

СИНТЕЗ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РИСКА И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Рассматривается задача моделирования управления проектами разработки сложных технических систем в условиях неопределенности и риска. Формулируется постановка задачи моделирования. В результате проведенных исследований предлагается математическая модель планирования проектов разработки сложных технических систем в условиях неопределенности и риска. В качестве метода исследования был выбран метод Монте-Карло, который не используется в существующих программных средствах моделирования управления проектами. Разрабатывается программное средство планирования проектов в условиях неопределенности и риска. Описываются результаты, которые подтверждают правильность выбора метода исследования и эффективность предложенной математической модели.

Введение

В настоящее время большое количество организаций связывает свою работу с выполнением проектов или организует производство по принципу «управления от проектов» [1]. Учитывая высокую степень неопределенности и риска при планировании и управлении проектами сложных технических систем, актуальной является задача разработки модели и алгоритма управления проектами в таких условиях. Для решения данного вида задач используются методы вероятностного сетевого планирования. На данный момент к наиболее распространенным методам вероятностного сетевого планирования относятся метод оценки и анализа программ (PERT), метод статистических испытаний, или метод Монте-Карло, метод графической оценки и анализа программ (GERT). Наиболее распространен метод оценки и анализа программ [2].

Целью данной работы является получение новых практических результатов с использованием программного средства планирования проектов в условиях риска и неопределенности при использовании метода Монте-Карло.

1. Постановка задачи

Пусть исходными данными задачи планирования проектов в условиях неопределенности являются:

- 1) некоторый перечень (номенклатура) работ проекта;
- 2) последовательность выполнения работ, характеризуемая установленными связями между работами и заданная на графе;
- 3) функции плотности распределения вероятности продолжительности каждой работы.

Пусть результатами решения задачи планирования проектов в условиях неопределенности являются:

- 1) функция плотности распределения вероятности общей продолжительности проекта;
- 2) функции плотности распределения вероятности ранних и поздних сроков начала и окончания отдельных работ [3].

Тогда предлагается следующая формулировка постановки задачи исследования: необходимо построить математическую модель планирования проектов на основе предложенных исходных данных и результатов решения задачи планирования; разработать алгоритм реализации предложенной модели; разработать программное средство реализации предложенного алгоритма.

2. Обзор существующих методов решения задачи

Сетевые модели, состоящие из работ, взаимная последовательность и продолжительность которых заданы однозначно, называются детерминированными сетевыми моделями. Для их расчета применяется, как правило, метод Гантта, направленный на расчет критического пути, определяющего длительность всего проекта.

Так как предложенная постановка задачи моделирования управления и планирования проектов в условиях неопределенности предполагает неопределенность длительностей работ, то для разработки математической модели планирования и управления проектами в условиях неопределенности предлагается использовать вероятностные (или стохастические) сетевые методы. В настоящее время известно множество методов вероятностного сетевого планирования. Наиболее распространенными из них являются [1]:

- 1) метод оценки и анализа программ (Program Evaluation and Review Technique, PERT);
- 2) метод статистических испытаний, или метод Монте-Карло;
- 3) метод графической оценки и анализа программ (Graphic Evaluation and Review Technique, GERT).

Особенность метода PERT заключается в возможности учета вероятностного характера продолжительностей всех или некоторых работ при расчете параметров времени на сетевой модели. Он позволяет определять вероятности окончания проекта в заданные периоды времени и к заданным срокам.

Вместо одной детерминированной величины продолжительности для работ проекта задаются (как правило, экспертным путем) три оценки длительности: оптимистическая (работа не может быть выполнена быстрее определенного заданного времени); пессимистическая (работа не может быть выполнена медленнее, чем за определенное заданное время) и наиболее вероятная. Затем вероятностная сетевая модель превращается в детерминированную путем замены трех оценок продолжительностей каждой из работ одной величиной, называемой ожидаемой продолжительностью и рассчитываемой как средневзвешенное арифметическое трех экспертных оценок длительностей данной работы. Основным недостатком этого метода – недостаточная точность [3].

Наиболее известным из числа альтернативных вероятностных методов сетевого планирования является разработанный в США в 1966 году метод графической оценки и анализа (метод GERT) [1]. Он применяется в тех случаях организации работ, когда последующие задачи могут начинаться после завершения только некоторого числа из предшествующих задач, причем не все задачи, представленные на сетевой модели, должны быть выполнены для завершения проекта. Основу применения метода GERT составляет использование альтернативных сетей, называемых в терминах данного метода GERT-сетями. По существу GERT-сети позволяют более адекватно задавать сложные процессы в тех случаях, когда затруднительно или невозможно (по объективным причинам) однозначно определить, какие именно работы и в какой последовательности должны быть выполнены для достижения намеченного результата (т.е. существует многовариантность реализации проекта). Основным недостатком данного метода – чрезвычайная сложность расчетов и составления моделей [4].

Метод статистических испытаний (иначе называемый методом Монте-Карло) заключается в рассмотрении сети в качестве вероятностной модели, на которой оценки продолжительностей отдельных работ могут принимать любые значения, лежащие в крайних (минимум и максимум) указанных экспертами пределах, и даже выходить за эти пределы в той степени, в которой это допускают законы теории вероятностей. Сущность метода статистических испытаний состоит в получении на ЭВМ очень большого количества (порядка десятков тысяч) отдельных реализаций рассматриваемой сетевой модели, отличающихся друг от друга тем, что продолжительности работ во всех вариантах модели случайно выбираются по законам, характеризующим распределение каждой из отдельных оценок продолжительностей [5]. Данный метод является наиболее точным методом реализации вероятностных сетевых моделей и наиболее простым с точки зрения реализации на ЭВМ. Принимая во внимание перечисленные выше достоинства метода статистических испытаний, в данном исследовании предлагается разработать модель планирования и управления проектами в условиях риска и неопределенности с использованием метода Монте-Карло [4].

3. Математическая модель

Опишем математическую модель планирования проектов в условиях риска и неопределенности с помощью метода Монте-Карло.

Пусть задана последовательность выполнения работ, характеризуемая установленными связями между работами и заданная на графе. Имитационный эксперимент представляет из себя следующую последовательность действий:

1) экспертными методами задаются функции распределения длительностей всех работ:

$$f_{12}(t), f_{13}(t), \dots, f_{ij}(t), i = \overline{1, K}, j = \overline{1, K}, i \neq j, \quad (1)$$

где K – количество всех работ; $f_{ij}(t)$ – функция распределения вероятностей длительностей ij -й работы;

2) генерируется случайное множество длительностей всех работ $\{t(i, j)\}_1$, с учетом заданных законов распределения;

3) полученная сеть рассчитывается как детерминированная методом Гантта;

4) описанные выше шаги повторяются некоторое количество раз. Поскольку точность метода Монте-Карло пропорциональна $\sqrt{N}$, где N – число испытаний, процесс целесообразно повторять $N \approx 10^4 \div 10^6$ раз;

5) получается ряд $(T_{kpn})_{n=1..N} = (T_{kp1}, T_{kp2}, \dots, T_{kpN})$,

где T_{kpn} – длительность критического пути, полученная на N -й итерации расчета модели;

6) средняя продолжительность критического пути определяется по формуле

$$\bar{T}_{kp} \approx M[T_{kp}] = \frac{\sum_{n=1}^N T_{kpn}}{N}, \quad (2)$$

здесь $\bar{T}_{kp}$ – средняя продолжительность критического пути;

7) дисперсия длительности критического пути L_{kp} определяется по формуле

$$\sigma^2[T_{kp}] = \sigma_{kp}^2 = (t(i, j)), \quad (3)$$

где $\sigma^2[T_{kp}]$ – дисперсия длительности критического пути; $t(i, j)$ – длительность работы, начинающейся в событии i и заканчивающейся в событии j ;

8) поскольку длительности $t(i, j)$ – независимые случайные величины, $\bar{T}_{kp}$ может трактоваться как случайная величина, распределенная по нормальному закону $N(\bar{T}_{kp}, \sigma_{kp})$ с математическим ожиданием $\bar{T}_{kp}$ и дисперсией σ_{kp}^2 , для которого функция плотности вероятности имеет вид

$$F(T_{kp}) = \frac{1}{\sigma_{kp}^2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T_{kp} - \bar{T}_{kp})^2}{2\sigma_{kp}^2}}, \quad (4)$$

где $F(T_{kp})$ – функция плотности вероятности распределения длительностей критического пути.

4. Разработка алгоритма реализации модели

Алгоритм реализации предложенной модели планирования проектов в условиях риска и неопределенности выглядит следующим образом:

1) начало;

2) ввод исходных данных: количества экспериментов, графа последовательности выполнения работ и функции плотности распределения вероятности ранних и поздних сроков начала и окончания отдельных работ;

3) генерирование случайным образом совокупности длительностей работ;

4) определение длительности критического пути методом Гантта и, как следствие, определение длительности всего проекта;

5) сохранение рассчитанных величин;

6) увеличение количества итераций на единицу;

7) если количество итераций меньше введенного количества экспериментов – перейти к шагу 2, если равно – перейти к шагу 7;

- 8) расчет функции плотности распределения вероятности общей продолжительности проекта (критического пути) с использованием предложенной математической модели;
- 9) расчет функции плотности распределения вероятности ранних и поздних сроков начала и окончания отдельных работ;
- 10) вывод результатов;
- 11) конец.

Для реализации данного алгоритма было разработано специальное программное средство моделирования управления проектами в условиях неопределенности с использованием языка программирования высокого уровня C#.

5. Экспериментальные исследования

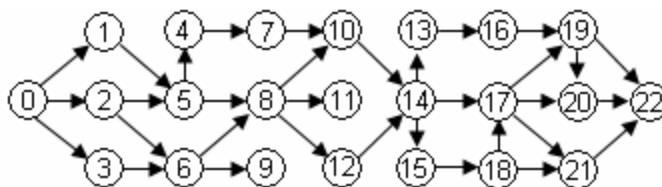
В качестве объекта исследования был выбран комплекс работ создания проекта технических средств информационно-образовательной среды, представленный на рис. 1.

Эксперимент 1.

Цель эксперимента – сравнение результатов расчета вероятностной сети методом Монте-Карло и методом PERT.

Исходные данные к эксперименту:

– топология сети представлена на рисунке;



– длительности работ – равномерно распределенные случайные величины в промежутке [0;2] дней.

По результатам расчета методом PERT наиболее вероятная длительность критического пути равна 5,1 дня.

Результаты проведения 1-го эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Количество испытаний	10	100	1000	10000	100000	1000000
Средняя длительность критического пути	4,6	3,8	4,1	3,97	4,022	4,0012

По результатам проведения данного эксперимента видно, что при очень большом количестве экспериментов (и, соответственно, очень высокой точности) и при равномерном распределении длительностей работ, результаты, полученные методом PERT, существенно отличаются от результатов, полученных методом Монте-Карло, что доказывает более высокую точность метода статистических испытаний и пригодность его к расчету сетей с равномерным законом распределения длительностей работ.

Эксперимент 2.

Цель эксперимента – определение зависимости машинного времени, необходимого на расчет вероятностной сети, от количества проводимых экспериментов.

Исходные данные к эксперименту:

– топология сети представлена на рисунке;

– длительности работ – равномерно распределенные случайные величины в промежутке [0;2] дней.

Результаты проведения 2-го эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2

Количество испытаний	10	100	1000	10000	100000	1000000
Машинное время расчета средней длительности критического пути	0,02	0,31	0,97	9,33	22,1	91,5

Результаты данного эксперимента показывают, что характер зависимости машинного времени, необходимого на расчет вероятностной сети, от количества проводимых экспериментов близок к линейному и что для достижения высокой точности результатов требуются достаточно высокие затраты машинного времени.

Выводы

Предложена математическая модель планирования проектов в условиях риска и неопределенности. С помощью имитационного моделирования был проведен ряд экспериментов, результаты которых (высокая точность полученных результатов) подтверждают правильность выбора метода статистических исследований в качестве метода исследования.

Научная новизна исследования состоит в том, что расчет временных характеристик вероятностной сети проводился с помощью метода Монте-Карло. При большом количестве статистических испытаний данный метод требует большого объема вычислительных ресурсов и времени, но методы, требующие меньшего объема времени и вычислительных ресурсов, дают лишь приближенные решения, использование которых при данной постановке задачи нецелесообразно.

Практическая значимость состоит в том, что экспериментальным путем выяснено, что метод Монте-Карло лучше остальных подходит для расчета сетей с равномерным законом распределения длительностей работ. Характер зависимости машинного времени, необходимого на расчет вероятностной сети, от количества проводимых экспериментов, близок к линейному.

Полученная имитационная модель планирования проектов была реализована на ЭВМ. Многократное использование разработанного программного средства показало, что оно позволяет проводить процесс моделирования планирования проектов с высокой степенью неопределенности и риска. Исходя из этого, можно сделать вывод об эффективности реализации полученной математической модели на ЭВМ.

Список литературы: 1. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: Учеб. пособие / Под общ. ред. И. И. Мазура. М.: Омега-Л, 2004. 664 с. 2. Федосеев В.В., Гармаш А.Н., Дайитбегов Д.М. Экономико-математические методы и прикладные модели: Учеб. пособие для вузов. М.: ЮНИТИ, 2002. 391 с. 3. Новицкий Н.И. Сетевое планирование и управление производством: Учеб.-практ. пособие. М.: Новое знание, 2004. 159 с. 4. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети. Логико-вероятностный подход. СПб.: Наука, 2006. 607 с. 5. Грачева М. В. Анализ проектных рисков: Учеб. пособие для вузов. М.: ЗАО "Финстатинформ", 1999.

Поступила в редколлегию 02.09.2009

Евсеев Виктор Владимирович, канд. техн. наук, профессор кафедры системотехники ХНУ-РЭ. Научные интересы: автоматизация проектирования сложных систем. Адрес: Украина, 61000, Харьков, пер. Хорошевский, 13, кв. 1, тел.: 372-56-16.

Шовкопляс Юрий Витальевич, аспирант кафедры системотехники ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Конева, 13, кв. 70, тел. 712-47-78.