

СИСТЕМА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Саблин Сергей Юрьевич¹
Скрыпников Алексей Васильевич¹
Высоцкая Ирина Алевтиновна²
Болтнев Денис Евгеньевич¹
Брюховецкий Андрей Николаевич³

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий

²Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Министерства обороны Российской Федерации

³Луганский государственный аграрный университет

Целью проведённых исследований является обоснование комплексной системы технико-эксплуатационных показателей при проектировании геометрических элементов автомобильной дороги сельскохозяйственного назначения. Предлагаемая методика позволяет учитывать влияние дорожных условий на очередность ремонта и строительства сельских дорог, предусматривает их автоматизированный расчёт и проектирование. Разработанная система включает в себя следующие подсистемы: цель; средства для её достижения; ресурсы для выполнения поставленных задач; логическая и математическая модели технико-экономического обоснования; критерии выбора оптимального варианта. Поставленная цель заключается в определении оптимальных параметров продольного и поперечного профиля дороги в соответствии с технико-эксплуатационными требованиями. Капитальные затраты и их оптимальное распределение для достижения цели определяются разработанной и обоснованной оптимальной стратегией развития дорожно-транспортной сети. Затраты ресурсов, необходимые для этого, состоят из капитальных затрат, соответствующих техническому состоянию дороги, определяются сметной стоимостью и транспортно-эксплуатационными расходами. Логическая структура решения задачи состоит в установлении связей между элементами системы и иерархии элементов, в определении системных объектов: входа, хода процесса, выхода и обратной связи. Проведено обоснование входных параметров математической модели, представляющих собой независимые и управляющие параметры системы, определяющие сроки проведения мероприятий по улучшению технического состояния дороги. Выходные параметры системы зависят от распределения автомобильного потока и от ежегодных транспортно-эксплуатационных расходов. В качестве критерия выбора оптимального варианта, наиболее соответствующего решению задач этапного развития во времени транспортной линии предлагается критерий оптимальности, характеризуемый минимальным значением эксплуатационных и капитальных затрат, приведённых к исходному году.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильная дорога, технико-эксплуатационные показатели, системный анализ, геометрические профили, затраты ресурсов.

FEASIBILITY STUDY OF GEOMETRIC ELEMENTS OF ROAD SURFACES

Sablin Sergey Yu.¹
Skrypnikov Aleksey V.¹
Vysotskaya Irina A.²
Boltnev Denis E.¹
Bryukhovetsky Andrey N.³

¹Voronezh State University of Engineering Technologies

²Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation

³Luhansk State Agrarian University

The purpose of the presented work is to substantiate a complex system of technical and operational indicators at designing geometric elements of an agricultural road surfaces. The proposed methodology takes into account the impact of road conditions on the order of repair and construction of rural roads, provides for their automated calculation and design. The developed system includes the following subsystems: the goal and means for its achievement; resources needed for tasks execution; logical and mathematical models of the feasibility study; criteria for choosing the best option. The goal is to determine the optimal parameters of the longitudinal and transverse profile of the road in accordance with the technical and operational requirements. Capital expenditures and their optimal allocation for achieving the goal are determined by the proposed and justified optimal strategy for the development of the road transport network. The cost of resources required for this purpose consists of capital expenditures corresponding to technical condition of the road, and they are determined by the estimated cost and transport & operating costs. The logical structure of the problem solution consists in establishing links between the elements of the system and the hierarchy of the elements, as well as in determining such system entities as input, progress of the process, output, and feedback. The authors substantiated the input parameters of the mathematical model, which are represented as independent and control parameters of the system determining the timing of implementation of measures for road technical condition improvement. The output parameters of the system depend on the distribution of traffic flow and on the annual transport & operating costs. As a criterion for choosing the best option which most fully confirm with the solution of the problems of stage-by-stage development in time of the transport line, the optimality criterion is proposed, characterized by the minimum value of operating and capital costs converted to the initial year.

KEYWORDS: road, technical & operational indicators, system analysis, geometric profiles, resource costs.

Для упорядочения множества параметров, связей и для определения средств решения задачи обоснования геометрических параметров сельских автомобильных дорог целесообразно обратиться к основам одного из направлений теории принятия решений – системному анализу.

В качестве основного и наиболее ценного результата системного анализа признаётся увеличение степени понимания проблемы и возможных путей её решения. С. Оптнер [7] формулирует определение проблемы следующим образом: «Проблема определяется как ситуация, в которой есть два состояния: одно называется существующим, а другое – предлагаемым. Существующее состояние представляется существующей системой; предлагаемое состояние представляется гипотетической (желательной или предлагаемой) системой».

Характер и состав желательной системы определяются поставленной целью исследования и сформулированными задачами. Предлагаемая система должна по возможности компенсировать все недостатки существующих методик, то есть комплексно учитывать влияние дорожных условий на очерёдность строительства и ремонта и, принимая во внимание вероятностный характер скоростей автомобильного потока во времени и пространстве, – предусматривать выполнение расчётов в режиме онлайн с помощью информационных технологий с тем, чтобы в дальнейшем с определёнными изменениями её можно было бы сделать подсистемой будущей системы автоматизированного проектирования автомобильных дорог сельскохозяйственного назначения. Анализ требуемой системы распадается на пять чётко выраженных конечных элементов, свойственных процессу исследования любых систем и подсистем.

1. Цель. Определение оптимальных параметров продольного и поперечного профилей сельской автомобильной дороги с обоснованием сроков введения дороги до определённых технических уровней в соответствии с увеличением интенсивности движения.

2. Альтернативные средства, с помощью которых может быть достигнута цель. В случае определения оптимальных сроков очерёдности строительства и реконструкции, иными словами, оптимальной стратегии развития, и в частности её геометрических элементов, альтернативными средствами служит множество вариантов распределения капитальных затрат во времени. Кроме варьирования по времени варьируется техническое состояние дороги. Под техническим состоянием в данном случае следует понимать сочетание плана, продольного и поперечного профилей, то есть элементов технического состояния, определяющих технический уровень дороги.

При изменении одного из элементов, характеризующих техническое состояние, считается, что дорога переходит в другое состояние [6].

3. Затраты ресурсов, требуемые для осуществления каждой альтернативы. В стоимостном отношении каждый вариант стратегии состоит из двух находящихся в противоречии подсистем. Первая из них – подсистема капитальных затрат. Капитальные затраты, соответствующие каждому техническому состоянию дороги, определяются сметной стоимостью [9, 3].

При переходе в более высокое техническое состояние должны быть затрачены ресурсы, равные разнице сметных стоимостей состояний, увеличенной на сумму, необходимую для повторной организации работ. При планировании дополнительных затрат на отдалённый срок они должны быть приведены к исходному году

$$K(t_{ij}) = \frac{(K_j - K_i)\eta}{e^{tij}}, \quad (1)$$

где K_i – сметная стоимость технического состояния с низкими показателями, руб.;

K_j – сметная стоимость технического состояния с более высокими показателями, руб.;

η – коэффициент увеличения дополнительных капитальных затрат при стадийном строительстве;

t_{ij} – год перехода из состояния i в состояние j .

Вторая подсистема представляет собой транспортно-эксплуатационные расходы. Анализ работы автомобильного транспорта показывает, что изменение величины расходов, связанных с перевозками, зависит от скорости движения. Ежегодные транспортные затраты в общем виде выражаются следующей формулой [8]:

$$\Xi = f[N_0 f(t), S, V_t], \quad (2)$$

где N_0 – интенсивность движения в исходный год, авт./сут.;

V_t – средняя техническая скорость движения в год t , км/ч;

S – себестоимость перевозок, руб./авт. ч.

4. Логическая и математическая модели. Разработку методики решения целесообразно начинать с построения логической модели. Анализ математической модели системы технико-экономического обоснования лучше проводить после задания всех системных объектов и связей. Построение логической структуры решения задачи состоит в установлении связи между элементами системы, иерархии элементов, в определении системных объектов: входа, процесса, выхода и обратной связи [2, 1, 9].

Входными параметрами системы являются интенсивность движения N_0 в исходный год эксплуатации t_0 , возрастающая с течением времени, параметр $x = f(t)$, выражающий ежегодный прирост интенсивности движения, параметр P , характеризующий состав автомобильного потока и природные факторы, в частности рельеф местности. Перечисленные входные параметры представляет собой независимые и управляющие параметры системы. Действительно, сроки проведения мероприятий, повышающих техническое состояние дороги [4, 7], и характер самих мероприятий полностью определяются этими четырьмя параметрами. Таким образом, определив входные параметры системы, задаём её управление.

Поиск схемы оптимального распределения капитальных затрат во времени и оптимальных параметров дороги происходит среди множества вариантов сочетания параметров, принадлежащих трём группам подмножеств. Первая группа представлена подмножеством возможных положений трассы в плане (m_t), вторая – подмножеством вариантов продольного профиля (m_n) и третья – подмножеством типов поперечных профилей (m_b).

Количество возможных технических состояний определяется следующим выражением:

$$z = m_t m_{\Pi} m_{\text{в}}. \quad (3)$$

Формула (2) определяет область поиска в n -мерном пространстве, где n – число фазовых координат системы [8]. Рассматриваемой системе соответствуют следующие фазовые координаты: t , Π , в – характеристики плавного положения трассы, продольного профиля и ширины проезжей части или числа полос движения, то есть поперечного профиля дороги и времени t . Таким образом, поиск оптимального решения производится в четырёхмерном фазовом пространстве.

Каждому элементу технического состояния соответствует стоимостной показатель $K(t)$, $K(\Pi)$ и $K(\text{в})$, выражающий доли капитальных вложений, приходящихся на каждый элемент. Сумма стоимостных показателей элементов определяет капитальные затраты, необходимые для осуществления каждого технического состояния. Выходные параметры системы зависят от технического состояния дороги и характеризуются распределением скоростей движения автомобильного потока (первичный выходной параметр), представленным его статистическими характеристиками (\bar{v} – средней скоростью движения и $\bar{\sigma}$ – средним квадратическим её отклонением) и вторичными выходными параметрами – ежегодными транспортно-эксплуатационными расходами (1).

Следует отметить, что конструкция дорожной одежды в системе не варьируется и представлена в виде воздействия на стоимость осуществления технического состояния и на скорость движения автомобильного потока. Тип покрытия изменяется соответственно с увеличением ширины проезжей части.

5. Критерий выбора предпочтительных вариантов. Наиболее соответствующим решению задач этапного развития во времени транспортных линий является критерий оптимальности, характеризуемый минимальным значением эксплуатационных и капитальных затрат, приведённых к исходному году. Критерий минимума приведённых затрат наиболее полно отражает особенности транспортного строительства, позволяя учитывать непрерывное увеличение грузооборота и отдаление во времени капитальных вложений.

К выводу о наилучшем соответствии этого критерия характеру поставленной цели подошло подавляющее большинство исследователей [2, 8].

Критерий при поиске оптимального решения [5, 10] выполняет функцию управления процессом поиска, то есть соответствует назначению подсистемы обратной связи. Функционирование обратной связи обеспечивается тремя её составляющими: а) модель выхода, представляющая собой некоторую гипотетическую величину суммарных приведенных затрат, другими словами, в модели выхода заложены требования, предъявляемые к системе; б) проверка соответствия модели выхода производится для каждого варианта до тех пор, пока не будет найдена искомая альтернатива, имеющая минимальную сумму приведённых затрат; в) модель воздействия: в случае несоответствия суммарных приведённых затрат в каком-либо варианте стратегии минимальному значению должна испытываться следующая альтернатива. Для этого составляется новая комбинация элементов, характеризующих техническое состояние, и сроков перехода от состояния к состоянию. Составление нового варианта является воздействием на систему.

Подсистема обратной связи действует с момента вычисления себестоимости до тех пор, пока не будет найден её минимальный вариант.

Таким образом, использование предлагаемой методики даёт возможность обоснованно подбирать основные характеристики продольного и поперечного профилей сельской автомобильной дороги и ширину проезжей части.

Библиографический список

1. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование : учебник / А.Г. Исаченко. – Москва : Высшая школа, 1991. – 366 с.
2. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта / А.В. Скрыпников, Е.В. Чернышова, Е.В. Быстрынец, В.С. Логойда // Автоматизация. Современные технологии. – 2017. – Т. 71, № 9. – С. 429–432.
3. Лесовозные автомобильные дороги в транспортной сети лесопромышленного предприятия / Е.В. Чернышова, А.В. Скрыпников, В.В. Самцов, М.А. Абасов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – № 2 (368). – С. 95–101.
4. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. – Москва : Машиностроение, 1971. – 416 с.
5. Методы нелинейного программирования, используемые при проектировании трассы / Скрыпников А.В., Е.В. Чернышова, В.В. Самцов, М.А. Абасов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2018. – № 225. – С. 131–143.
6. Модель режимов движения транспортных потоков на лесовозных автомобильных дорогах / В.К. Курьянов, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.А. Морковин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2014. – № 2 (338). – С. 61–67.
7. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С. Оптнер ; пер. с англ. и вступ. статья С.П. Никанорова. – Москва : Сов. радио, 1969. – 216 с.
8. Рабочая гипотеза ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог и ее экономико-математическое развитие / Д.В. Бурмистров, А.В. Скрыпников, В.Г. Козлов // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2018. – Т. 22, № 5. – С. 69–76.
9. Скрыпников А.В. Повышение экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных лесовозных дорог / А.В. Скрыпников, В.К. Курьянов // Экономика и производство. – 2005. – № 1. – С. 35–37.
10. Theoretical Foundations of the Method of Designing a Clothoid Track with Approximation of Succession of Points / A.V. Skrypnikov, V.G. Kozlov, A.N. Belyaev, E.V. Chernyshova // Perspectives on the use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. – Part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC). – 2018. – Vol. 726. – Pp. 654–667.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Сергей Юрьевич Саблин – аспирант кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Россия, г. Воронеж, e-mail: sablinSYu@mail.ru.

Алексей Васильевич Скрыпников – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой информационной безопасности, декан факультета управления и информатики в технических системах ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Россия, г. Воронеж, e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru.

Ирина Алевтиновна Высоцкая – кандидат физико-математических наук, преподаватель кафедры математики ФГКВУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: i.a.trishina@gmail.com.

Денис Евгеньевич Болтнев – аспирант кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Россия, г. Воронеж, e-mail: 123456789@mail.ru.

Андрей Николаевич Брюховецкий – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой тракторов и автомобилей, проректор по учебной работе ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный аграрный университет», ЛНР, г. Луганск, e-mail: bruhoveckiy@rambler.ru.

Дата поступления в редакцию 12.03.2021

Дата принятия к печати 11.05.2021

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Sergey Yu. Sablin, Postgraduate Student, Dept. of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies, Russia, Voronezh, e-mail: sablinSYu@mail.ru.

Aleksey V. Skrypnikov, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Dept. of Information Security, Dean of the Faculty of Control and Information Technologies in Technological Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies, Russia, Voronezh, e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru.

Irina A. Vysotskaya, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Lecturer, Dept. of Mathematics, Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: i.a.trishina@gmail.com.

Denis E. Boltnev, Postgraduate Student, Dept. of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies, Russia, Voronezh, e-mail: 123456789@mail.ru..

Andrey N. Bryukhovetsky, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of the Dep. of Tractors and Cars, Vice Rector for Academic Affairs, Lugansk State Agrarian University, LNR, Lugansk, e-mail: bruhoveckiy@rambler.ru.

Received March 12, 2021

Accepted after revision May 11, 2021