УДК 658.012.23:004.942

С.А. Коба, Е.А. Дружинин

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ПРОЕКТОВ

Предложена система имитационного моделирования технико-экономических показателей сложных проектов, основанная на методах и моделях формирования календарного плана проекта с учетом влияния факторов риска и цикла организации работ. Основным отличием от существующих систем, является возможность перестроения структуры проекта в процессе моделирования, для обеспечения достаточного уровня соответствия моделируемых процессов реальным. Система позволяет рассчитать пиковые и средние значения показателей, а также вероятность попадания значений показателей в указанный диапазон. Применение предлагаемой системы дает возможность повысить эффективность работы менеджеров сложных проектов, а также повысить достоверность принимаемых решений на этапе планирования. Рассмотрен процесс прогнозирования технико-экономических показателей на примере проекта создания беспилотного авиационного комплекса, полученные результаты согласуются с реальными показателями.

Ключевые слова: *сложный проект, формирование календарного плана, имитационной моделирование, беспилотный авиационный комплекс.*

Введение

Оценка технико-экономических показателей (ТЭП) сложных проектов является одним из условий успешного планирования и как следствие успешного выполнения в дальнейшем сложных проектов. Оценка ТЭП позволяет менеджерам проектов получить ценные сведения о сроках, стоимости, вероятности и других показателях проектов, таких как загрузка ресурсов, например. Решение этих задач обеспечит повышение уровня обоснованности принятия решений на этапе планирования и инициации сложных проектов.

Сложные проекты обладают следующими основными свойствами: высокий уровень неопределенности исходных данных, из чего следует многовариантность реализации проекта; высокая степень подверженности влиянию факторов риска, проект имеет итеративный, расходящийся характер; основной результат является комплексом большого количества результатов, что обуславливает наличие многоуровневой структуры работ и их взаимосвязей; использование различных подходов и большого числа специалистов.

Успешность прогнозирования ТЭП сложных проектов зависит от уровня достоверности представления процессов проекта при анализе. Иными словами при анализе показателей сложных проектов необходимо стремиться представить анализируемые процессы наиболее приближенно к реальным процессам проекта. Поэтому при анализе влиянии факторов риска необходимым является перестроение структуры работ сложных проектов, т.к. устранение последствий проявления факторов риска влечет за собой дополнительные работы, возвраты и повторы ряда работ.

Актуальность темы исследования согласуется с работами Бушуева С.Д., Бушуевой Н.С., Тесли Ю.Н., Дружинина Е.А., Кононенко И.В. [1 - 4], в которых подчеркивается необходимость в точном прогнозировании процессов развития проектов, особенно в той части, что связана с обеспечением его качества и управления рисками. К современным работам из этой области также можно отнести работы по разработке методов и моделей управления проектами с учетом резервов времени и стоимости [5], анализа альтернативных ветвей выполнения проектов и дальнейшая оптимизация показателей проекта [6, 7] и др. Несмотря на современные исследования в области анализа сложных проектов, в этих работах отсутствуют методы позволяющие эффективно перестраивать структуру проекта при наличии большого количества факторов риска и как следствие множества вариантов реализации проекта.

Существующие программные средства также не позволяют в необходимой мере решать задачи перестроения структуры сложных проектов при прогнозировании ТЭП.

В большинстве известных продуктов применяется вероятностный подход к вычислению длительностей и стоимости работ проекта, что не позволяет в полной мере представить реальные процессы проекта. В свою очередь перестроение планов сложных проектов вручную является чрезвычайно трудоемкой и сложной задачей.

В данной работе предложена компьютерная система прогнозирования ТЭП сложных проектов с учетом влияния факторов риска и различных циклов

организация работ, которая бы позволяла представить процессы проекта с необходимой степенью приближения к реальным.

Постановка задачи исследования

В ходе анализа современных подходов к управлению сложными проектами была показана необходимость в точном прогнозировании показателей сложных проектов, особенно в той части, что связана с обеспечением требуемых ТЭП и управления рисками. Современные информационные средства в недостаточной степени обладают функциями, необходимыми для сравнительного анализа различных вариантов реализации проекта и оценки ТЭП.

Был проведен анализ структуры работ сложных проектов на примерах сложной наукоемкой техники и сложного программного обеспечения. Было выявлено, что структура сложного проекта может быть разбита на типовые этапы, зависящие от структуры объекта сложного проекта.

Были разработаны методы формирования единого плана сложного проекта с учетом цикла организации работ, а также подходы к интеграции основных процессов и механизмов устранения последствий проявления факторов риска [8,9]. Был разработан математический аппарат преобразования матриц, позволяющий объединять типовые этапы сложного проекта с целью формирования единой сети процессов, при этом были использованы следующие операции преобразования:

– прямая сумма матриц - $\otimes$;

– поворот матрицы по часовой - $\mathrm{rot}(M)$, против часовой - $\mathrm{urot}(M)$;

– отражение матрицы по горизонтали - $\mathrm{href}(M)$, по вертикали - $\mathrm{vref}(M)$;

– вставка горизонтального вектора - $\mathrm{insHvector}(x, y, w)$;

– вставка диагональной матрицы - $\mathrm{insMainDmatrix}(m, x, y, w, h)$;

– скрещивание двух матриц, таким образом, чтобы при наложении друг на друга, если в одном и том же столбце первой и второй матрицы есть хотя бы одна единица, то единицы первой матрицы обнуляются - $m1 \& m2$.

Используя данные операции преобразования матриц, можно записать последовательность формирования обобщенной матрицы единой сети процессов для проекта:

$$M = S \otimes \mathrm{urot}(\mathrm{href}(S)) \otimes tpp \otimes \mathrm{urot}(\mathrm{href}(S)),$$
$$\mathrm{insMainDmatrix}(M, 2*N - w, N - x, w, w),$$
$$\mathrm{insHvector}(M, 2*N, N, N),$$
$$\mathrm{insMainDmatrix}(M, 3*N, 2*N, N, N),$$

где M – обобщенная матрица; tpp – нулевая матрица размером N на N;

S – матрица структуры изделия;

w – количество деталей изделия;

N – количество деталей изделия.

Требуется разработать компьютерную систему, реализующую разработанные модели и методы с целью расширения функциональных возможностей существующих пакетов планирования.

Необходимо произвести прогноз ТЭП для примера проекта создания беспилотного авиационного комплекса (БАК).

Система должна позволять рассчитать пиковые и средние значения ТЭП, а также вероятность попадания значений ТЭП в указанный диапазон. Система должна интегрироваться с существующими пакетами планирования.

Интерфейс системы должен обеспечивать ввод информации о этапах проекта, структуре объекта, факторах риска и механизмах устранения последствий их проявления, операциях и ресурсах проекта.

Этапы функционирования системы

Проект создания БАК состоит из следующих этапов: внешнее проектирование, общее проектирование, изготовление, испытания (рис. 1). Составы работ внешнего проектирования и испытаний в малой степени поддаются типизации и зависят от свойств каждого отдельного объекта, поэтому в системе они будут заданы с помощью библиотеки операций. Состав этапов общего проектирования и изготовления в свою очередь зависит от структуры разрабатываемого объекта.

Для максимальной интеграции с существующими системами планирования каждая работа проекта детализируется с помощью суммарной задачи, которая храниться в формате пакета планирования. На данном этапе функционирования система осуществляет поиск по библиотеке операций и запрашивает у пользователя недостающие суммарные задачи, необходимые для экспорта проекта в пакет планирования для дальнейшего анализа ТЭП.

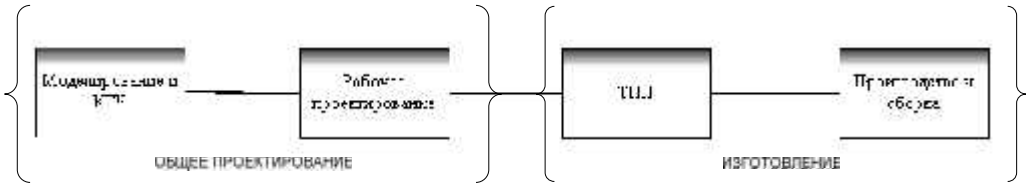

Рис. 1. Последовательность этапов создания БАК

В окне редактирования структуры объекта сложного проекта необходимо указать, какие из элементов являются «самостоятельными» (рис. 2). Работы этапа, связанные с этим элементом, будут начинаться параллельно с предыдущим этапом.

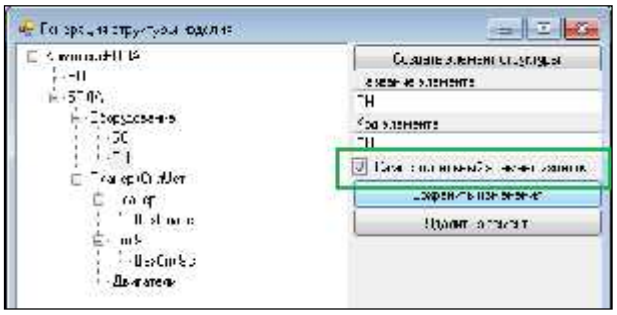

Рис. 2. Выбор «самостоятельных» элементов

Далее в системе выполняется формирование механизмов реакции на проявление возможных факторов риска.

В системе задаются возвраты, дополнительные работы и повторы ряда работ (рис. 3).

Рис. 3. Формирование механизмов реакции

Дополнительные работы, которые необходимо выполнить для устранения последствий проявления фактора риска, хранятся в библиотеке в формате пакета планирования, что позволяет задать им любую структуру работ.

В проекте создания БАК было выделено семь рисков, при возникновении которых необходимо выполнить возврат на предыдущие этапы.

При получении от пользователя команды на старт моделирования, система передает в строковом виде проект в моделлер, который осуществляет методом модифицированного генетического алгоритма усечение количества возможных вариантов проекта.

Каждый вариант реализации проекта транслируется системой обратно в матричный вид, из которого его удобно экспортировать в пакет планирования. В пакете планирования может быть осуществлен анализ любой из реализаций, либо подсчитаны средние, максимальные или минимальные значения любого ТЭП проекта.

Моделирование процессов реализации сложных проектов при последовательном и сквозном-параллельном циклах организации работ

Используя разработанную компьютерную систему, было произведено моделирование проекта создания БАК при последовательном цикле организации работ. При этом работы по технологической подготовке производства (ТПП) были начаты только после завершения всех работ по рабочему проектированию (РП). Моделирование происходило в «идеальных» условиях, т.е. без учета влияния факторов риска. В результате моделирования были рассчитаны длительность и стоимость проекта.

Длительность проекта создания БАК при последовательном цикле организации работ составила 517 дней с учетом выходных и праздников при восьми часовом рабочем дне. Также была произведена серия моделирований при сквозном-параллельном цикле организации работ. При этом каждый раз параллельно выполняющимися были назначены работы по ТПП для разных элементов БАК. Были промоделированы следующие случаи:

1. Параллельно выполняющимися были назначены работы по ТПП бортового оборудования (БО).
2. Параллельно выполняющимися были назначены работы по ТПП для планера и силовой установки (ПН).
3. Параллельно выполняющимися были назначены все работы по ТПП.

В первом случае моделирование показало, что параллельное выполнение работ по ТПП для БО никак не повлияет на длительность выполнения проекта, а только будет иметь незначительное влияние на загрузку ресурсов на этапе РП и ТПП. Это связано с тем, что работы по разработке и созданию БО не лежат на критическом пути выполнения

проекта, поэтому ускорение этой части проекта никак не влияет на общую длительность.

Во втором случае назначение работ по ТПП параллельно выполняющимися для ПН дало ощутимое сокращение общих сроков выполнения проекта на 28 дней. Этот эффект достигается за счет того, что работы по ТПП для ПН начинаются сразу после работ по РП для ПН, а не ожидают полного окончания этапа РП для всего БАК. Таким образом, раньше начинаются работы по производству и сборке ПН и в целом проект выполняется за меньшее количество дней и меньшую стоимость.

Как видно из сетевого графа проекта для второго случая (рис. 4) работы по ТПП для планера и силовой установки (работы №31-35) имеют связи непосредственно с работами по РП планера и силовой установки (работы №19-23), и не ожидают окончания работ по РП для всего БАК (работа №12).

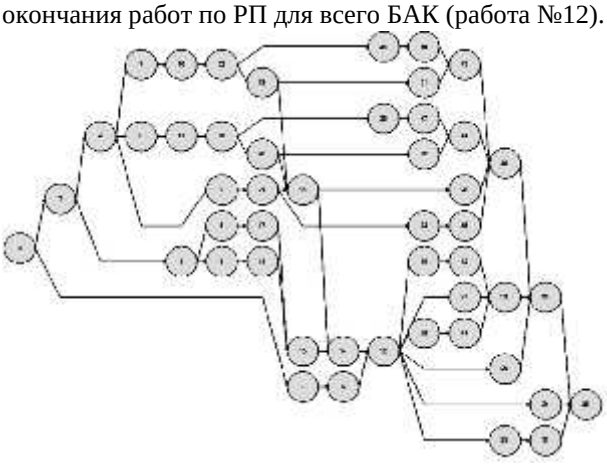

Рис. 4. Параллельными назначены работы для ПН

В третьем случае все работы по ТПП были назначены параллельно выполняющимися. Результат моделирования показал, что общая длительность проекта сократилась на 53 дня, этот результат больше практически в два раза, чем для второго случая. Данный результат был достигнут путем дополнительного назначения «параллельно выполняющимися» работ по ТПП для наземного оборудования. В итоге при данном варианте сквозного-параллельного цикла выполнения работ, все работы по ТПП начинаются непосредственно сразу же после окончания работ по РП для соответствующих составляющих БАК. Сетевой граф работ для данного варианта реализации представлен на рис. 5.

В соответствии с полученными результатами можно сделать вывод, что наибольший эффект снижения длительности проекта был получен в случае, когда параллельно выполнялись все работы по ТПП и составляет 11% от первоначальной длительности. Вторым по этому показателю является вариант проекта, при котором параллельно выполнялись работы по ТПП для ПН – 6% (рис. 6).

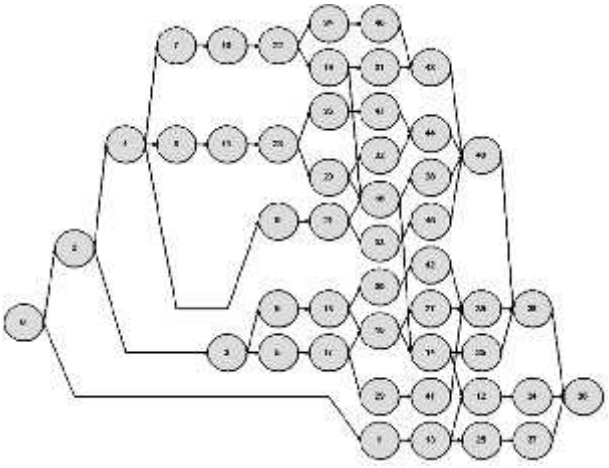

Рис. 5. Параллельными назначены все работы

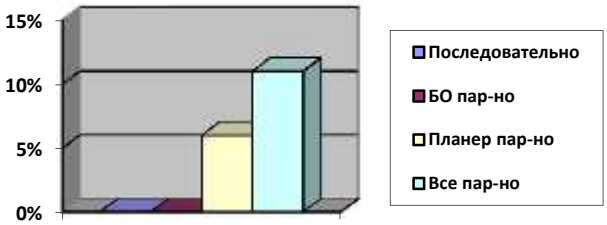

Рис. 6. Сравнение вариантов проекта

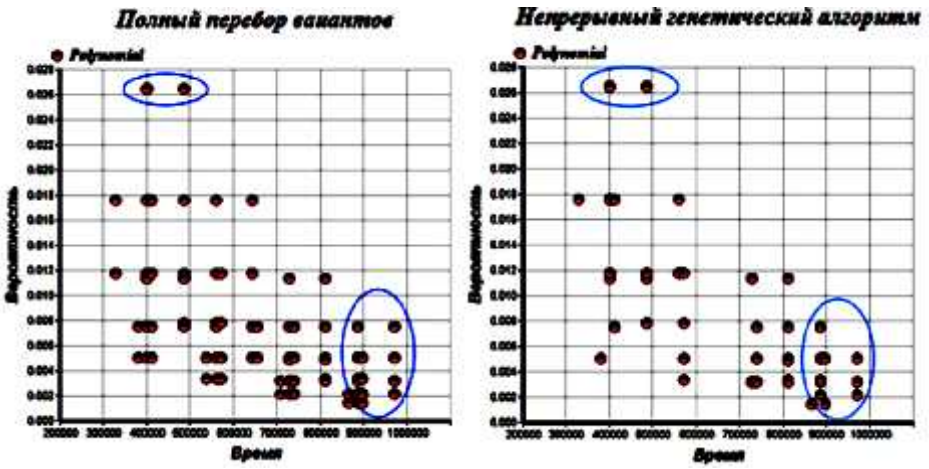

Рис. 7. Моделирование проекта создания БАК при нехватке контроля

Исследование влияния множества факторов риска на технико-экономические показатели

С помощью разработанной компьютерной системы было проведено моделирование проекта разработки и создания БАК. 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. Анализ ТЭП для первого случая дал следующие пиковые показатели длительности (рис. 8): 327360 минут – минимальная длительность, 97120 минут - максимальная длительность, что в переводы в дни (учитывая восьмичасовой рабочий день) буден равно 682 и 2024 дням соответственно. Среднее значение длительности проекта равно 1331 дню. Данные результаты были получены с использованием метода усечения количества вариантов с помощью непрерывного генетического алгоритма. Проверка на полном переборе показала, что пиковые показатели найдены верно, а средняя длительность для полного перебора составляет 1379 дней. Потеря точности составила 3,5% при выигрыше в скорости моделирования 49%.

Полный перебор также позволил произвести анализ вероятности выполнения проекта в заданные диапазоны длительности. Разница пиковых показателей длительности проекта была разделена на десять одинаковых диапазонов (табл. 1). Из результатов анализа можно сделать вывод, что с вероятностью 0,574 проект будет выполнен за 816 – 1218 дней.

Таблица 1

Анализ вероятности выполнения проекта

Диапазон, дни	Вероятность
682-816,2	0,042
816,2-950,4	0,252
950,4-1084,6	0,1456
1084,6-1218,8	0,1764
1218,8-1353	0,084
1353-1487,2	0,018
1487,2-1621,4	0,108
1621,4-1755,6	0,0624
1755,6-1889,8	0,0756

Анализ ТЭП для второго случая дал следующие пиковые показатели длительности (рис. 8): 682 дня – минимальная длительность, 1584 дня - максимальная длительность. Среднее значение длительности проекта равно 1153 дня. Данные результаты были получены с использованием метода усечения количества вариантов с помощью непрерывного генетического алгоритма.

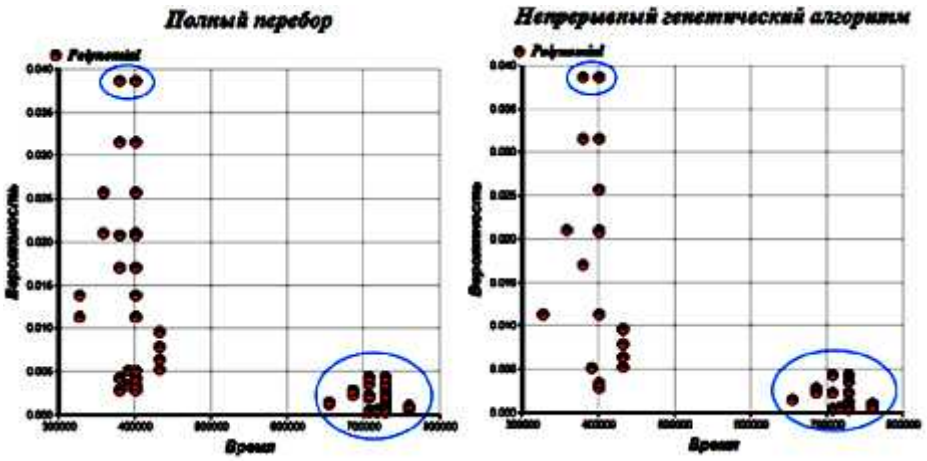

Рис. 8. Моделирование проекта создания БАК при повышенном контроле

Проверка на полном переборе показала, что пиковые показатели найдены верно, а средняя длительность для полного перебора составляет 1168 дней. Потеря точности составила 1,5% при выигрыше в скорости моделирования 49%.

Ниже приведены показатели вероятности реализации проекта с повышенным контролем в указанные диапазоны длительности проекта (табл. 2).

Анализ влияния факторов риска при повышенном контроле на этапе подготовки показал, что с вероятностью более 0,7 проект будет выполнен за 772 – 862 дня.

Заключение

Была разработана архитектура компьютерной системы моделирования показателей ТЭП, которая является программной реализаций моделей и методов формирования единого плана сложного проекта

Таблица 2

Анализ вероятности выполнения проекта при повышенном контроле

Диапазон, дни	**Вероятность**
682-772,2	0,07452
772,2-862,4	0,7017975
862,4-952,6	0,0453375
952,6- 1313,4	0
1313,4-1403,6	0,00154
1403,6-1493,8	0,0168775
1493,8-1584	0,0220375

и методов усечения количества анализируемых вариантов. Компьютерная система разработана с использованием принципов расширяемости, ООП, интеграции и максимальным использованием существующих пакетов планирования.

В работе приведены результаты использования системы для анализа ТЭП при последовательном и сквозном-параллельном циклах организации работ. Проведено моделирование влияния последствий проявления факторов риска на ТЭП, получены пиковые и средние показатели ТЭП. Также по результатам рассчитана вероятность попадания значений ТЭП в указанные интервалы.

Приведены примеры использования системы для прогнозирования ТЭП проекта создания БАК. Была оценена эффективность прогнозирования ТЭП сложных проектов с использованием разработанных моделей и методов. Сделан вывод, что этап перестроения плана сложного проекта выполняется в 10-60 раз быстрее, чем в ручном способе перестроения, в зависимости от конфигурации ЭВМ, на котором проводится имитационное моделирование. На прототип разработанной системы получено авторское свидетельство. Тестирование системы показало адекватность результатов работы программного обеспечения.

Список литературы

1. Бушуєв С.Д. Проактивне управління програмами організаційного розвитку: навч. посіб [Текст] / С.Д. Бушуєв, Н.С. Бушуєва, Ю.Ф. Ярошенко. – К.: нац. ун-т буд-ва і архіт, 2008. — 68 с.

2. Ю.Н. Тесля, В.В. Концевич, Применение теории несилового взаимодействия в проактивном управлении качеством проекта / Управління розвитком складних систем, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, - 2013 - №13. – С. 58-61.

3. Bushuyev S, Sochnev S. Implementation of Risk Analysis Technique through Synergistic Interaction of the

Models // Proceedings of international conference Management by project - Implemented, Vienna, 1993, pp. 61-69.

4. Дружинин Е.А. Расширение функциональных возможностей существующих пакетов планирования / Е.А. Дружинин, С.А. Коба // Управління проектами: стан та перспективи: матеріали 7-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 20-23 вересня 2011 р. – Миколаїв, 2011. – С. 109-111.

5. Прончаков, Ю. Л. Моделі системи управління проектами і методи контролю проектів з урахуванням резервів часу та вартості [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Ю. Л. Прончаков. – Харків, 2011. 20 с.

6. Ємельянова, О. В. Моделі та методи планування інноваційних проектів і програм з урахуванням альтернативних варіантів виконання робіт [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / О. В. Ємельянова. – Харків, 2009. 20 с.

7. Протасов, І. В. Моделі і методи управління змістом інвестиційних проектів з виробництва продукції [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22 / І. В. Протасов. – Харків, 2012. 20 с.

8. Коба С.А. Метод формирования плана проекта с изменяющейся структурой при создании сложной техники / С.А. Коба // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 1/3, №61. – С. 39-42.

9. Дружинин Е.А. Математическое обеспечение информационной технологии интеграции процессов при планировании проектов с учетом влияния факторов риска / Е.А. Дружинин, С.А. Коба, С.Г. Кийко, Б.В. Гайдабрус // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – №5. – С. 112-114.

Поступила в редакцию 10.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Малеева, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

СИСТЕМА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СКЛАДНИХ ПРОЕКТІВ

С.О. Коба, Є.А. Дружинін

Запропоновано систему імітаційного моделювання техніко-економічних показників складних проектів, що заснована на методах і моделях формування календарного плану проекту з урахуванням впливу факторів ризику і циклу організації робіт. Основною відмінністю від існуючих систем, є можливість перестроювання структури проекту в процесі моделювання, для забезпечення достатнього рівня відповідності модельованих процесів реальним. Система дозволяє розрахувати пікові та середні значення показників, а також вірогідність попадання значень показників у вказаний діапазон. Застосування пропонованої системи дає можливість підвищити ефективність роботи менеджерів складних проектів, а також підвищити достовірність прийнятих рішень на етапі планування. Розглянуто процес прогнозування техніко-економічних показників на прикладі проекту створення безпілотного авіаційного комплексу.

Ключові слова: *складний проект, формування календарного плану, імітаційної моделювання, безпілотний авіаційний комплекс.*

COMPUTER SYSTEM FOR COMPLEX PROJECT TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS SIMULATION

S.A. Koba, E.A. Druzhinin

The system for complex projects technical and economic parameters simulation based on the methods and models of project schedule generation taking into account the influence of risk factors and the cycle of work organization was proposed. The main difference with existing systems is the ability to rebuild the project structure during the modeling process, to ensure the high level of adequacy with real processes. The system allows to calculate concentration peak and average values of parameters, as well as the probability of parameters values to be in the specified range. Application of the proposed system makes it possible to increase the efficiency of complex projects management, as well as improve the accuracy of the decisions made at the planning stage. The process of forecasting technical and economic parameters of unmanned aircraft system development project was researched.

Keywords: *complex project, schedule generation, simulation, unmanned aircraft system.*