

DOI: 10.15593/24111678/2018.03.04

УДК 625.7

Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ СЕТИ МИНИМАЛЬНОГО СОСТАВА НА МНОЖЕСТВЕ «ВЗВЕШЕННЫХ» ГРАФОВ

Объектом исследования является планирование сети автомобильных дорог. Предложено планирование наиболее эффективного начертания сети автомобильных дорог, являющейся основой существования и развития единой транспортной системы страны, на основе разработки методологических подходов и научно обоснованных концепций дорожного строительства. В статье рассмотрена математическая постановка задачи формирования локальной дорожной инфраструктуры и разработана математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве «взвешенных» графов. Математическая постановка такой задачи сформулирована в терминах математических моделей сетевой оптимизации и решена с использованием алгоритма построения кратчайшего остова. Предложено решать задачу, выбрав такие возможные связи (дуги) между объектами (узлами) сети, которые позволят обеспечить связь (найти путь, маршрут) между каждой парой объектов. При этом суммарная протяженность (стоимость) путей будет минимальна. Сформулирована задача, отражающая ситуацию проектирования такой сети дорог, когда необходимо соединить отдельные объекты (населенные пункты) таким образом, чтобы любые два объекта были связаны либо непосредственно соединяющей их дорогой, либо через другие объекты (узлы сети). При этом необходимо, чтобы общая длина дорог была минимальной. Приведен пример определения минимального состава дорожной сети по одному критерию. Проанализирована проблема многокритериальной оптимизации, т.е. выбора таких решений о составе сети, которые удовлетворяли бы одновременно нескольким критериям. Разработка модели позволяет перейти к решению проблемы научного обоснования способов развития первичных дорожных сетей при освоении отдаленных территорий и регионов России, их экономического и социального развития, решения задач обеспечения военной и других видов национальной безопасности.

Ключевые слова: сеть автомобильных дорог, математическая модель планирования дорожной сети, многокритериальная оптимизация.

N.A. Ermoshin, Y.G. Lazarev

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russian Federation

MATHEMATICAL MODEL OF ROAD NETWORK PLANNING OF MINIMAL COMPOSITION ON A SET OF WEIGHTED GRAPHS

The object of the study is planning road network. In the article mathematical formulation of the problem of formation of local road infrastructure is considered and a mathematical model of planning the road network of the minimum composition on the set of weighted graphs is developed. An example of determining the minimum composition of the road network by one criterion is given. The problem of multicriteria optimization, that is, the choice of such decisions on the composition of the network that would meet several criteria at the same time, is analyzed.

Keywords: road network, mathematical model of planning of the road network, multi-objective optimization.

Введение

Решение проблем развития сети автомобильных дорог имеет исключительное значение для повышения эффективности российской экономики. Низкие темпы и качество дорожного строительства, неравномерность развития дорожной инфраструктуры регионов, недостаточная пропускная способность и малая плотность автомобильных дорог негативно влияют на состояние экономической и военной безопасности государства [1–3].

Планирование наиболее эффективного начертания сети автомобильных дорог, являющейся основой существования и развития единой транспортной системы страны, требует раз-

работки методологических подходов и научно обоснованных концепций дорожного строительства. Математические модели экономического анализа требуют применения современной вычислительной техники и составления специальных алгоритмов, блок-схем и компьютерных программ по оценке эффективности решений в условиях острого бюджетного дефицита [4, 5]. Кроме того, с позиции удобства сообщений по дорогам Российской Федерации ее сеть дорог является слабо развитой, не обеспечивающей сложившийся в мире уровень организации удобства движения. В этих условиях целесообразно рассмотреть вопрос об оценке уровня достаточности (или недостаточности) развития дорожной сети [6, 7].

Разрабатываемые методологические подходы и концепции должны решать вопросы развития сети автомобильных дорог, как в интересах экономики и использования транспортно-транзитного потенциала страны, так и в интересах обеспечения ее военной безопасности. Непрерывное совершенствование способов террористической деятельности, средств и способов вооруженной борьбы, вызывающее увеличение объемов разрушений на автомобильных дорогах и усложнение условий производства восстановительных работ, требуют планирования мероприятий по обеспечению живучести дорог [8, 9].

Вместе с тем принципы развития дорожной инфраструктуры России имеют разрозненный характер и не в полной мере учитывают комплексную потребность развития сети автомобильных дорог в интересах всех ее пользователей не только в мирное, но и в военное время, а также при ликвидации последствий стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций.

В этой связи необходима разработка таких инструментов научного обоснования планирования дорожной инфраструктуры, которые позволяют обеспечивать комплексное удовлетворение макроэкономических, оборонных, экологических и социальных потребностей территорий в зависимости от их масштабов, источников военных угроз, близости к границе Российской Федерации, планов применения ВС РФ и обороны государства.

Методика

Вполне очевидно, что концептуализация подобной задачи отличается большой сложностью, а поэтапный (процессный) характер, который имеют цели развития сети автомобильных дорог при условиях ограниченности экономических возможностей государства для их реализации, свидетельствуют о невозможности решения этой задачи с помощью одной математической модели. Необходима разработка комплекса математических моделей, отражающих реализацию целей нового строительства и совершенствования сети автомобильных дорог, начиная с освоения территорий и их последующего социально-экономического развития, и обеспечения военной и других видов национальной безопасности.

Исходя из этого, планирование сети автомобильных дорог естественно начинать с формирования локальной дорожной инфраструктуры территории в минимально необходимом составе, обеспечивающем транспортные связи объектов (экономики, военной безопасности, социальных и др.) между собой.

Математическая постановка такой задачи может быть сформулирована в терминах математических моделей сетевой оптимизации и решена с использованием алгоритма построения кратчайшего остова. Задача заключается в том, что необходимо выбрать такие возможные связи (дуги) между объектами (узлами) сети, которые позволят обеспечить связь (найти путь, маршрут) между каждой парой объектов. При этом суммарная протяженность (стоимость) путей будет минимальна. Подобная ситуация возможна в том случае, если выбранные дуги образуют остов (дерево), который покрывает или соединит все узлы заданной сети.

Иными словами, пусть существует взвешенный связный неориентированный граф $S = (V, E)$. Вес дуги (ребра графа) $e = (i, j)$ обозначим $v(e) = v(i, j)$. На множестве остовов графа S необходимо найти только один из них. Найденный остов должен иметь наименьшую сумму весов (протяженности, стоимости) ребер (дуг).

Сформулированная задача отражает ситуацию проектирования такой сети дорог, когда необходимо соединить отдельные объекты (населенные пункты) таким образом, чтобы любые два объекта были связаны либо непосредственно соединяющей их дорогой, либо через другие объекты (узлы сети). При этом необходимо, чтобы общая длина дорог была минимальной. В рассматриваемых условиях объекты, соединяемые дорогами, можно интерпретировать как вершины графа с весами дуг, которые равны длинам соединяющих объекты дорог. В этой ситуации проектируемая сеть дорог является минимальным подграфом-остовом (подграфом, имеющим минимальный вес) полного связного графа.

В связи с тем, что полный граф S с n -узлами содержит n^{n-2} возможных вариантов остовов, решение этой задачи методом «слепого» перебора вариантов нерационально и требует больших затрат времени. Поэтому для выбора минимального остова полного взвешенного графа применяются специально разработанные алгоритмы. Рассмотрим один из них. Для этого примем допущение о том, что задачу проектирования сети дорог можно определить следующим образом.

Предполагается, что планируемые варианты сети автомобильных дорог целесообразно представить в виде связного неориентированного графа $S = (V, E)$ с числом вершин $|V| = n$, числом дуг (ребер) $|E| = m$ и каждой его дуге (ребру) $e \in E$ придан некоторый вес $v(e) = v(i, j)$. Минимальную длину (стоимость, вес) подграфа $S' = (V', E')$ графа $S = (V, E)$ найдем как сумму весов его дуг (ребер), т.е. $v(S') = \sum_{e \in E} v(e)$.

Таким образом, задача об отыскании оптимального плана строительства минимальной сети автомобильных дорог состоит в поиске основного дерева исходного графа всех возможных вариантов дорожной сети с минимальным весом (протяженностью дорог, стоимостью, временем их строительства и др.),

$$v(S') = \sum_{e \in E} v(e) \rightarrow \min.$$

Алгоритм решения этой задачи отличается достаточной простотой и состоит в следующем. Первоначально выбирается произвольный узел на проектируемой сети и кратчайшая дуга (ребро) из множества дуг (ребер), соединяющих этот узел с другими узлами. В последующем эти два узла соединяются выбранной дугой (ребром). Далее выбирается ближайший к этим узлам третий узел. Выбранный узел и соответствующая ему дуга добавляются к планируемой сети дорог. Данный процесс продолжается до тех пор, пока все узлы дорожной сети не будут соединены между собой. Алгоритм, основанный на «поглощении» кратчайших дуг, может быть более строго представлен его пошаговой реализацией (рис. 1).

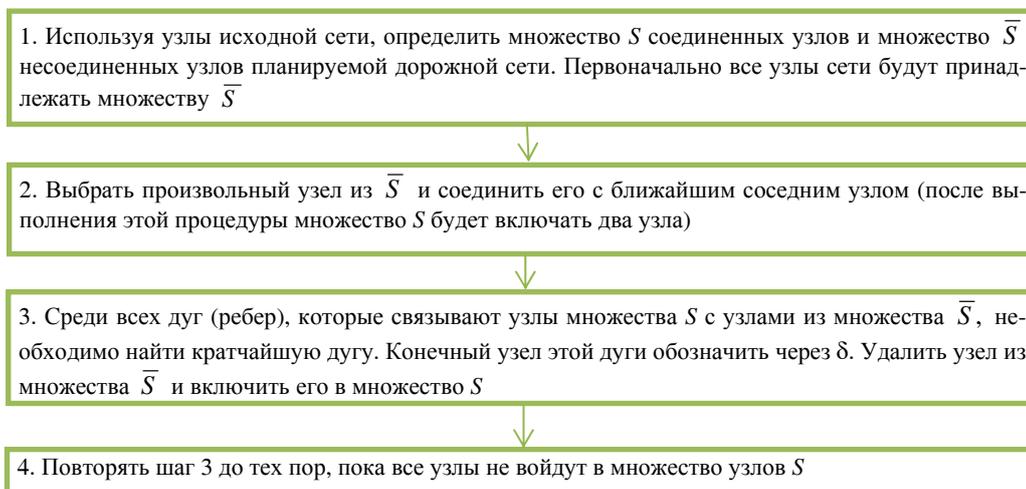


Рис. 1. Укрупненный алгоритм построения минимального остова дорожной сети

Результаты и обсуждение

Рассмотрим пример работы этого алгоритма при выборе дорожной сети минимального состава на множестве взвешенных подграфов полного графа (рис. 2).

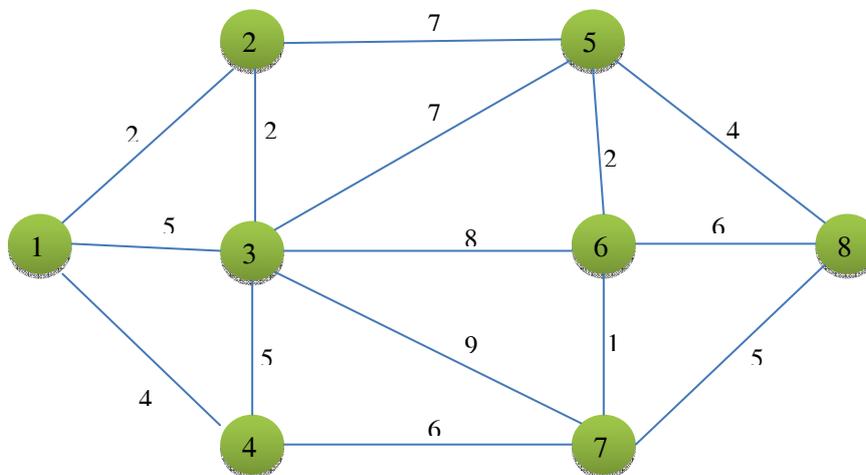


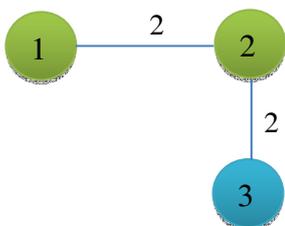
Рис. 2. Графическая модель вариантов дорожной сети

1. $\bar{S} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}, S = \emptyset$.

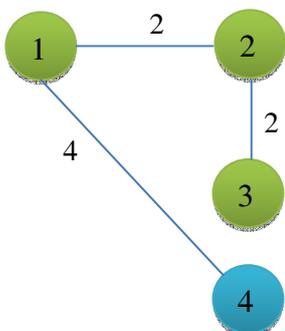
2. Выбрать узел 1. $S = \{1, 2\}, \bar{S} = \{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$. Стоимость (вес) = 2.



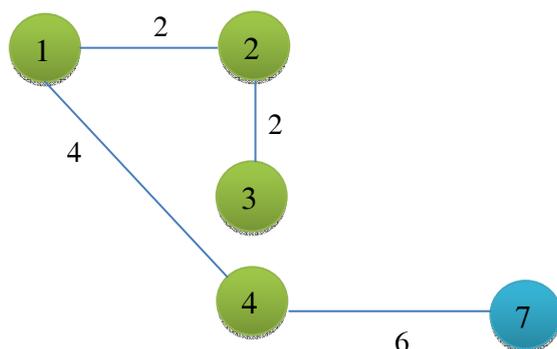
3. Выбрать узел 3. $S = \{1, 2, 3\}, \bar{S} = \{4, 5, 6, 7, 8\}$. Стоимость (вес) = 4.



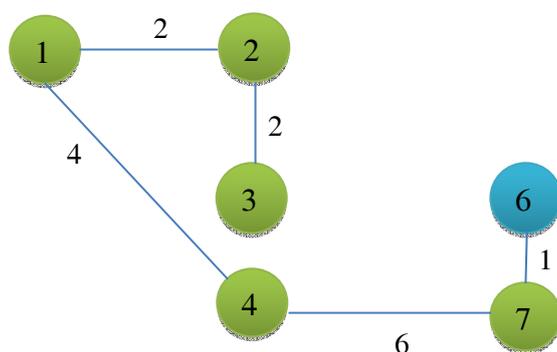
4. Выбрать узел 4. $S = \{1, 2, 3, 4\}, \bar{S} = \{5, 6, 7, 8\}$. Стоимость (вес) = 8.



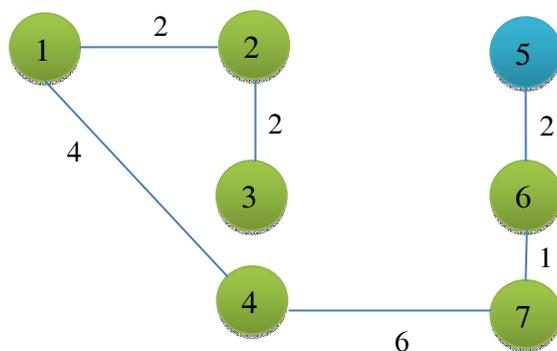
5. Выбрать узел 7. $S = \{1, 2, 3, 4, 7\}$, $\bar{S} = \{5, 6, 8\}$. Стоимость (вес) = 14.



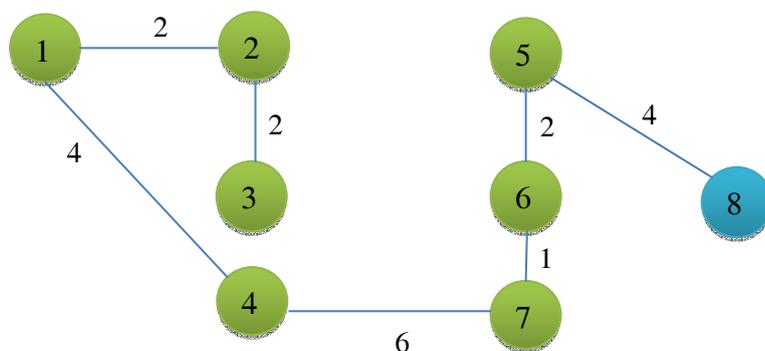
6. Выбрать узел 6. $S = \{1, 2, 3, 4, 7, 6\}$, $\bar{S} = \{5, 8\}$. Стоимость (вес) = 15.



7. Выбрать узел 5. $S = \{1, 2, 3, 4, 7, 6, 5\}$, $\bar{S} = \{8\}$. Стоимость (вес) = 17.



8. Выбрать узел 8. $S = \{1, 2, 3, 4, 7, 6, 5, 8\}$, $\bar{S} = \emptyset$. Стоимость (вес) = 21.



В приведенном примере определение минимального состава дорожной сети осуществляется по критерию стоимости строительства. Однако в реальной ситуации задача планирова-

ния сети дорог не является столь однозначной и не всегда может быть сведена к поиску лучшего варианта только по единственному критерию (протяженности, стоимости строительства, времени выполнения работ, пропускной способности и др.). При проектировании развития дорожной сети часто возникает проблема многокритериальной оптимизации, т.е. выбора таких решений о составе сети, которые удовлетворяли бы одновременно нескольким критериям.

В задачах такого типа имеются ограничения, которым должны соответствовать переменные x_1, x_2, \dots, x_k , и критерии: $f_1(x) \rightarrow \max, f_2(x) \rightarrow \min, \dots, f_n(x) \rightarrow \max$. Наиболее простым способом решения задачи, которая состоит в выборе сети автомобильных дорог с учетом нескольких критериев, является преобразование многокритериальной задачи к обычной задаче с единственным критерием.

При этом должны учитываться следующие обстоятельства:

1. Решением, оптимальным одновременно по нескольким критериям, может стать лишь компромиссное решение.
2. Преобразование многокритериальной задачи к задаче с единственным критерием требует приведения критериев к единой (безразмерной) шкале измерения.
3. Необходимость установления принципа оптимальности, т.е. формулирования правила, которое объясняет, чем оптимальное решение лучше других решений.
4. Потребность учета вклада критериев в значение общей целевой функции, когда очевидно, что одни критерии имеют приоритет над другими.

В случае, когда все критерии могут быть измерены в одной шкале, применяют следующий интегральный критерий:

$$F(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i(x), \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad \alpha_i \geq 0,$$

где α_i – весовые коэффициенты соответствующих критериев.

В связи с тем, что частные критерии оптимизации, как правило, имеют неодинаковые единицы и масштабы измерения, возникает проблема их нормализации. Для ее решения используются операции нормирования (стандартизации), наиболее известными среди которых являются:

$$1) x_{ji}^s = \frac{x_{ji}}{\bar{x}_i}, \quad 2) x_{ji}^s = \frac{x_{ji}}{x_i^o}, \quad 3) x_{ji}^s = \frac{x_{ji}}{x_{ji}^{\max}}, \quad 4) x_{ji}^s = \frac{x_{ji} - \bar{x}_i}{x_{ji}^{\max} - x_{ji}^{\min}},$$

где \bar{x}_i – среднеарифметическое значение i -го критерия (показателя); x_i^o – некоторое эталонное значение i -го критерия (показателя); x_{ji}^{\max} – максимальное значение i -го критерия (показателя) на j -м объекте (дуге, ребре); x_{ji}^{\min} – минимальное значение i -го критерия (показателя) на j -м объекте (дуге, ребре); x_{ji} – фактическое значение i -го критерия (показателя) на j -м объекте (дуге, ребре).

С учетом приведенных обоснований задачу выбора дорожной сети минимального состава на множестве взвешенных графов можно записать в следующем виде:

$$v(S') = \sum_{e \in E} v(e) \rightarrow \min; \tag{1}$$

$$v(e) = \sum_{j=1}^k \alpha_j x_j(e) + \sum_{j=k}^r \alpha_j (x_j(e))^{-1}; \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{k+r} \alpha_j = 1; \tag{3}$$

$$x_j(e) \geq 0, \tag{4}$$

где α_j – вклад (вес, значимость) j -го критерия (показателя) в значение интегрального критерия, характеризующего степень достижения целей строительства сети дорог; $x_j(e)$ – нормированное значение j -го критерия на дуге (e) (ребре графа S'); k – число критериев (показателей), входящих в обобщенный показатель $v(e)$ и подлежащих минимизации; r – число критериев (показателей), входящих в обобщенный показатель $v(e)$ и подлежащих максимизации.

Для расчета весов α_j критериев (показателей) строительства дорожной сети минимального состава целесообразно использовать метод расстановки приоритетов [10] с учетом мнений экспертов (таблица). По сравнению с другими известными методами [11–15], он характеризуется достаточной точностью и позволяет за определенное количество итераций получить устойчивую матрицу весов – вектор-столбец $A = \|\alpha_j\|$.

Матрица парных сравнений критериев (показателей) строительства сети автомобильных дорог

Критерии строительства	Критерии строительства					
	1	2	...	k	...	r
1	β_{11}	β_{12}	...	β_{1k}	...	β_{1r}
2	β_{21}	β_{22}	...	β_{2k}	...	β_{2r}
...
k	β_{k1}	β_{k2}	...	β_{kk}	...	β_{kr}
...
r	β_{r1}	β_{r2}	...	β_{rk}	...	β_{rr}

При этом значимость j -го критерия (показателя) строительства (α'_j) проектируемой сети дорог на основе мнения i -го эксперта может быть рассчитана по зависимости

$$\alpha'_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^r \beta_{lij}}{\sum_{l=1}^r \sum_{j=1}^r \beta_{lij}}, \tag{5}$$

где β_{lij} – значение приоритета l -го критерия (показателя) над j -м, определенное в результате обработки мнения i -го эксперта.

Значение приоритета β_{lij} определяется на основе ранжирования критериев (показателей) строительства дорожной сети в порядке предпочтения, т.е. построения в ряд в порядке убывания значимости.

В последующем с использованием метода экспертных оценок необходимо получить наиболее вероятные значения весов показателей качества с учетом компетентности экспертов.

С этой целью можно воспользоваться следующей зависимостью:

$$\alpha_j = \sum_{i=1}^k \mu_i \alpha'_{ij}, \tag{6}$$

где μ_i – уровень компетенции i -го эксперта, $\sum_{i=1}^k \mu_i = 1$; α'_{ij} – значимость j -го критерия (показателя) проектируемой сети дорог, определенная по результатам заполнения i -м экспертом вышеприведенной таблицы.

Необходимое количество экспертов в группе (q) зависит от степени единства их мнений (разброса значений α'_{ij} относительно α_j) и может быть рассчитано по формуле

$$q = \frac{t^2 \sigma_\alpha^2}{\varepsilon^2}, \quad (7)$$

где t – величина, характеризующая уровень доверия к точности расчета, или квантиль нормального распределения, соответствующий доверительной вероятности (при доверительной вероятности 0,95 $t = 1,96$) [12]; σ_α – среднеквадратическое отклонение α'_{ij} ; ε – величина допустимой ошибки коллективной экспертной оценки.

Во втором случае, т.е. при расчете значимости критериев (показателей) строительства на основе статистической обработки данных, используются известные методы теории вероятностей и математической статистики. Они широко освещены в специальной математической литературе [11–17] и поэтому здесь не приводятся.

Заключение

Разработанная математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве взвешенных графов, по сравнению с имеющимися, позволяет определить минимально необходимую сеть автомобильных дорог с учетом многокритериального подхода к обоснованию ее начертания и состава, пропускной способности, межремонтных сроков службы, допустимых скоростей движения и других важных транспортно-эксплуатационных показателей.

Разработка модели позволяет перейти к решению проблемы научного обоснования способов развития первичных дорожных сетей при освоении отдаленных территорий и регионов России, их экономического и социального развития, решения задач обеспечения военной и других видов национальной безопасности. Это обстоятельство обеспечивается тем, что предлагаемая модель отражает функционирование дорожной сети на начальном этапе ее развития в сетевой структуре общей (глобальной) транспортной системы.

Таким образом, математическая модель построения минимальной дорожной сети имеет базовый характер с возможностью моделирования дальнейшего развития дорожной инфраструктуры регионов и транспортной системы в целом для эффективного решения социально-экономических и оборонных задач государства.

Список литературы

1. Управление инвестиционными и техническими рисками в дорожном строительстве: монография / Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев, А.М. Егошин, А.Т. Змеев. – СПб.: Р-КОПИ, 2017. – 212 с.
2. Немчинов Д.М., Столяров В.В., Кочетков А.В. Оценка перспектив развития автомобильных дорог на территориях мало, или не освоенных хозяйственно // Грузовик. – 2015. – № 2. – С. 45–48.
3. Ермошин Н.А., Алексеев С.В. Нормативно-правовые проблемы заблаговременной подготовки автомобильных дорог в интересах обеспечения военной безопасности государства // Наука и военная безопасность. – 2015. – № 2. – С. 9–13.
4. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска. Ч. 1. – Саратов: Изд-во СГТУ, 1994. – 184 с.
5. Столяров В.В., Панкратов А.В., Щеголев Н.В. Математическая модель экономического анализа транспортных и отраслевых проектов с оценкой риска потери окупаемости и уровня

надежности вложения инвестиций // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2018. – № 1(27). – С. 54–58.

6. Немчинов М.В. Автомобильно-дорожные сети Российской Федерации // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь, 2013. – Т. 2. – С. 309–317.

7. Немчинов Д.М. Показатель уровня (достаточности) развития сети автомобильных дорог – «автомобилеемкость» // Модернизация и научные исследования в отрасли: сб. науч. тр. 3-й всерос. дорожного конгресса / Техполиграфцентр. – М., 2013. – С. 181–187.

8. О перспективах развития сети автомобильных дорог на территории Российской Федерации (к «правительственному часу» в рамках 368-го заседания Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации, 25 февраля 2015 года) // Аналитический вестник. – 2015. – № 3(556). – 64 с.

9. Проблемы и методологические аспекты организации дорожной деятельности в интересах военной безопасности государства: монография / Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев, А.М. Егосшин, А.Т. Змеев; ВАМТО. – СПб.: Р-КОПИ, 2017. – 164 с.

10. Ермошин Н.А., Громов В.А. Методологические аспекты управления надежностью строительства и эксплуатации автомобильных дорог // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – 2(55). – С. 27–33.

11. Осипов Г.В., Андреев Э.П. Методы измерения в социологии. – М.: Наука, 1977. – 182 с.

12. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1977. – 478 с.

13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 576 с.

14. Берт Ф., Грин. Измерение установки // Математические методы в современной буржуазной социологии. – М.: Прогресс, 1966. – С. 227–228.

15. Блюмберг В.А., Глуценко В.Ф. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов. – Л.: Лениздат, 1982. – 160 с.

16. Столяров В.В. Функция Лапласа и вычисление вероятностей при нормальном и биномиальном распределениях // Проблемы транспорта и транспортного строительства: межвуз. науч. сб. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2004. – С. 3–25.

17. Столяров В.В. Основные формулы теории риска, основанные на распределении Шарлье // Проблемы транспорта и транспортного строительства: сб. науч. тр. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2005. – Ч. 1. – С. 12–18.

References

1. Ermoshin N.A., Lazarev Y.G., Egoshin A.M., Zmееv A.T. Upravlenie investitsionnymi i tekhnicheskimi riskami v dorozhnom stroitel'stve [Investment and technical risk management in road construction]. Saint Petersburg, R-KOPI, 2017, 212 p.

2. Nemchinov D.M., Stolyarov V.V., Kochetkov A.V. Otsenka perspektiv razvitiia avtomobil'nykh dorog na territoriiakh malo, ili ne osvoennykh khoziaistvenno [Evaluation of prospects of development of roads in the territories of little or no economic development]. *Gruzovik*, 2015, no. 2, pp. 45-48.

3. Ermoshin N.A., Alekseev S.V. Normativno- pravovye problemy zablagovremennoi podgotovki avtomobil'nykh dorog v interesakh obespecheniia voennoi bezopasnosti gosudarstva [Regulatory and legal problems of advance preparation of roads in the interests of military security of the state]. *Nauka i voennaia bezopasnost'*, 2015, no. 2, pp. 9-13.

4. Stoliarov V.V. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog s uchetom teorii riska. Chast 1. [Design of roads taking into account the theory of risk]. Saratov, Saratovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 1994, 184 p.

5. Stoliarov V.V., Pankratov A.V., Shchegolev N.V. Matematicheskaia model' ekonomicheskogo analiza transportnykh i otraslevykh proektov s otsenkoi riska poteri okupaemosti i urovnia nadezhnosti vlozheniia investitsii [Mathematical model of economic analysis of transport and industry projects with the assessment of the risk of loss of return and the level of reliability of investment]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*, 2018, no. 1(27), pp. 54-58.

6. Nemchinov M.V. Avtomobil'no- dorozhnye seti Rossiiskoi Federatsii [Road networks of the Russian Federation]. *Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse: materialy mezhdunarodnoi. nauchno-prakticheskoi. konferentsii*. Perm, PNIPU, 2013, vol. 2, pp. 309- 317.

7. Nemchinov D.M. Pokazatel' urovnia (dostatochnosti) razvitiia seti avtomobil'nykh dorog – «avtomobileemkost'» [Indicator of the level (sufficiency) of the road network development- «vehicle capacity»]. *Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v otrasli: sb. nauchnykh trudov 3-i vsrossiiskii dorozhnyi congress*. Moscow, Tekhpoligrafcentr, 2013, pp. 181-187.

8. O perspektivakh razvitiia seti avtomobil'nykh dorog na territorii Rossiiskoi Federatsii [About prospects of development of a network of highways in the territory of the Russian Federation]. *Analiticheskii vestnik*, 2015, no. 3(556).

9. Ermoshin N.A., Lazarev Iu.G., Egoshin A.M., Zmееv A.T. Problemy i metodologicheskie aspekty organizatsii dorozhnoi deiatel'nosti v interesakh voennoi bezopasnosti gosudarstva [Problems and methodological aspects of the organization of road activities in the interests of military security of the state]. Saint Petersburg, R-KOPI, 2017, 164 p.

10. Ermoshin N.A., Gromov V.A. Metodologicheskie aspekty upravleniia nadezhnost'iu stroitel'stva i ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog [Methodological aspects of road construction and operation reliability management]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov, 2016, no 2(55), pp. 27-33.

11. Osipov G.V., Andreev E.P. Metody izmereniia v sotsiologii [Methods of measurement in sociology]. Moscow, Nauka, 1977, 182 p.

12. Gmurman V.E. Teoriia veroiatnosti i matematicheskaia statistika [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Vysshaia shkola, 1977, 478 p.

13. Venttsel' E.S. Teoriia veroiatnosti [Probability theory]. Moscow, Nauka, 1964, 576 p.

14. Bert F., Grin. Izmerenie ustanovki. V kn.: Matematicheskie metody v sovremennoi burzhuaiznoi sotsiologii [Installation measurement]. Moscow, Progress, 1966, pp. 227-228.

15. Bliumberg V.A., Glushchenko V.F. Kakoe reshenie luchshe? Metod rasstanovki prioriteto [Which solution is better? The method of setting priorities]. Leningrad, Lenizdat, 1982, 160 p.

16. Stoliarov V.V. Funktsiia Laplasy i vychislenie veroiatnosti pri normal'nom i binomial'nom raspredeleniakh [Methodological Laplace Function and probability calculation for normal and binomial distribution]. Problemy transporta i transportnogo stroitel'stva: mezhvuz. nauch. sb. Saratov: SGTU, 2004, pp. 3-25.

17. Stoliarov V.V. Osnovnye formuly teorii riska, osnovannye na raspredelenii Sharl'e [The basic formulas of the theory of risk, based on the distribution Charlier]. Problemy transporta i transportnogo stroitel'stva: sb. nauch. tr. Saratov: SGTU, 2005, vol. 1, pp. 12-18.

Получено 06.06.2018

Об авторах

Ермошин Николай Алексеевич (Санкт-Петербург, Россия) – доктор военных наук, профессор кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (194064, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29А, e-mail: ermonata@mail.ru).

Лазарев Юрий Георгиевич (Санкт-Петербург, Россия) – кандидат технических наук, профессор кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (194064, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29А, e-mail: lazarev-yurij@yandex.ru).

About the authors

Nikolay A. Ermoshin (Saint-Petersburg, Russian Federation) – Doctor of Military Sciences, Professor, Department of Construction of Unique Buildings and Structures, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29A, Polytechnic st., Saint-Petersburg, 194064, Russian Federation, e-mail: ermonata@mail.ru).

Yuri G. Lazarev (Saint-Petersburg, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Professor, Department of Construction of Unique Buildings and Structures, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29A, Polytechnic st., Saint-Petersburg, 194064, Russian Federation, e-mail: lazarev-yurij@yandex.ru).