

## **Метод оптимизации моделирования технико-экономических показателей проектов создания сложной техники**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Рассмотрены основные подходы к моделированию проектов создания сложной техники. Обоснована необходимость оптимизации моделирования при риск-ориентированном подходе к планированию. Предложен метод оптимизации моделирования путем минимизации количества моделируемых вариантов. Проанализированы полученные результаты и возможности дальнейшего применения.

**Ключевые слова:** моделирование, технико-экономические показатели, сложная техника, оптимизация.

### **Введение**

Обеспечение рентабельности и безопасности выпуска продукции сложной техники (такой, как авиационная и судостроительная) является одной из ключевых задач предварительного планирования разработки и производства. Однако с увеличением сложности конструкций и технологий изготовления изделий (что характерно для изделий сложной техники), а также с усложнением условий разработки возрастает количество и вероятность возможных рисков.

В таких условиях адекватная оценка технико-экономических показателей проекта и снижение ущерба от последствий проявления факторов риска представляет собой критически важную задачу. Применение информационных технологий для решения данной задачи является одним из самых выгодных и эффективных вариантов, а именно речь пойдет о моделировании технико-экономических показателей проекта при разработке и производстве изделий сложной техники.

Модели качественной и количественной оценки рисков разработаны для атомных электростанций, строительных проектов, систем управления, горной промышленности и др. Отличительной чертой этих областей является наличие сложной структуры и высокой степени неопределенности. Для решения этих проблем исследователи часто прибегают к аналитическим методам, тогда как имитационные модели гораздо лучше приспособлены, так как они могут работать со сколь угодно сложной структурой проекта.

### **Анализ литературных данных и постановка проблемы**

Работы, посвященные оценке рисков для различных областей, представлены следующими авторами В.В. Бегун (атомная энергетика), К.В. Плахотников (инвестиционные строительные проекты), Н.А. Касьянов (охрана труда машиностроения), В.П. Ковальчук (системы природопользования) [1]. В этих работах предложены модели качественной и количественной оценки рисков в соответствующих отраслях. Современные исследователи [2] отмечают сложность классического математического аппарата анализа рисков. Решения по финансированию необходимо поддерживать результатами имитационного моделирования на этапах предварительного обоснования.

Альтернативной веткой развития являются методы экспертной оценки [3], однако при наличии многовариантной и сложной структуры проекта эти методы недостаточно эффективны из-за невозможности оценить проект с высоким уровнем неопределенности.

Современные компьютерные средства для моделирования проектов чаще всего основаны на методе Монте-Карло [4], при этом генерируются частные реализации проекта, в которых изменяющиеся величины - длительность или стоимость отдельных работ. Данный метод не является ресурсоемким и успешно применяется в таких пакетах, как MS Project и Primavera [5]. Однако для более точного анализа показателей проекта требуется моделирование детального календарного плана с учетом изменений в структуре проекта. Это приводит к тому, что при наличии в проекте хотя бы десяти факторов риска мы имеем более 1000 различных вариантов проекта. Просчет детализированного плана проекта в пакете планирования для каждого варианта представляет собой очень ресурсоемкую операцию. Поэтому актуальной научно-прикладной задачей является оптимизация моделирования проектов с изменяющейся структурой.

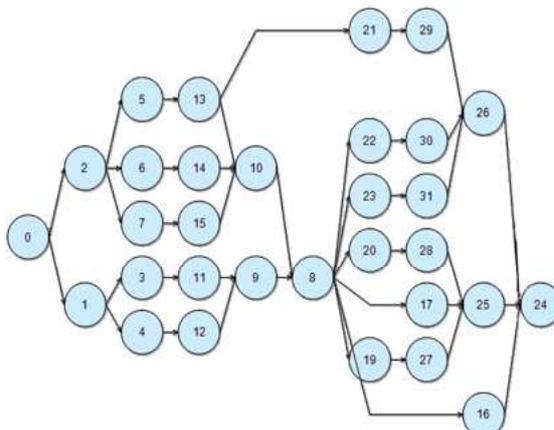
### Цель и задачи исследования

Необходимо разработать метод повышения эффективности моделирования технико-экономических показателей проекта путем минимизации количества моделируемых вариантов. Для разработки метода нужно решить следующие задачи:

- 1) проанализировать механизм генерации вариантов проектов при моделировании;
- 2) разработать метод, позволяющий минимизировать количество моделируемых вариантов;
- 3) сравнить достоверность метода с полным перебором вариантов.

### Метод оптимизации моделирования

Были рассмотрены механизмы моделирования в существующих пакетах планирования. Применяемые подходы не позволяют перестраивать структуру работ проекта для устранения последствий проявления факторов риска. Для решения данной задачи были проанализированы различные модели представления проектов: матричная, сетевая, объектная, иерархическая и т.д.



$Y(0) \vee [Y(2) \vee [Y(5) \vee Y(13) \wedge [Y(6) \vee Y(14) \wedge Y(7) \vee Y(15)]] \vee Y(10) \vee Y(18) \vee Y(26) \wedge Y(2) \vee Y(5) \vee Y(13) \vee Y(21) \vee Y(29) \vee Y(26) \wedge [Y(1) \vee [Y(3) \vee Y(11) \wedge Y(4) \vee Y(12)]] \vee Y(9) \wedge Y(2) \vee [Y(5) \vee Y(13) \wedge [Y(6) \vee Y(14) \wedge Y(7) \vee Y(15)]] \vee Y(10) \vee Y(8) \vee [Y(16) \wedge [Y(17) \wedge Y(19) \vee Y(27) \wedge Y(20) \vee Y(28)]] \vee Y(25) \wedge [Y(22) \vee Y(30) \wedge Y(23) \vee Y(31)] \vee Y(26)]] \vee Y(24)$

Рис. 1. Структура проекта в виде графа и РССП строки

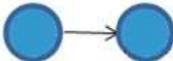
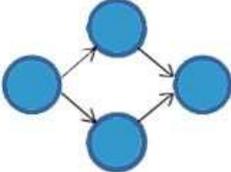
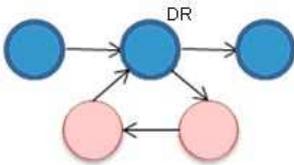
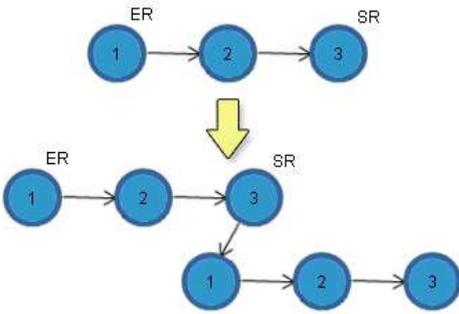
Однако наиболее подходящей является модель, основанная на языке алгоритмического описания регулярных схем сетей процессов РССП [6]. Возможности данного языка позволяют, используя сигнатуру базовых операций, описать струк-

туру проекта и механизмы устранения последствий проявления факторов риска в единой форме (рис. 1).

На основании проанализированных методов первоочередным для реализации был выбран непрерывный генетический алгоритм (НГА) [7-10]. Так как НГА представлен в обобщенном виде, его необходимо интерпретировать для нужд исследования.

Таблица 1

Таблица базисов языка РССП

Название	Обозначение	Графическая интерпретация
Обозначение работы	Y	
Объединение	v	
Исключение	^	
Риск с дополнительными работами	DR	
Риск конца участка для повторения	SR	
Риск начала участка для повторения	ER	
Риск	R	

В роли сущности (либо особи) будет выступать структура проекта с работами и рисками. Набор этих рисков будет выступать в роли гена, графическое изображение которого показано на рис. 2.



Рис. 2. Графическое изображение гена

Ген будет представлен в виде маски рисков, каждый элемент которой может принимать только два значения («1» и «0» - риск произошел и не произошел соответственно), в определениях НГА эти элементы называются хромосомами (рис. 3).



Рис. 3. Хромосома в двух состояниях

Набор же самих генов будет называться поколением (рис. 4). Поколение будет выводиться в первый раз случайным образом. Размерность же поколения будет высчитываться исходя из следующей зависимости:  $\frac{\sqrt{2^R}}{2}$  (R – количество рисков). Так мы получим оптимальный размер одного поколения для эффективного нахождения наиболее вероятного варианта проекта.



Рис. 4. Графическое представление генов

Наиболее эффективными будут считаться гены, определяемые по критерию эффективности. Критерием эффективности была выбрана вероятность особи, рассчитанная на основании произошедших и не произошедших генов путем перемножения вероятностей того, что они произойдут, либо того, что они не произойдут соответственно.

Рассмотрим пример двух мутирующих генов (рис. 5).



Рис. 5. Мутирующие гены

В данном случае существуют два гена с набором хромосом. Как было рассмотрено выше, правило скрещивания называется кроссовером. Кроссоверы бывают различной степени сложности и применимы для различного рода задач и модификаций НГА. В данном случае был выбран линейный половинный кроссовер, но в последующем правило скрещивания можно достаточно просто изменять. В результате мутации будут произведены два гена, показанные на рис. 6.

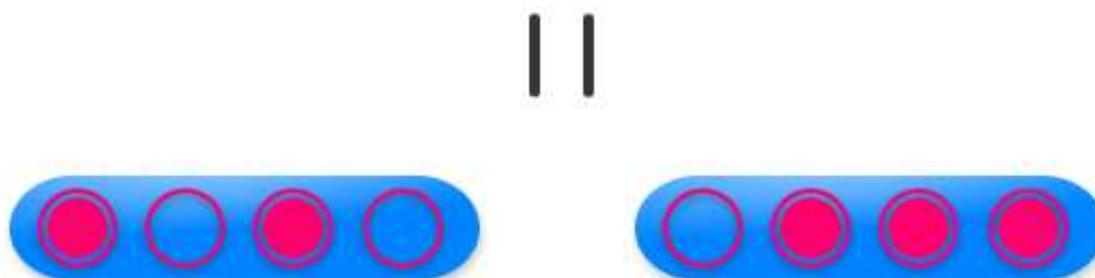


Рис. 6. Гены после мутации

В результате были получены два гена возможно с большей эффективностью, чем предыдущие два. Остальные гены нового поколения будут сгенерированы случайным образом. Итерации повторяются до тех пор, пока различия между эффективностью лучших генов двух крайних поколений не будут крайне малы либо различия и вовсе не будет.

### Выводы и результаты

В данной статье проанализированы подходы к моделированию технико-экономических показателей проектов создания сложной техники. Функционал существующих пакетов планирования в области моделирования был расширен за счет разработки методических и инструментальных средств моделирования проектов с изменяющейся структурой. Для минимизации времени моделирования был применен генетический алгоритм, модифицированный под условия задачи.

На основе разработанных средств, было проведено моделирование проекта разработки и создания БПЛА. Было рассмотрено два случая: нехватка контроля на этапах подготовки производства, как следствие - большое количество несоответствий на этапе производства и сборки; повышенный контроль на этапах подготовки производства – меньшее количество несоответствий при производстве и сборке. Результаты моделирования в целях поиска наиболее вероятных сроков стоимости показаны на рис. 7.

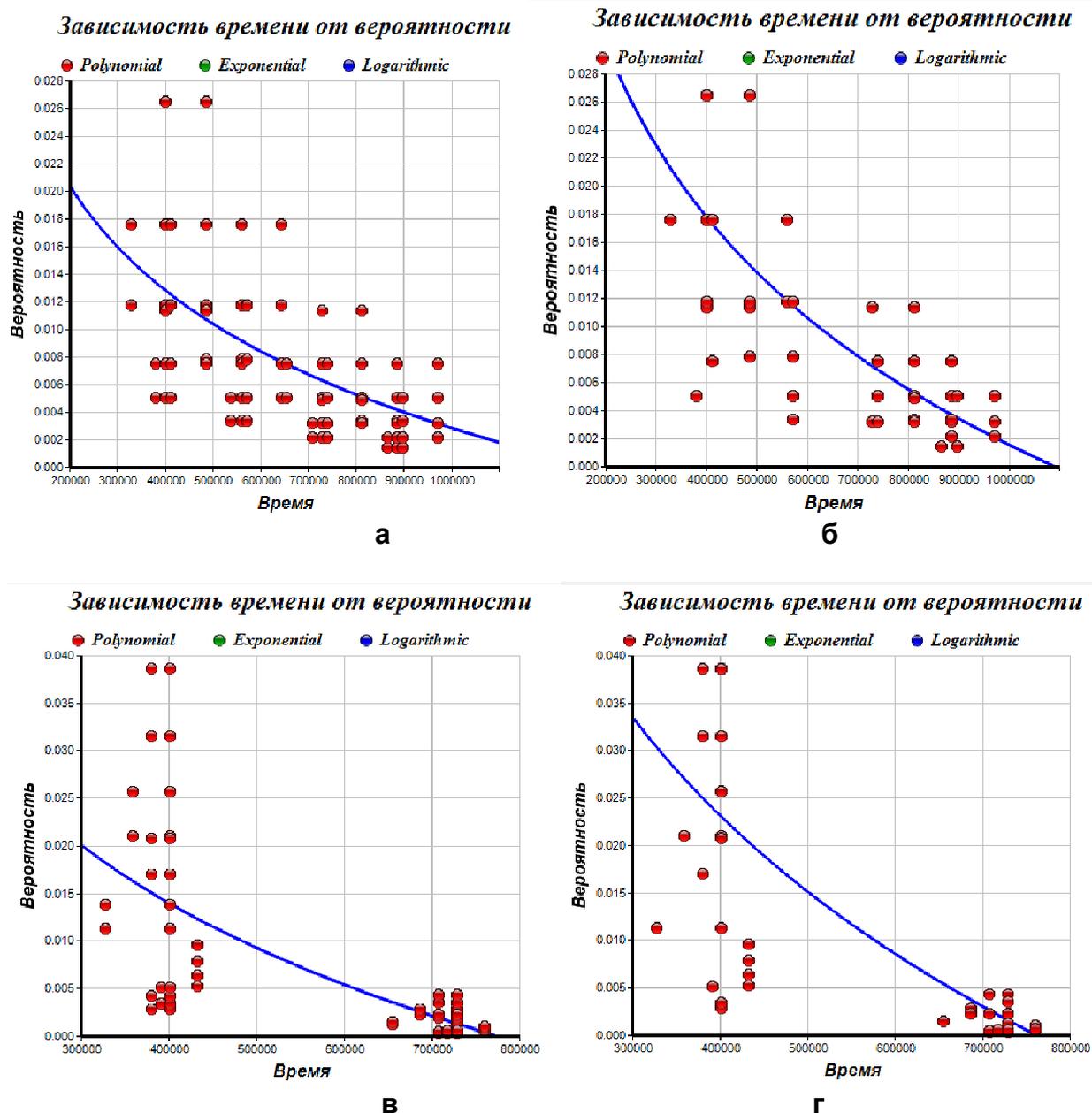


Рис. 7. Результаты моделирования:  
 а – метод полного перебора при нехватке контроля;  
 б – метод НГА при нехватке контроля;  
 в – метод полного перебора при повышенном контроле;  
 г – метод НГА при повышенном контроле

Согласно полученным данным (табл. 2) использование НГА позволило сократить количество моделируемых вариантов на 48%, а общую длительность поиска наиболее вероятных реализаций проекта – на 50%.

Таблица 2

## Длительность моделирования

Название	Нехватка контроля на этапах подготовки производства		Повышенный контроль на этапах подготовки производства	
	Полный перебор	НГА	Полный перебор	НГА
Генерация РССП	2,17 с	0,28 с	0,26 с	0,28 с
Моделирование	13,77 с	9,11 с	5,25 с	4,24 с
Анализ MS Project	4897,13 с	2413,65 с	5190,23 с	2578,41 с
всего	4913,07 с	2423,05 с	5195,76 с	2582,93 с
Кол-во вариантов	128	66	128	66

## Список литературы

1. Маевский, В.С. Стохастическое моделирование рисков невыполнения программы развития горных работ на угольной шахте [Текст] / В.С. Маевский, Л.Н. Захарова, А.В. Мерзликин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. Проблеми моделювання та автоматизації проектування. — 2011. — №10. — С. 101—111.

2. Имитационное моделирование инвестиционных процессов [Текст] : Пятая (юбилейная) всероссийская научно-практическая конференция "Имитационное моделирование. Теория и практика ИММОД-2011", 19-21 октября 2011 г. Санкт-Петербург / редкол. : Б. Ю. Серебряков (отв. ред.). — Спб.: ОАО «ЦТСС», 2011. — 145 с.

3. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование [Текст.] / А. И. Орлов — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 180 с.

4. Лукашов, А. В. Метод Монте-Карло для финансовых аналитиков: краткий путеводитель / А. В. Лукашов // Управление корпоративными финансами. — 2007. — № 1. — С. 22–39.

5. Управление проектами с Primavera [Текст] : учеб. пособие / В. В. Трофимов, В. Н. Иванов, М. К. Казаков и др. — СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2005. — 180 с.

6. Дружинин, Е. А. Методологические основы риск-ориентированного подхода к управлению ресурсами проектов и программ развития техники [Текст] : дис. ... д-ра. техн. наук. Нац. Аэрокосм. Ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» / Е. А. Дружинин. — Х., 2006. — 403 с.

7. Wright, A. Genetic algorithms for real parameter optimization / A. Wright // Foundations of Genetic Algorithms. - V. 1. - 1991. - P. 205-218.

8. Herrera, F. Tackling real-coded Genetic algorithms: operators and tools for the behaviour analysis / F. Herrera, M. Lozano, J.L. Verdegay // Artificial Intelligence Review. - Vol. 12, No. 4, 1998. - P. 265-319.

9. Deb, K. Realcoded genetic algorithms with simulated binary crossover: Studies on multimodal and multiobjective problems / K. Deb, A. Kumar // Complex Systems. - Vol. 9(6), 1995. - P 431—454.

10. Herrera, F. Hybrid Crossover Operators for Real-Coded Genetic Algorithms: An Experimental Study / F. Herrera, M. Lozano, A.M. Sanchez // Soft Comput. - Vol. 9(4), 2005. - P. 280-298.

**Рецензент:** д. т. н., проф., зав. каф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 19.02.13

## **Метод оптимізації моделювання техніко-економічних показників проектів створення складної техніки**

Розглянуто основні підходи до моделювання проектів створення складної техніки. Обґрунтовано необхідність оптимізації моделювання при ризик-орієнтованому підході до планування. Запропоновано метод оптимізації моделювання шляхом мінімізації кількості модельованих варіантів. Проаналізовано отримані результати та можливості подальшого застосування.

**Ключові слова:** моделювання, техніко-економічні показники, складна техніка, оптимізація.

## **The optimization method of technical and economic indicators modeling for complex engineering products creation**

In the article the main approaches to complex engineering products projects modeling are discussed. It was found that it is necessary to optimize this process due to risk oriented approach. The optimization method is proposed, which allows to minimize the quantity of variants. The results of research are analyzed and the future possibilities for usage are proposed.

**Keywords:** modeling, technical and economic indicators, complex engineering, optimization.