

УДК 53.089.6

ПЛАНИРОВАНИЕ ЛОГИСТИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Любкин Роман Николаевич

Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Российская Федерация

Аннотация. В работе представлена методика проектирования маршрутов движения выездных метрологических групп для проведения поверки средств измерений в территориальных органах МЧС России с учетом ограничения времени на командировки. Предложенная методика основана на совместном применении нескольких методик, таких как жадный метод и метод имитации отжига, а также введении ряда дополнительных переменных и ограничений, учитывающих время проведения поверки и иных работ. Совместное применение методик оптимизации транспортных задач позволяет решить задачу с большим количеством территориальных органов и учреждений МЧС России, минимальными затратами ресурсов на расчеты и получением наиболее выгодного маршрута пути движения. Время, отводимое на командировку, а также ряд других ограничений, позволили получить наиболее точные данные для построения маршрутов движения выездных метрологических групп. Применение разработанной методики позволило значительно сократить суммарный пройденный путь и уменьшить количество командировок.

Ключевые слова: средство измерений, поверка, транспортная задача, метод ветвей и границ, динамическое программирование, метод отжига, оптимизация, территориальные органы МЧС

Для цитирования: Любкин Р. Н. Методика оптимизации маршрутов движения выездных метрологических групп МЧС России // Техносферная безопасность. 2025. № 3 (48). С. 81–91.

METHODOLOGY FOR OPTIMIZING THE ROUTES OF THE VISITING METROLOGICAL GROUPS OF THE EMERCOM OF RUSSIA

Roman N. Lyubkin

Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Khimki, Russian Federation

Abstract. The paper presents a methodology for designing routes for mobile metrological groups to verify measuring instruments in territorial bodies of the EMERCOM of Russia, taking into account travel time restrictions. The proposed methodology is based on the combined use of several methods, such as the “greedy method” and the “simulated annealing method”, as well as the introduction of a number of additional variables and restrictions that take into account the time of verification and other work. The combined application of these methods for optimizing

transport tasks makes it possible to solve the problem with a large number of territorial bodies and institutions of the EMERCOM of Russia, with minimal expenditure of resources on calculations, and obtaining the most profitable route. The time allocated for a business trip, as well as a number of other restrictions, allowed made it possible to obtain the most accurate data for building routes for traveling metrological groups. The application of the developed methodology significantly reduces the total distance traveled and the number of business trips.

Keywords: measuring instrument, verification, transport task, method of branches and boundaries, dynamic programming, annealing method, optimization, territorial bodies of the EMERCOM of Russia

For Citation: Lyubkin R. N. Methodology for optimizing the routes of the visiting metrological groups of the EMERCOM of Russia // Technospheric safety. 2025. № 3 (48). pp. 82–92.

Введение

В МЧС России применяют большое количество средств измерений (далее — СИ) военного и специального назначения различных видов. Согласно Федеральному закону от 26.06.2008 № 102-ФЗ все СИ, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, подлежат первичной, а в процессе эксплуатации — периодической, как правило один раз в год поверке [1]. По этой причине все подразделения, эксплуатирующие СИ, обязаны своевременно предоставлять их на поверку. При этом на время изъятия СИ на поверку соответствующее оборудование не способно выполнять поставленные задачи, в результате чего падает готовность подразделения к выполнению своих задач.

Для проведения поверки СИ в МЧС России была создана метрологическая служба МЧС России, головным подразделением которой является ФКУ «ЦБИТ МЧС России» (далее — ЦБИТ). Эта структура отвечает за планирование и проведение метрологического обслуживания территориальных органов и учреждений МЧС России.

Для уменьшения времени поверки практически все СИ давления и вакуума

(что составляет 80 % от общего объема СИ, используемых в МЧС России) поверяют выездные метрологические группы с помощью подвижной метрологической лаборатории (далее — ПМЛ) в подразделениях, где их эксплуатируют.

Для проведения поверки СИ давления и вакуума с помощью ПМЛ в ЦБИТ составляют план командировок выездных метрологических групп. В нем указывают подразделения МЧС России, в которых требуется проведение поверки СИ, количество поверителей и длительность командировок.

В настоящее время командировку выездной метрологической группы формируют таким образом, чтобы длительность командировки составляла не более десяти рабочих дней. Выбирают направление к какому-либо наиболее удаленному территориальному органу МЧС России, где необходимо поверить СИ, и уже по пути движения к этому территориальному органу добавляют подразделения МЧС России, находящиеся в относительной близости от маршрута движения. К примеру, в плане командировок выездных групп на 2023 г. было запланировано 20 командировок, в которых необходимо было посетить 48 территориальных органов и учреждений МЧС России для проведения поверки СИ. Суммарный путь дви-

жения составил 8 640 км. Текущий способ составления плана командировок выездных групп и маршрута движения ПМЛ формируют на основе накопленного опыта проведения проверок СИ в учреждениях МЧС России, что, в свою очередь, не всегда является экономически целесообразным из-за неоправданно больших затрат на пройденный маршрут.

Для уменьшения времени нахождения СИ на проверке, а также уменьшения экономических затрат в результате сокращения

времени движения ПМЛ, необходима оптимизация маршрута движения ПМЛ. Это, в свою очередь, помимо снижения экономических затрат на прохождение маршрута (расходы на топливо, амортизацию автотранспорта и др.), которые находят по формуле (1), приведет к повышению уровня готовности территориальных органов к выполнению задач по предназначению в связи с уменьшением времени простоя оборудования, эксплуатирующего СИ, нуждающегося в проведении проверки.

$$Z = rSC + A_a, \quad (1)$$

где:

Z — экономические затраты, руб.;

r — расход топлива ПМЛ, л/км;

S — пройденный путь, км;

C — цена литра топлива, руб.;

A_a — амортизация автомобиля, руб.

Для оптимизации маршрутов движения выездных метрологических групп необходимо решить частный случай задачи линейного программирования. Подобные примеры представляют задачу коммивояжера, которая заключается в том, что при движении от места старта необходимо пройти все точки и вернуться назад, при этом посетив точку только один раз [2].

В работе [3] был предложен способ оптимизации маршрута движения выездной метрологической службы. В ней вопрос построения маршрута решается через задачу коммивояжера в классическом исполнении с применением метода ветвей и границ. Такой способ позволяет решать задачу только при малом количестве точек. При наличии более десяти точек этот метод не применим, т. к. получается очень большое время вычислений, а также, если в приведенной

матрице будут несколько одинаковых значений, задача не будет иметь решения.

В нашем случае для оптимизации маршрута движения ПМЛ нельзя применить задачу коммивояжера в ее классическом виде в связи с тем, что величина круга имеет ограничение в виде количества дней, отведенных на командировку. После смены экипажа и проведения технического обслуживания ПМЛ отправляется в командировку по оставшимся непройденным точкам. Таким образом получается несколько циклов, имеющих ограничения (к примеру, по времени нахождения автомобиля на маршруте), и нам необходимо найти минимальный путь прохождения всех точек.

Для оптимизации маршрута движения с учетом ограничения времени на командировку необходимо решить частную задачу линейного программирования.

Постановка задачи

Пусть n — количество территориальных органов и учреждений МЧС России с координатами x , где необходимо произвести

поверку СИ с применением выездной метрологической группы. Известны расстояния между данными подразделениями. ПМЛ, выезжая из места старта x_0 (ЦБИТ), группа должна посетить все подразделения, побывав в каждом не более одного раза, и вернуться в исходную точку. Время нахождения ПМЛ в командировке ограничено временем β дней, по истечении которого ПМЛ должна вернуться в место старта и далее опять от-

правиться на поверку СИ в оставшиеся подразделения с учетом ограничения β (дней). Расстояние между территориальными органами и учреждениями МЧС России x_i и x_{i+1} — $S_{i,i+1}$, V — скорость движения ПМЛ, t_{nn} — время на проведение поверки СИ, а также другие неотложные работы.

Необходимо построить маршрут движения таким образом, чтобы суммарный пройденный путь S ПМЛ стремился к минимуму:

$$S = f(n, \beta, t_{nn}, \sum_{i=0}^n S_{i,i+1}, V) \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$\sum S_{i,i+1}$$

при следующих ограничениях:

- время командировки: $\beta \geq 14$ дней;
- время работы выездной метрологической группы составляет 8 часов в сутки;
- скорость движения ПМЛ $V \leq 90$ км/ч.

Для оптимизации маршрута движения выездной метрологической группы наиболее оптимальным вариантом будет совместное применение нескольких методик.

Применение жадного метода позволяет сделать выбор, который выглядит наилучшим на текущем шаге, без учета последствий этого выбора в будущем. Метод позволяет сделать локально оптимальный выбор в надежде, что он приведет к глобальному оптимальному решению. Жадные алгоритмы обычно просты в понимании, реализации и требуют наименьшего времени на вычисления.

У этого метода есть существенный недостаток. Качество решения напрямую зависит от выбора критерия жадности. Неверный критерий может привести к плохому решению. Для устранения этого недостатка был дополнительно использован метод имитации отжига. Выбранный метод оптимизации аналогичен процессу отжига металлов. Его используют для поиска (квази-)оптимального решения в задачах оптимизации, где

пространство поиска велико и может содержать множество локальных оптимумов. Он способен выходить из локальных оптимумов благодаря вероятности принятия «плохих» решений, что позволяет ему искать глобальный оптимум. Этот алгоритм основан на имитации процесса образования кристаллической структуры в веществе. Имитируя такой процесс, находят глобальный экстремум целевой функции [7, 8]. Метод имитации отжига является вероятностным и не дает точных результатов, поэтому они могут варьироваться от одного расчета к другому. Данный метод требует длительного времени работы, особенно в задачах с высоким уровнем сложности и сложным пространством поиска.

Совместное применение данных методов позволяет нивелировать недостатки обоих методов.

Решение задачи

Методика решения включает в себя следующие этапы:

1. Построение матрицы расстояний между всеми точками посещения выездной метрологической группы (S_{11} место старта):

$$C = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

2. При менее десяти объектов, для оптимизации обычно используют метод ветвей и границ. Этот метод описан в работе [3], но, как уже было ранее приведено, при большом количестве объектов указанный метод не подходит. Для эффективной маршрутизации с большим количеством объектов используем жадный метод, который отли-

чается высокой эффективностью в поиске оптимальных решений для сложных задач и нахождении кратчайших путей к их решению [5].

При проектировании маршрута движения первоначально матрицу расстояний переводим во время, которое необходимо затратить ПМЛ для преодоления расстояния S между точками:

$$t = \frac{S}{V}, \quad (4)$$

где:

Z — экономические затраты, руб.;

r — расход топлива ПМЛ, л/км;

S — пройденный путь, км;

C — цена литра топлива, руб.;

A_a — амортизация автомобиля, руб.

3. От места старта x_0 (ЦБИТ) выбираем в матрице расстояний ближайшую к ней точку x_1 , затем уже от нее выбираем следующую ближайшую точку x_2 из оставшихся. Так строим цепочку, пока не будут пройдены все точки.

x_0	x_1	x_2	...	x_n
S_{11}	S_{12}	S_{13}	...	S_{1n}
S_{21}	S_{22}	S_{23}	...	S_{2n}
...	...	...	...	...
S_{n1}	S_{n2}	S_{n3}	...	S_{nn}

4. После прохождения последней точки x_n возвращаемся в точку старта x_0 . Таким образом получаем очередность посещения точек $x_0 \rightarrow x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow \dots \rightarrow x_n \rightarrow x_0$ и оптимальный маршрут движения с минимальным временем [6] без учета ограничений.

5. В связи с тем, что полученная цепочка посещения $x_0 \rightarrow x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow \dots \rightarrow x_n \rightarrow x_0$, построенная с применением жадного метода, хоть и является минимальным значением, но может быть еще опти-

мизирована путем применения метода имитации отжига.

Оптимизация маршрута передвижения ПМЛ методом имитации отжига

Основные параметры, применяемые в методе имитации отжига:

Энергия системы (E) — это функция, которую мы хотим минимизировать. В нашем случае это длина маршрута.

Начальная температура (T) — параметр, представляющий величину принятия рассматриваемых решений.

Выбираем высокую начальную температуру, чтобы увеличить пространство (количество) решений. По мере выполнения алгоритма температура постепенно понижается, что сужает поиски решения и позволяет прийти к оптимальному решению.

Параметры охлаждения — скорость снижения температуры.

5.1. «Инициализация».

Задаем начальное состояние (первоначальный маршрут движения). Для этого берется цепочка посещения, построенная жадным методом, $x_0 \rightarrow x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow \dots \rightarrow x_n \rightarrow x_0$.

– если $\Delta E < 0$, то новый путь лучше, и его принимаем за начальный. Алгоритм всегда стремится к уменьшению маршрута S ;

где:

P — вероятность принятия данного пути;

- при высокой температуре даже пути с большим ΔE принимают с высокой вероятностью P . По мере снижения температуры вероятность принятия худших путей уменьшается. Это позволяет алгоритму «выбираться» из локальных минимумов;
- цикл генерации нового маршрута и принятия решения повторяется для каждой температуры определенное количество раз N итераций.

На протяжении расчетов проводим «охлаждение», понижая температуру с использованием коэффициента ω ($\omega < 1$). $T = \omega T$.

Расчет заканчивается, когда достигается один из критериев:

5.2. «Итерационный цикл»:

- на основе найденного жадным методом маршрута, создается новый путем внесения небольших случайных изменений за счет перестановки точек в цепочке, либо изменением положения точки в цепочке (в произвольном порядке меняется очередность точек в цепочке);
- вычисляем изменение энергии (ΔE), которое равно разнице длины пути между начальной и новой (полученной) цепочкой:
- определяем, принимаем ли новый путь как начальный:

$$\Delta E = S_{\text{нов}} - S_{\text{нач}}; \quad (5)$$

– если $\Delta E \geq 0$, то новый путь хуже, и его используем для дальнейшего расчета с вероятностью, определяемой формулой:

$$P = \exp(-\Delta E / T), \quad (6)$$

- температура достигла минимального данного значения;
- не было улучшений в решении за определенное количество итераций;
- достигнуто максимальное количество итераций.

По окончании расчетов выбираем минимальное значение S , которое является оптимальным маршрутом.

Таким образом, применение жадного метода совместно с методом имитации отжига позволяет построить маршрут движения выездных метрологических групп и оптимизировать его.

6. После того как из всех имеющихся точек построен и оптимизирован маршрут движения, формируем командировки с учетом заданного ограничения β .

Получившуюся цепочку расстояний $x_0 \rightarrow x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow \dots \rightarrow x_n \rightarrow x_0$ преобразуем в цепочку времени, затраченного на прохождение заданных точек ($t_{об}$): $t_{об} = t_{x_0x_1} + t_{x_1x_2} + \dots + t_{x_{n-1}x_n} + t_{x_nx_0}$.

7. Для получения данных маршрута движения ПМЛ с учетом количества командировок необходимо учитывать время, затрачиваемое на поверку СИ.

По этой причине предлагается введение дополнительной переменной t_n — времени поверки, которое представляет собой сумму времени собственно проведения поверки СИ и времени на иные работы (t_c), такие как оформление документов и прочее, для получения более точных данных.

Тогда:

$$t_n = t_{пСИ} + t_c. \quad (7)$$

В результате чего определяем общее время командировки $t_{об}$:

$$t_{об} = \sum_{i=1}^n t_{x(n-1)x_n} + \sum_{i=1}^n t_{пн}. \quad (8)$$

Выездная метрологическая группа, согласно закону о труде, работает 8 часов в сутки. Тогда количество дней, которое

необходимо на проведение поверки СИ в территориальных органах и учреждениях МЧС России, будет равно:

$$t_{об} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{x(n-1)x_n} + \sum_{i=1}^n t_{пн}}{8}. \quad (9)$$

8. С учетом полученных данных формируем круги, т. е. часть всего маршрута (командировки) с учетом ограничения времени на круг (командировку). При формировании круга командировки необходимо, чтобы $t_{кр} \leq \beta$.

Круг командировки формируем следующим образом. Ко времени прохождения пути от места старта до первой точки $t_{x_0x_1}$ и времени проведения поверки СИ в первой точке прибавляем затрачиваемое время на обратный путь и сравниваем с ограничением β . Если получившееся время максимально близко к ограничению, то эта цепочка

формирует первый круг (командировку), ПМЛ возвращается в точку старта, и затем строим новый круг. После этого из оставшихся точек проводим расчеты согласно пунктам методики 1–7. Если $t_{кр}$ значительно меньше ограничения, то к затрачиваемому времени от места старта до первой точки прибавляем затрачиваемое время между первой и второй точкой плюс прибавляем время от второй точки до места старта и получившееся время сравниваем с ограничением. Таким образом формируем цепочку прохождения из i точек с условием ограничения:

$$(t_{x_0x_1} + t_{п1} + t_{x_1x_2} + t_{п2} + \dots + t_{x_{i-1}x_i} + t_{пi} + t_{x_ix_0})/8 \leq \beta, \quad (10)$$

ИЛИ

$$\frac{\sum_{i=1}^i t_{x(i-1)x_i} + \sum_{i=1}^i t_{пi}}{8} \leq \beta. \quad (11)$$

9. После формирования первого круга из оставшихся точек заново выполняем пункты 1–7 до тех пор, пока все точки маршрута не будут включены в командировки.

Такая методика также позволяет оптимизировать маршрут движения любого транспорта, которому необходимо посетить определенные объекты с целью выполнения определенных задач и вернуться на место старта, имея ограничения по времени на круг (командировку).

Для реализации предложенной методики оптимизации маршрута движения выездных метрологических групп МЧС России был взят план командировок выездных метрологических групп ЦБИТ на 2023 г. В связи с тем, что в выбранном плане командировок имеется большое количество данных, была разработана программа для ЭВМ, ко-

торая позволила оптимизировать маршрут движения ПМЛ.

Таким образом, с помощью предложенной методики с учетом принятых ограничений и переменных, а также разработанной на этой основе программы для ЭВМ [9], удалось уменьшить длину маршрута движения *S* выездной метрологической группы с 8 640 до 6 650 км и уменьшить количество командировок за год в четыре раза (с 20 до 5) (см. рис.).

Разработанная методика получила реализацию в виде применения программы для ЭВМ «Программа расчета рационального маршрута подвижной метрологической лаборатории при составлении плана командировок выездных метрологических групп» [9] для ЦБИТ МЧС России. В результате чего были внесены изменения в план командировок выездных групп на 2026 г.

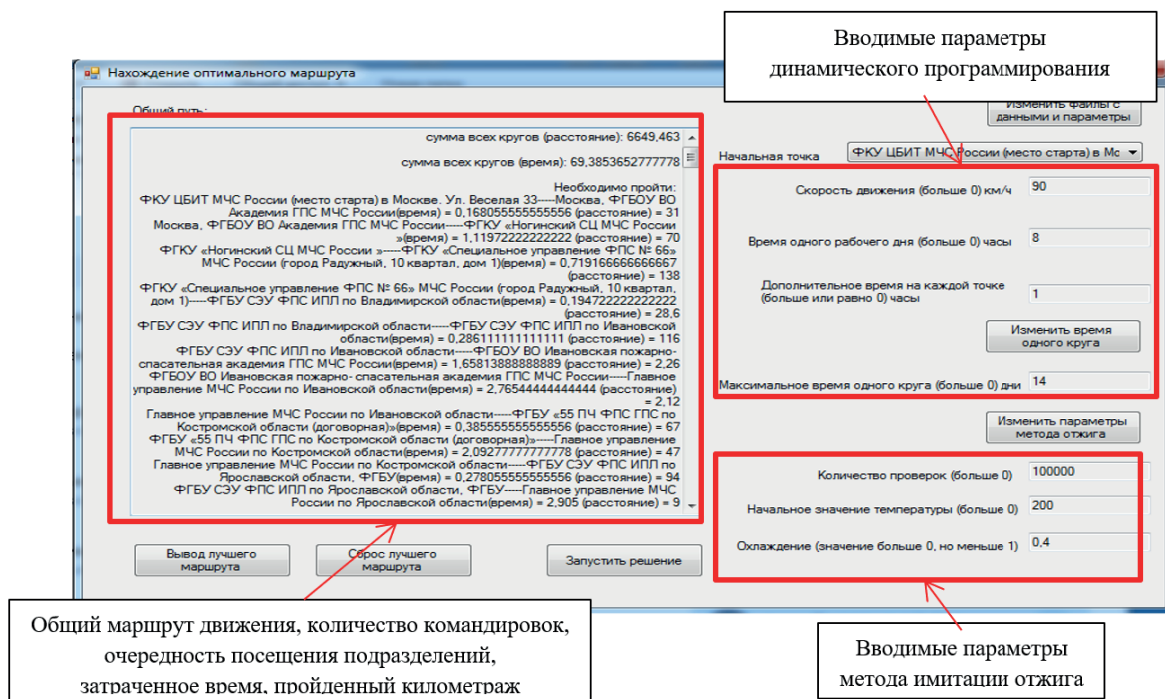


Рис. Интерфейс программы расчета маршрута движения и количества командировок для ПМЛ с учетом времени, затраченного на поверку СИ

Fig. The interface of the program for calculating the route and the number of business trips for the PML, taking into account the time spent on checking the measuring instruments

Выводы

1. Актуальность представленной работы обусловлена необходимостью снижения как экономических, так и временных затрат на проведение поверки СИ с помощью выездных метрологических групп для увеличения готовности подразделений МЧС России к выполнению ими своих функций.
2. Предложена математическая модель постановки задачи минимизации времени поверки СИ ПМЛ, что повысит готовность подразделений МЧС России к выполнению своих задач.
3. Разработана и предложена комплексная методика построения маршрута движения выездных метрологических групп МЧС России в условиях ограничения времени их нахождения в командировках,

закрывающаяся в последовательном применении двух методик — жадного метода и имитации отжига, — а также ряда дополнительных ограничений.

4. На основе предложенной методики была разработана программа для ЭВМ, и с ее помощью оптимизирован маршрут движения ПМЛ для проведения поверки СИ в территориальных органах МЧС России, в результате чего построенный маршрут был уменьшен с 8 640 до 6 500 км (на 25 %), а количество командировок сокращено с 20 до 5 (в четыре раза).

5. Предложенную методику можно использовать и в других транспортных задачах с другими переменными, где есть необходимость рассчитать минимальные затраты при принятых ограничениях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Об обеспечении единства измерений : Федер. закон № 102-ФЗ : принят Государственной Думой 11.07.2008 : одобрен Советом Федерации 18.06.2008 // КонсультантПлюс : справочно-правовая система. URL: <https://clck.ru/3P8Yo5> (дата обращения: 11.02.2025).
2. Задача коммивояжера. Метод ветвей и границ // Studfiles : сайт. URL: <https://studfile.net/preview/3298745/page:19/> (дата обращения: 10.02.2025).
3. Ершова К. А. Задача оптимизации маршрута движения выездной метрологической группы // Вестник науки. 2023. № 1 (58), Т. 2. С. 236–245.
4. Галяутдинов Р. Р. Задача коммивояжера — метод ветвей и границ // Галяутдинов.ру : сайт. URL: <https://galyautdinov.ru/post/zadacha-kommivoyazhera> (дата обращения: 22.03.2025).
5. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология : учеб. пособие. М., 1988. 208 с.
6. Жадные алгоритмы и динамическое программирование // Studfiles : сайт. URL: <https://studfile.net/preview/915308/page:52/> (дата обращения: 24.11.2024).
7. Алгоритм имитации отжига // РУВИКИ : сайт. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Алгоритм_имитации_отжига (дата обращения: 24.03.2025).

8. Метод отжига // Алгоритмика : сайт. URL: <https://algorithmica.org/ru/annealing> (дата обращения: 24.03.2025).

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025619871 Российская Федерация. Программа расчета рационального маршрута подвижной метрологической лаборатории при составлении плана командировок выездных метрологических групп : № 2024692343 : заявл. 25.12.2024 : опубл. (зарег.) 18.04.2025 / Р. Н. Любкин [и др.] ; заявитель АГЗ МЧС России.

REFERENCES

1. On Ensuring the Uniformity of Measurements : Federal Law № 102-FZ adopted by the State Duma on 11.07.2008 : approved by the Federation Council on 18.06.2008 // ConsultantPlus. URL: <https://clck.ru/3P8Yo5> (date of application: 02.03.2025).

2. The traveling salesman's task. The «branches and borders» method // Studfiles : website. URL: <https://studfile.net/preview/3298745/page:19/> (date of application: 10.02.2025).

3. Yershova K. A. The task of optimizing the route of the on-site metrological group // BULLETIN OF SCIENCE. 2023. № 1 (58), vol. 2. pp. 236–245.

4. Galyautdinov R. R. The traveling salesman's task — the method of branches and boundaries // Economics teacher's : website. URL: <https://galyautdinov.ru/post/zadacha-kommivoyazhera> (date of application: 22.03.2025).

5. Ventzel E. S. Operations research: tasks, principles, methodology : textbook for university students. M., 1988. 208 p.

6. Greedy algorithms and dynamic programming // Studfiles : website. URL: <https://studfile.net/preview/915308/page:52/> (date of application: 24.11.2024).

7. The algorithm of simulated annealing // RUWIKI : website. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Алгоритм_имитации_отжига (date of application: 24.03.2025).

8. Annealing method // Algorithmics : [website]. URL: <https://algorithmica.org/ru/annealing> (date of application: 24.03.2025).

9. Certificate of state registration of the computer program No. 2025619871 Russian Federation. The program for calculating the rational route of a mobile metrological laboratory when drawing up a business trip plan for visiting metrological groups : № 2024692343 : application dated 25.12.2024 : published on 18.04.2025 / R. N. Lyubkin et al. ; applicant AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Любкин Роман Николаевич, преподаватель кафедры эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Российская Федерация, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А); SPIN-код: 9786-4862; AuthorID: 1119833; e-mail: r.lyubkin@agz.50.mchs.gov.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Roman N. Lyubkin, Lecturer of the Department of the Exploitation of Transport-technological Machines and Complexes Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia (1A Sokolovskaya str., Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, 141435, Russian Federation); SPIN-код: 9786-4862; AuthorID: 1119833; e-mail r.lyubkin@agz.50.mchs.gov.ru

Поступила в редакцию 17.06.2025
Одобрена после рецензирования 02.07.2025
Принята к публикации 15.09.2025