

Vadym TATUS<sup>1</sup>

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ПРОЕКТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Изложены предпосылки и особенности моделирования реализации проектов автомобильных дорог для оценки рисков. Предложены две имитационно-оптимизационные модели оценки резервов на предотвращение и смягчение рисков, базирующиеся на схеме агрегативной системы, использовании метода Монте-Карло и генетическом алгоритме поиска оптимального решения.

Реализация проекта автомобильной дороги - это сложный, динамический, стохастический процесс с управлением, поэтому предложенная имитационная модель имеет соответствующие алгоритмы и воспроизводит процесс принятия управленческих решений, которые приводят к структурным изменениям в проекте и к изменениям параметров работ проекта. Применение концепций агрегата и агрегативной системы позволяют моделировать поведение разных элементов сложной системы с единых позиций с использованием однотипных математических схем и алгоритмов, что снижает затраты на их компьютерную реализацию.

С целью моделирования рисков и минимизации их негативного влияния фазы проекта автомобильной дороги сгруппированы в две части: стадию технико-экономического обоснования, изысканий и проектирования, согласований и отвода земель и строительства (реконструкции) дороги, и стадию эксплуатации дороги. Такое разделение обусловлено разными целями управления проектами строительства и эксплуатации автомобильной дороги, а также необходимостью моделирования процессов деградации состояния дороги на стадии ее эксплуатации.

Разработанные имитационно-оптимизационные модели и реализующие их компьютерные программы позволяют оценить влияние рисков на продолжительность и стоимость проектов автомобильных дорог, оптимизировать размер средств на покрытие рисков участников проекта, создать основу для построения информационно-аналитической системы управления проектами автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** проект шоссе, неопределенность, риск, снижение риска, моделирование, оптимизационные модели, системы управления рисками.

### **1. ВВЕДЕНИЕ**

Процессы создания и реализации проектов автомобильных дорог подвержены действию внешних и внутренних факторов, имеющих случайный или непредсказуемый целенаправленный характер. Исследования [1] показали, что 90% проектов в 20 государствах пяти континентов имели в среднем превышение стоимости на 33,8% (мосты и тоннели) и 20,4% (автомобильные дороги). Превышение стоимости и продолжительности реализации проектов вызвано неточными прогнозами перспективных значений их параметров, связанными с неопределенностью.

---

<sup>1</sup>Vadym TATUS, MSc, Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, Suvorova str. 1, 01010 Kyiv, tel. +380 (50) 330 45 73, e-mail: vtatus@nhi.com.ua

Степень неопределенности осуществления проектов зависит от состава, количества и качества информации, на основе которой принимаются решения в ходе управления проектами, и методов ее обработки.

### **Постановка задачи и цель статьи**

Существующие модели смягчения рисков в управлении проектами автомобильных дорог Украины не в полной мере учитывают сложность, взаимообусловленность и случайный характер процессов реализации проектов и требуют усовершенствования. Цель статьи – показать полученные автором результаты создания имитационно-оптимизационных моделей управления рисками проектов автомобильных дорог на разных стадиях реализации проектов и соответствующих компьютерных программ, предназначенных для решения этой задачи.

## **2. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ**

Стандарты [2, 3] (с небольшими отличиями) определяют риск как влияние неопределенности на цели. Влияние рассматривается как отклонение от ожидаемого результата или события с позитивными или негативными последствиями. Цели могут иметь различные аспекты, например, экономические, финансовые, экологические и др. Риск часто характеризуется отношением к потенциальным событиям и последствиям или сочетанию данных пунктов, а также в комбинации последствий событий (включая изменения в обстоятельствах) и связанной с ними вероятности инцидентов.

Неопределенность — это отсутствие или недостаточность информации относительно понимания или знания события, его последствий или вероятности [3].

В управлении проектами риск определяется как такие потенциальные рисковые события такие, что, если они произойдут, может иметь положительное или отрицательное воздействие на цели проекта (ISO 21500:2012 Руководство по управлению проектами).

Авторы [4] предложили метод количественного анализа риска на основе эмпирических данных. Дорожный проект они разделили на ряд этапов: изыскания и проектирование, проектные согласования, переговоры о приобретении земли, строительные работы и эксплуатацию

Выделены шесть категорий факторов риска: социальные, экономические, административные, природные, технические, проектные согласования.

Были получены статистические данные превышения фактических стоимости и срока реализации проектов относительно плановых значений и построены ранговые матрицы зависимостей вероятности и влияния факторов на длительность и стоимость проекта.

Процесс выполнения проекта представлен в виде укрупненной сетевой модели (без этапа эксплуатации дороги), длительность работ которой моделировалась методом Монте-Карло на основе полученных распределений вероятностей. К сожалению, в этой работе недостаточно рассмотрены риски стадии эксплуатации дороги.

Для того, чтобы максимально использовать преимущества управления проектными рисками, в проект включаются действия по управлению рисками. Это означает встраивание работ по управлению рисками в декомпозицию работ (иерархическую структуру работ). Шаги управления рисками включают в себя: планирование управления рисками, идентификацию рисков, качественный анализ рисков, количественный анализ рисков, реагирование на риски, мониторинг и управления рисками.

Управление рисками дорожных проектов обеспечивается информационными аналитическими системами, реализованными на базе современных информационных технологий, например, Microsoft Project, Oracle Primavera.

### **Предпосылки моделирования**

С целью моделирования рисков и минимизации их негативного влияния фазы проекта автомобильной дороги разделены на две стадии:

- 1) стадию технико-экономического обоснования, изысканий и проектирования, согласований и отвода земель и строительства (реконструкции) дороги;
- 2) стадию эксплуатации дороги.

На стадии проектирования и строительства преобладают цели осуществления проекта за определенный период и с определенной стоимостью работ. Здесь важны содержание проекта, состав и последовательность работ, влияние случайных факторов на продолжительность и стоимость отдельных работ и проекта в целом.

На стадии эксплуатации дороги важно обеспечить потребительские качества дороги, которые реализуются через ее технико-эксплуатационные показатели (прочность дорожной одежды, ровность и сцепление покрытия, экологическое воздействие и т.д.).

Это разделение обусловило необходимость разработки двух видов моделей:

- 1) минимизации негативного влияния рисков на стадии строительства (и всех предыдущих фаз);
- 2) минимизации негативного влияния рисков на стадии эксплуатации автомобильной дороги.

В моделях полученные результаты моделирования имеют характер непрерывных случайных величин и описываются оценками их распределений (плотностью распределения и интегральной функцией).

### **Модель минимизации проектных и строительных рисков**

Для решения задачи разработана имитационно-оптимизационная модель минимизации негативного влияния рисков.

Прогнозирование риска и управления им на основе аналитических математических моделей может дать лишь грубое приближение к истинным значениям изучаемых показателей из-за недостаточного отражения ими взаимодействия случайных процессов и реагирования на них управляющей подсистемы проекта. В то же время, имитационное моделирование – это процесс конструирования *модели реализации реальной системы* и постановки экспериментов на этой модели для оценки различных стратегий, обеспечивающих функционирование данной системы [5].

Реализация проекта автомобильной дороги – это сложный, динамический, стохастический процесс с управлением, поэтому имитационная модель должна иметь соответствующие алгоритмы и воспроизводить принятие управленческих решений, которые приводят к структурным изменениям в проекте или к изменениям параметров работ проекта.

В качестве аппарата построения имитационной модели использовалась концепция, основанная на схемах агрегата и агрегативной системы [5] с кусочно-постоянной структурой. Элементы агрегативной системы – это кусочно-линейные агрегаты, взаимодействующие между собой путем обмена сигналами. Выделено несколько типов агрегатов, которые моделируют: работы проекта; ресурсы; события, вызванные факторами риска; элементы внешней среды; управления и др. Случайные моменты времени переходов агрегата из одного состояния в другое, в том числе, вызванные факторами риска, определяются методом Монте-Карло на основе заданных оценок их вероятностных распределений.

Предложенная схема имитационной модели позволяет обосновать также эффективность алгоритмов управления, осуществляемого в процессе реализации проекта, в том числе, алгоритмов управления рисками.

Разработана реализующая имитационную модель компьютерная программа. Результат моделирования – гистограмма и интегральная функция распределения продолжительности и стоимости реализации проекта (рис. 1).

Поиск оптимального решения осуществляется с помощью генетического алгоритма. В алгоритме сначала создается конечное множество – популяция возможных решений задачи – хромосом, для каждого из которых вычисляется так называемая функция приспособленности. Значение этой функции характеризуют степень достижения цели системы – одной или нескольких. Оно оценивается имитационной моделью (рис. 1) по случайно выбранным значениям переменных – резервов смягчения рисков из области их определения.

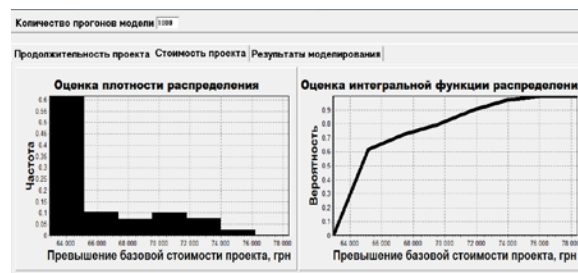


Рис. 1. Превышение стоимости проекта

Хромосомы состоят из генов, моделирующих значения управляемых переменных оптимизационной задачи. Из популяции тем или иным методом выбираются две «родительские» хромосомы, из которых путем скрещивания (операция кроссовера) формируются два «потомка». В операции кроссовера определяется точка разделения хромосом, затем хромосомы обмениваются соответствующими генами и образуются две новые хромосомы – «потомки». Гены во вновь созданных хромосомах могут с определенной вероятностью варьироваться

– мутировать, за счет чего поиск продолжается в новом регионе пространства допустимых решений.

**Модель минимизации эксплуатационных рисков**

В основу модели 2 оценки рисков эксплуатации дорог положен подход, предложенный в работе [6], и модифицированная для учета рисков компьютерная программа.

В основу прогнозирования состояния дорожной одежды и его покрытия положены модели деградации состояния, используемые в Системе управления состоянием покрытия (СУСП) Укравтодора.

Прогнозирование потребности в капитальных ремонтах определяется на основе измерений фактической прочности дорожной одежды, вычисления коэффициента запаса прочности и его сопоставления с нормативным коэффициентом запаса прочности. Прогнозирование потребности в текущих средних ремонтах в СУСП определяется на основе измерений фактических показателей ровности и коэффициента сцепления. Прогнозы применяются для прогнозирования состояния нежестких дорожных одежд. Расчеты в СУСП – детерминированные.

В качестве критерия оценки эффективности ремонтно-восстановительных мероприятий приняты суммарные дорожно-транспортные затраты:

$$\begin{aligned}
 Z = & A + \sum_{i=1}^{n_c} \frac{C_i}{(1+d)^{t_i}} + \frac{K}{(1+d)^{t_k}} + L(t) + 3,06 \times N_0 \times \sum_{j=1}^{j=k} e_j \times p_j \\
 & \times \sum_{i=0}^t \frac{(1+q)^i \times (a_0 + a_1 \times (S_0 + \alpha \times i \times \exp(c \times i)))}{(1+d)^i}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где  $A$  – стоимость строительства (реконструкции);  $C_i$  – стоимость первого, второго и т.д. текущих средних ремонтов;  $t_i$  – год выполнения первого, второго и т.д. текущих средних ремонтов;  $K$  – стоимость капитального ремонта;  $t_k$  год выполнения капитального ремонта;  $L(t)$  – расходы на текущий мелкий ремонт и содержание.  $N_0$  – фактическая интенсивность движения в нулевой год, авт. / сутки;  $e_i$  – коэффициент приведения автомобилей  $i$ -х весовых групп к расчетному автомобилю по себестоимости перевозок;  $p_i$  – процент автомобилей  $i$ -й весовой группы в потоке;  $q$  – коэффициент прироста интенсивности движения;  $S_0$  – начальная ровность;  $a_0, a_1$  – коэффициенты формулы себестоимости перевозок;  $d$  – ставка дисконта;  $\alpha, c$  – расчетные параметры, зависящие от числа полос движения, расчетной интенсивности движения, приведенной к осевой нагрузки группы А на полосу движения, и коэффициента ее прироста; приведенной толщины связных слоев; коэффициента учета числа полос; ширины проезжей части; показателя структурной прочности несущего слоя; коэффициента запаса прочности ; коэффициента неоднородности прочности; коэффициента влияния дорожно-климатической зоны; коэффициента влияния местности по увлажнению.

В предложенной имитационной модели входные параметры моделей прогнозов (например, прирост интенсивности движения) моделируются методом Монте-Карло как случайные величины, поэтому значение (1) – случайное. Оно характеризуется гистограммой и функцией распределения подобно показанной на рис. 1.

Оптимизация рисков осуществляется с использованием разработанного для этой модели генетического алгоритма, позволяющего выбрать оптимальные сроки выполнения капитальных и текущих средних ремонтов. При их проектировании и реализации может выполняться оптимизация рисков в соответствии с моделью 1.

### **Информационное обеспечение системы управления рисками**

Принимая во внимание недостаточный, несистематический, неформализованный, недостаточно компьютеризированный уровень практического осуществления управления проектными рисками, можно констатировать, что для управления рисками проекта автомобильной дороги требуется разработка информационно-аналитической экспертной системы Укравтодора.

В основу этой системы следует положить:

- базу данных о выполненных и выполняемых проектах автомобильных дорог;
- базу знаний об иерархической структуре рисков, присущих проектам автомобильных дорог – библиотеки событий риска, категорий риска, микро-деревьев риска;
- модели оценки и управления рисками;
- организацию взаимодействия с СУСП, АЭСУМ (Аналитической экспертной системой управления мостами Укравтодора) и другими действующими информационными системами.

Необходимость поддержки и развития такой системы, ее использование широким кругом заинтересованных организаций окажет положительное влияние на решение проблемы управления рисками проектов автомобильных дорог.

### **ВЫВОДЫ**

Разработанные имитационно – оптимизационные модели и реализующие их компьютерные программы позволяют:

- оценить влияние рисков на продолжительность и стоимость проектов автомобильных дорог;
- оптимизировать размер средств на покрытие рисков участников проекта;
- создать основу для построения информационно-аналитической системы управления проектами автомобильных дорог.

Они являются составной частью Аналитической экспертной системы технико-экономического обоснования (АЭС-ТЭО).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- [1] Flyvbjerg, B., Holm, M. K. S., and Buhl, S. L. How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects? *Transport Reviews*, Taylor & Francis Ltd, UK, 2003, Vol. 23, No. 1, 71-88. Систем. требования: Adobe Reader URL: <http://flyvbjerg.plan.aau.dk/COSTFREQ4.pdf> (дата обращения: 26.07.2013).
- [2] ГОСТ Р 51897-2011/Руководство ИСО 73:2009. МЕНЕДЖМЕНТ РИСКА. Термины и определения. ISO Guide 73:2009 Risk management — Vocabulary — Guidelines for use in

- standards (IDT). Москва, Стандартинформ, 16с. URL: [http://oac.rgotups.ru/misc/files/prof\\_risk/gost\\_R\\_51897-2011.pdf](http://oac.rgotups.ru/misc/files/prof_risk/gost_R_51897-2011.pdf) Систем. требования: Adobe Reader. (дата обращения: 26.07.2013).
- [3] Международный Стандарт ISO 31000. Первое издание, 2009-11-15. Риск Менеджмент – Принципы и руководства, ISO 2009, 32 с. URL: [http://www.pqm-online.com/assets/files/standards/iso\\_31000-2009\(r\).pdf](http://www.pqm-online.com/assets/files/standards/iso_31000-2009(r).pdf) Систем. требования: Adobe Reader. (дата обращения: 27.07.2013).
- [4] Sato Y., Kitazume K., Miyamoto K. Quantitative Risk Analysis of Road Projects based on empirical data in Japan // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 3971 - 3984, 2005.
- [5] Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М., Изд-во «Советское радио», 1973, 440 с.
- [6] Діденко В.В. Імітаційна модель аналізу вартості життєвого циклу автомобільних доріг. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип.81. – К.: НТУ. – 2011. – С. 76-81.

### RISK SIMULATION OF HIGHWAYS PROJECTS

Pre-conditions and features of simulation of realization of highways projects for the estimation of risks are expounded. Two simulation-optimization models of estimation of backlogs offer on prevention and softening of risks, being based on the chart of the aggregative system, use of Monte Carlo method and genetic algorithm of search of optimal solution.

Implementation of the project of the road - it is a complex, dynamic, stochastic process management, so the proposed simulation model has the appropriate algorithms and reproduces the managerial decision making process that lead to structural changes in the project and to changes in the parameters of the project work. Application of the concepts of the unit and aggregative systems can simulate the behavior of the different elements of a complex system with a unified point of using the same type of mathematical schemes and algorithms, which reduces the cost of their computer implementation.

For the purpose of simulation of risks and minimization of their negative influence the phases of highway project were grouped in two parts: the stage of feasibility study, research and planning, concordances and land acquisition and building (reconstructions) of road, and stage of exploitation of road. This separation is due to the different purposes of project management of construction and road maintenance, as well as the need to simulate the processes of degradation state of the road at the stage of its operation.

The worked out simulation-optimization models and realizing them computer programs allow to estimate influence of risks on duration and cost of highways projects, to optimize the size of facilities on coverage of risks of participants of project, to provide a basis for the construction of research and information control system by the highways projects.

**Keywords:** highway project, uncertainty, risk, risk mitigation, simulation – optimization models, risk management systems

DOI: 10.7862/rz.2014.mmr.13

Tekst złożono w redakcji: grudzień 2013  
Przyjęto do druku: luty 2014