (суммарный) темп перевозки по всем парал-

лельным маршрутам, поездов/сутки; n_1, n_2, n_3 – темпы перевозки на параллельных маршрутах, поездов/сутки.

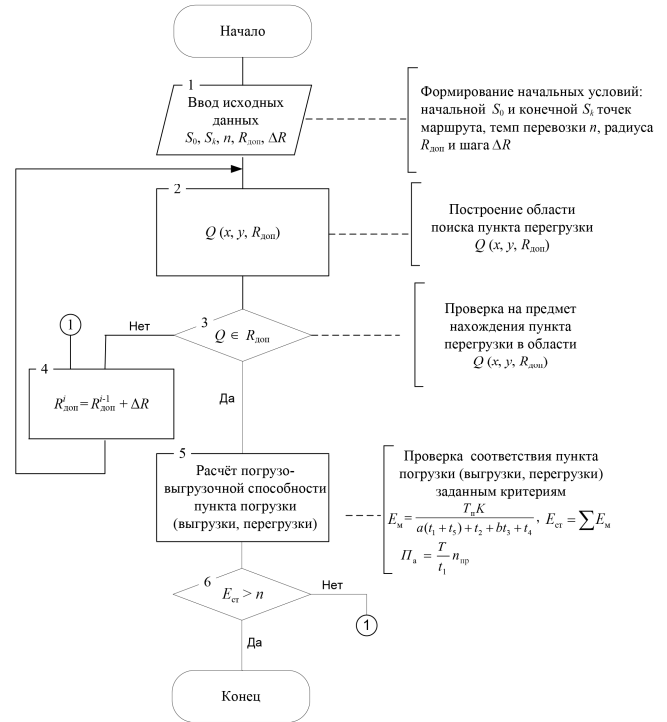


Рисунок 2 – Алгоритм поиска пункта погрузки (выгрузки, перегрузки)

Темп перевозки не должен превышать выделенной пропускной способности для планируемых перевозок. Общий темп комбинированной перевозки по всем маршрутам определяется как сумма частных темпов, а общий темп перевозки при параллельном способе может быть рассчитан по формуле

$$n_{\text{пар}} = n_1 + n_2 + n_3, \quad (6)$$

где n_1, n_2, n_3 – частный темп перевозки на соответствующих видах транспорта.

Частный темп параллельной перевозки на каждом виде транспорта, участвующего в перевозках, устанавливается по формуле

$$n_1 = \frac{N_1}{T_n - \frac{L_1}{V_1}}, \quad (7)$$

где T_n – время на перевозку войск, за вычетом времени на погрузку головного и выгрузку последнего поезда, сут; L_1 – длина маршрута первым видом транспорта, км; V_1 – маршрутная скорость движения, км/сут.

В ходе планирования комбинированных перевозок войск параллельным способом должно соблюдаться основное условие, по которому начало перевозок может быть разновременным, а окончание на всех видах транспорта – одновременным.

8.2 Выбирается пункт погрузки (выгрузки) войск аналогично п. 7.1.

8.3 Оптимизируется комбинированная перевозка в соответствии с формулой [4]:

$$T_{\text{парал}} = \min_{ij} \max_{x_{ij} \neq 0} \{t_{ij}\}. \quad (8)$$

8.4 На конечном этапе планирования комбинированной перевозки войск параллельным способом даются рекомендации по выбору маршрута следования.

Одним из основных блоков описанного выше алгоритма является блок расчета воинской перевозки, осуществляемый различными видами транспорта в отдельности (см. рисунок 1).

В общем случае воинская перевозка может осуществляться с использованием железнодорожного, речного и воздушного транспорта, а также выполняться своим ходом (совершением марша). В то же время территория Республики Беларусь по площади занимает 207,6 тыс. км² и имеет небольшую протяжённость: с севера на юг – 560 км, с востока на запад – 650 км. Использовать воздушный транспорт необходимо только в экстренных случаях, когда требуется перевозку войск произвести в кратчайшие сроки и стоимость перевозки командованием не ограничивается. Так как на территории Республики Беларусь недостаточное количество судоходных рек (каналов), то целесообразно использовать речной транспорт только в случае, когда перевозка не ограничена по времени и требуется уменьшить стоимость перевозки. В связи с этим можно сделать вывод о том, что основным видом транспорта, используемым при выполнении воинской перевозки, будет железнодорожный, а также передвижение подразделений маршем.

Рассмотрим более подробно блок расчета воинской перевозки при совершении марша. При нахождении маршрута необходимо, чтобы он обеспечивал выполнение следующих требований: максимальная скрытность передвижения, минимальное время выхода моделируемого объекта на заданный рубеж, должен проходить, используя складки местности, минуя непреодолимые препятствия и пр.

В основе задач, целью которых является оптимизация маршрута движения на множестве цифровой информации о местности, обеспечивающая экстремум выбранному функционалу с учетом системы допущений и ограничений, находится задача поиска на основе ЦКМ маршрута преодоления моделируемым объектом некоторого участка местности за минимальное время.

Транспортную сеть можно представить в виде графа (рисунок 3), на котором под вершинами понимаются населённые пункты, через которые проходит сеть дорог, а под дугами – участки пути, соединяющие соответствующие города.

В аналитическом виде целевая функция записывается следующим образом [5]:

$$\Theta = \sum_{i=1}^{k-1} A(o_i) \cdot T(o_i, o_{i+1}), \quad (9)$$

где Θ – показатель эффективности найденного маршрута, который требуется минимизировать; $\{o_i\}$ – вершины графа, через которые проходит маршрут, $i = \overline{1, k}$; k – число вершин, через которые проходит маршрут.

В общем случае вес вершины будет определяться наличием тех или иных географических объектов и элементов боевой обстановки в соответствующей дискрете местности, а также в некоторой ее окрестности.

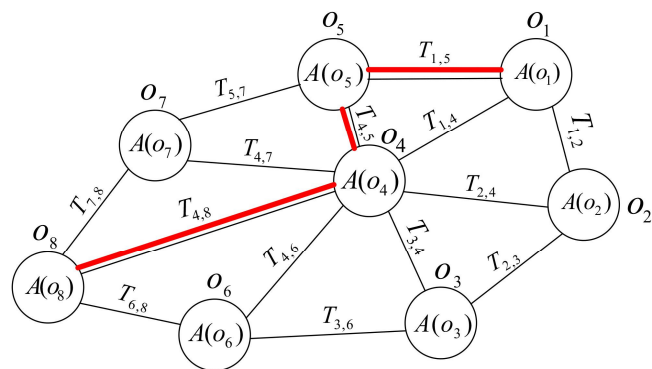


Рисунок 3 – Транспортная сеть, представленная в виде графа: $\{o_i\}$ – вершины графа, через которые может проходить маршрут, $i = \overline{1, 8}$; $A(o_i)$ – функционал, в соответствии с которым вычисляется вес вершины графа o_i ; $T(o_i, o_{i+1})$ – функционал, определяющий время перехода из вершины o_i в вершину o_{i+1} ; $o_1 \rightarrow o_5 \rightarrow o_4 \rightarrow o_8$ – оптимальный маршрут движения

Для вычисления веса вершины графа необходимо сопоставить объекты, присутствующие в данной дискрете и в некоторой ее окрестности, с критичными для решаемой задачи объектами, которые определяются системой требований, предъявляемых к маршруту:

$$A(o_i) = A(\Delta d, P_i, \Omega'), \quad (10)$$

где Δd – размер шага дискретизации; P_i – множество объектов местности и обстановки, присутствующих в дискрете, соответствующей вершине графа o , $i = \overline{1, k}$, и в некоторой ее окрестности; Ω' – подмножество критичных для решаемой задачи объектов местности и боевой обстановки.

Таким образом, если обозначить через вектор \vec{O} множество вершин графа o_i , через которые проходит маршрут, то задача поиска требуемого маршрута сводится к поиску вектора \vec{O}^* , при котором достигается минимальное значение показателя эффективности маршрута:

$$\vec{O}^* = \arg \min_{\vec{O} \in O} \left\{ \sum_{i=1}^{k-1} A(o_i) \cdot T(o_i, o_{i+1}) \right\}, \quad (11)$$

где O – множество вершин, через которые может проходить маршрут.

Исходя из вышеизложенного, решение задачи поиска требуемого маршрута состоит из двух этапов:

– на первом (подготовительном) этапе осуществляется выделение участков местности, по которым может проходить искомый маршрут;

– на втором (заключительном) этапе осуществляется нахождение минимального по времени движения маршрута в соответствии с выражением (11) и учетом системы требований и ограничений, сформированных с помощью выражения (10).

Схема алгоритма поиска маршрута, обеспечивающего наименьшее время перехода из начальной точки S_0 в конечную S_k с учетом системы требований и ограничений, представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Схема алгоритма поиска маршрута, обеспечивающего наименьшее время движения из начальной точки S_0 в конечную S_k

Предложенный алгоритм позволит спланировать воинскую перевозку с учётом множества факторов обстановки и достаточно точно воспроизводить развитие событий во времени и в пространстве на основе ЦКМ, что приведёт к получению более точного результата и возможности вносить изменения в план перевозки в сжатые сроки.

Получено 30.10.2012

P. G. Demidov. Technique of search of a rational route of performance of military transportation on the basis of a digital district map.

The technique of search of a rational route of military transportation on the basis of a digital district map is given. The algorithm of a choice of a route is in more detail considered at commission of the march providing performance of system of restrictions, caused by features of the crossed district and conditions of a fighting situation.

Список литературы

1 Разработка математического обеспечения для планирования комбинированных воинских перевозок с использованием геоинформационных систем : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. Гордюк А. Г.; исполн.: П. Г. Демидов [и др.]. – Гомель, 2011. – 147 с. – Библиогр.: с. 144–147. – Инв. № 07.07-190/2.

2 Демидов, П. Г. Методика и алгоритм выбора пункта погрузки (выгрузки, перегрузки) / А. Г. Гордюк, П. Г. Демидов, А. В. Коломиец // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы респ. науч.-практ. конф., Гомель, 31 марта 2012 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 150–159.

3 Булойчик, В. М. Выбор оптимального маршрута движения при планировании комбинированных воинских перевозок / В. М. Булойчик, П. Г. Демидов // Междунар. науч.-практ. журнал «Чрезвычайные ситуации: образование и наука». – 2011. – Т. 6. – № 2. – С. 28–34.

4 Булойчик, В. М. Военно-прикладные вопросы математического моделирования. В 4 ч. Ч. 1. Математические методы, используемые при разработке моделей для принятия решений: учебное пособие / В. М. Булойчик. – Мн. : Военная академия, 2000. – 179 с.

5 Булойчик, В. М. Алгоритм поиска маршрута, обеспечивающего необходимые условия передвижения мотострелковому подразделению / В. М. Булойчик, Д. М. Скрипко, А. А. Дубровский // Вестник ВА РБ. – 2010. – № 2 (27). – С. 45–52.