

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Царькова Е.В.*

Ключевые слова: управление проектами, информационная неопределенность, методы, математические модели, планирование сложных комплексных проектов, анализ сетевой модели; детерминированные модели, неопределенность времени выполнения работ, критический путь, случайные временные оценки операций, вероятный срок завершения.

Аннотация.

Цель работы: совершенствование научно-методической базы теории принятия обоснованных экономико-правовых решений в условиях цифровой экономики.

Методы: математическое моделирование выполнения проектов и системный анализ современных проектных сетевых моделей и решений.

Результаты: исследованы тенденции развития методов математического моделирования; проведен содержательный анализ современных проектных моделей, включая вероятностную сетевую модель; установлен метод определения наиболее вероятного срока выполнения проекта; обоснован подход к решению задач календарного планирования при информационной неопределенности сроков выполнения отдельных работ; рассмотрено применение метода усреднения при вычислении вероятностных характеристик сети.

DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-29-39

В условиях «цифровой» экономики анализ реального явления, процесса или системы с помощью математических методов и информационно-программных средств начинается с построения соответствующей *математической модели* и сводится к переводу имеющейся априорной количественной информации и словесного описания предмета анализа на язык математических символов и соотношений. Практическая ценность результатов последующего математического и информационно-статистического анализа в значительной степени зависит от того, насколько *адекватна* действительности разработанная математическая модель [5]. В связи с этим возникает *проблема* выбора математического аппарата для анализа предмета исследования в зависимости от качества и полноты априорной *информации* (данных, знаний).

Математическое моделирование можно условно разделить на следующие основные виды: детерминированное, вероятностно-статистическое, а также моделирование, основанное на концепциях теории нечетких множеств.

Детерминированное моделирование используется при наличии точных данных об объекте исследования и явной функциональной зависимости его параметров. *Вероятностно-статистическое* моделирование при-

меняется в случаях, когда о параметрах объекта исследования имеется информация, несущая статистический характер, что отображает повторяемость или массовость проявления параметров.

Моделирование, *основанное на концепциях* теории нечетких множеств, имеет приложение в случае, когда объект весьма сложный и информация о его параметрах неполная, носит нестатистический характер и выражается экспертами в виде словесного описания [1, 2]. Достоинством систем нечеткого вывода является простота понимания и анализа системы благодаря лингвистической интерпретации в виде нечетких продуктивных правил, недостатком – априорное определение компонентов таких моделей (нечетких высказываний, функций принадлежности для лингвистических переменных, структуры базы нечетких правил и др.). Другой подход – нейронные сети, имеющие сложную структуру, но зато имеющие возможность выявления закономерностей в данных, т.е. извлечения новых знаний.

Развитие методов и информационно-программных средств *сетевых* планирования и управления, таких как диаграмма Ганта (*Ganttchart*), *CPM* (*Critical Path Method* – метод определения критического пути), *PERT* (*Program Evaluation and Review Technique* – техника оценки и анализа проектов) и широкое внедрение ЭВМ способствовало развитию методологии *управления проектами* (*Project Management*) [10, 12]. В настоящее время управление

* **Царькова Елена Валентиновна**, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационного права, информатики и математики Российского государственного университета правосудия, Российская Федерация, г. Москва.

E-mail: e.v.tsarkova@mail.ru



Рис. 1. Классификация неопределенностей

проектами с использованием сетевых моделей применяется во многих сферах деятельности¹ [6 – 8, 11].

В области правовой информатики [2, 8], экономики [1], технологии [6], проектирования научно-исследовательских работ, планирования производства, создания новых систем [9], конструирования и освоения производства новой продукции, проектирования и возведения инженерных и архитектурных комплексов, железных дорог, линий электропередач, трубопроводов, перевооружения армии [8], развертывания системы медицинских или профилактических мероприятий и др. в большинстве случаев управления соответствующими проектами приходится сталкиваться с ситуацией *неполноты информации*, обусловленной неопределенностью разной степени и характера² [13] (рис. 1) или нечеткостью исходных данных [4, 14]. Управление комплексом операций осложняется новизной разработки, трудностью точного определения сроков и предстоящих затрат.

Основными причинами возникновения неопределенности являются недостаточность и нечеткость входных данных, а именно:

- сложность объекта и недостаточная изученность протекающих в нем процессов;
- стохастическая природа основных параметров системы;

- недостаточная достоверность исходной статистической информации;
- недостатки методов переработки информации;
- «зашумленность» информации, наличие большого числа возмущающих воздействий и помех;
- нечеткость, преобладание качественного характера собранной информации о состоянии объекта;
- наличие нечетких критериев оптимизации и нечетких ограничений;
- субъективность действий лица, принимающего решение [4, 5], и отсутствие четкого алгоритма действий прочих лиц, участвующих в процессе управления.

Характерной особенностью планирования сложных комплексных проектов является то, что структура их учитывает множество факторов (рис. 2), а выполнение состоит из ряда отдельных, элементарных работ.



Рис. 2. Варианты модельного представления проектов

Для того чтобы проект был завершен вовремя, необходимо контролировать сроки выполнения этих работ. Усложняющим фактором является то, что работы взаимосвязаны (задано отношение предшествования на множестве работ [5]), имеют различные приоритеты по срокам выполнения (рис. 3).

¹ См., например: Ловцов Д. А. Ситуационное планирование процесса переработки измерительной информации в сети АСУ // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 1995. – № 5. – С. 239 – 247; Ловцов Д. А., Панюков И. И. Информационная технология автоматизированного планирования определения навигационных параметров объектов ракетной техники // Автоматика и Телемеханика. – 1995. – № 12. – С. – 32 – 46; Князев В. В., Ловцов Д. А. Ситуационное планирование защищённой переработки информации в АСУ испытаниями сложных динамических объектов // Автоматика и Телемеханика. – 1998. – № 9. – С. 166 – 181.

² См.: Ловцов Д. А. Введение в информационную теорию АСУ: Монография. – М.: ВА им. Петра Великого, 1996. – 434 с.; Lovtsov D. A. Situation planning of the measurement data processing in a control system network // Проблемы управления и информатики. НАН Украины. – 1995. – № 5. – С. 239 – 247.

Последовательность действий при разработке стратегического плана проекта

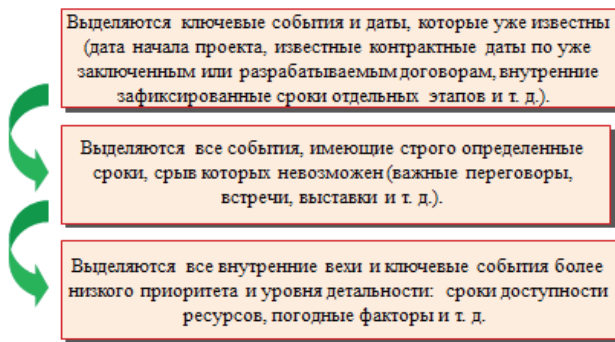


Рис. 3. Методологические этапы логической последовательности стратегического планирования

Работы и события обуславливают друг друга так, что одни работы зависят от выполнения других и не могут начаться, пока предшествующие работы не будут завершены. Например, укладка фундамента не может быть начата раньше, чем будут доставлены необходимые материалы; эти материалы не могут быть доставлены раньше, чем будут построены подъездные пути; любой этап строительства не может быть начат без составления соответствующей технической документации и др.

В планировании и управлении сложными комплексами работ высокоэффективными оказались сетевые методы, в частности, метод критического пути – *CPM*, метод оценки и пересмотра проектов – *PERT* и др. [9, 10, 12].

По типу используемого математического аппарата различают модели математического программирования (линейного, нелинейного, динамического, квадратичного, целочисленного), модели, основанные на теории графов (например, сетевые) и те, которые базируются на теории вероятностей и математической статистике (корреляционные, регрессионные, дисперсионные и др.). Сетевые модели могут быть широко использованы при разработке как долгосрочных, так и текущих планов. Сетевое планирование позволяет не только определять потребность различных производственных ресурсов в будущем, но и координировать их рациональный расход в настоящем, соединить в единую систему все материальные, трудовые, финансовые и другие ресурсы и средства производства и в идеальных (планируемых), и в реальных (существующих) экономических условиях.

Метод *CPM* как метод сетевого анализа проектов часто применяется для контроля сроков выполнения проекта. Важной предпосылкой применения метода *CPM* является предположение о том, что время выполнения каждой работы точно известно. В результате использования метода *CPM* удастся получить ответы на следующие вопросы:

1. За какое минимальное время можно выполнить проект?

2. В какое время должны начаться и закончиться отдельные работы?

3. Какие работы являются «критическими» и должны быть выполнены точно в установленное время, чтобы не был сорван срок выполнения проекта?

4. На какое время можно отложить срок выполнения «некритической» работы, чтобы она не повлияла на срок выполнения проекта в целом?

Другой метод – метод статистических испытаний основан на том, что с помощью ЭВМ многократно генерируются возможные значения случайных продолжительностей всех работ с частотами, соответствующими их законам распределения. Для каждой реализации значений времени выполнения работы осуществляется расчет параметров соответствующей модели, а после значительного числа таких реализаций определяются средние значения и дисперсии искомых параметров. Этот метод более трудоемкий, но обладает большей точностью и гибкостью (можно учесть неопределенность некоторых других параметров модели – сроков поставок, открытия фронта работ и др.).

Задачи расчета временных параметров на вероятностной модели с альтернативной сетью представляют значительный интерес. К этим задачам относится, в частности, установление вероятностей возможных сроков наступления завершающих событий при той или иной реализации выбора из всех альтернатив, определение вероятности свершения для любого из событий сети и др.



Рис. 4. Общая структура сетевой модели

Исходными данными служит альтернативная сеть с указанием вероятности реализации каждой из работ. Кроме того, продолжительности работ могут быть заданы как детерминированные или случайные величины. Исходным шагом для применения метода *CPM* является описание проекта в виде перечня выполняемых работ с указанием их взаимосвязи. Временными параметрами сетевой модели являются: параметры событий, параметры работ, параметры пути. Для описания проекта используются два основных способа: табличный и графический.

Сетевой график (сетевая модель, сеть, диаграмма) графически изображается в виде технологической последовательности выполнения работ и их взаимозависимостей. Особенность сетевой модели в том, что последовательность (очередность) работ, событий (рис. 4) отражается при помощи ориентированного графа, представляющего собой совокупность вершин и дуг.

Событие – результат выполнения (факт окончания) одной или нескольких работ, необходимый и достаточный для начала последующих работ, изображается кружком и нумеруется. **Работа** – процесс, требующий для его выполнения затрат времени и ресурсов. Изображается сплошной или пунктирной стрелкой с указанием над ней продолжительности работ и под стрелкой её наименования. Событие, характеризующее состояние (отражающее тот факт, что какая-либо работа выполнена), не требует затрат времени. Для точного обозначения предшествования одной работы другим работам в необходимых случаях вводятся дополнительные линии в виде пунктирных стрелочек, выполняющие функции связей (или фиктивных работ). Совокупность вершин (событий) образует сеть.

Правила разработки сетевого графика:

1. Событие не может состояться, если не завершены все ведущие к нему работы.
2. Работа не может начаться, если не состоялось событие, лежащее в ее начале.
3. Никакие две работы не могут иметь одних и тех же начальных и конечных событий.
4. Стрелки в сетевом графике обозначают отношения предшествования и следования. На рисунке стрелки могут пересекаться.
5. Каждая операция должна иметь свой собственный номер.
6. Номер последующей операции должен быть больше номера любой предшествующей операции.
7. Образование петель недопустимо.
8. Условные переходы от одной операции к другой не допускаются.
9. Один узел должен определять начало всего комплекса работ и один узел – завершение.

Рассмотрим пример проекта, заданный таблично (табл. 1).

Таблица 1

Порядок и виды работ, затраты времени

Работа	Непосредственно предшествующие работы	Время выполнения
A	–	5
B	–	10
C	–	9
D	C	7
E	A	12
F	E	4
G	D, F	8
H	D	8

Работа – процесс, требующий для его выполнения затрат времени и ресурсов. Изображается сплошной стрелкой с указанием над ней продолжительности работ и под стрелкой её наименования (рис. 5). Событие, характеризующее состояние (отражающее тот факт, что какая-либо работа выполнена), не требует затрат времени.

Ожидание – технологический или организационный перерыв между работами, необходимый при выбранной схеме производства работ; процесс, требующий только затрат времени. Изображается аналогично работе.

Зависимость (фиктивная работа) – элемент, который вводится для отражения взаимосвязи между работами, не требует затрат времени и ресурсов. Изображается пунктирной стрелкой.

При наличии данных о продолжительности выполнения каждой работы в сетевом графике представляется возможным проследить все цепочки последовательно выполняемых работ от исходного события до завершающего и определить общую продолжительность каждой цепочки. Путь L наибольшей продолжительности между начальным и конечным событиями графика называют **критическим**. Им определяется продолжительность выполнения всей программы работ. Очевидно, что минимальное время, необходимое для выполнения любого проекта, т.е. ранний срок свершения завершающего события $T_{кр} = t_n = t_n^*$, равно длине критического пути. Длина критического пути равна раннему сроку свершения завершающего события, т.е. $T_{кр} = t_n = t_n^*$.

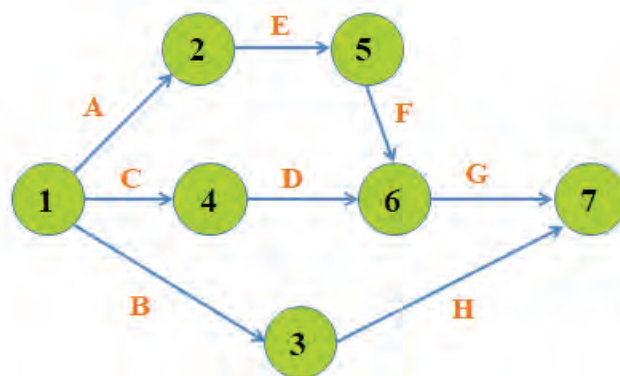


Рис. 5. Граф-модель проекта

Именно работы, лежащие на критическом пути, требуют особого внимания. Если такая работа будет отложена на некоторое время, то время окончания проекта будет отложено на то же время. Любая из работ некоторого пути на его участке, не совпадающем с критическим путем (замкнутым между двумя событиями критического пути), обладает резервом времени.

Если необходимо сократить время выполнения проекта, то в первую очередь нужно сократить время выполнения хотя бы одной работы на критическом пути. Расчет сетевой модели начинают с временных параметров событий (рис. 6):

Основные показатели:

$t_{(i,j)}$ – продолжительность любой работы i,j ;

$t_{p(i)}$ – ранний срок совершения события;

$T_{кр}$ – критическое время;

$t_{n(i)}$ – поздний срок совершения события;

$R_{(i)}$ – резерв времени события i

$$R_{(i)} = t_{n(i)} - t_{p(i)};$$

$R_{n(i,j)}$ – полный резерв времени работы i,j

$$R_{n(i,j)} = t_{n(j)} - t_{p(i)} - t_{(i,j)};$$

$R_{c(i,j)}$ – свободный резерв времени работы i,j

$$R_{c(i,j)} = t_{p(j)} - t_{p(i)} - t_{(i,j)}.$$

Рис. 6. Временные параметры событий

$t_p(i)$ – ранний срок наступления события i , минимально необходимый для выполнения всех работ, которые предшествуют событию i ;

$t_n(i)$ – поздний срок наступления события i , превышение которого вызовет аналогичную задержку наступления завершающего события сети; т.е. позднее начало работы – это самый поздний срок, при котором может быть начата работа без нарушения продолжительности критического пути, т.е. общего срока выполнения программы.

$R(i) = t_n(i) - t_p(i)$ – резерв события i , т.е. время, на которое может быть отсрочено наступление события i без нарушения сроков завершения проекта.

Характеристики работы:

Продолжительность работы $t(i, j)$ задается по условию задачи или, исходя из нормативов времени, установленных для данного вида работ.

Ранний срок начала работ: $t_{рн}(i, j) = t_p(i)$.

Ранний срок окончания работы:

$$t_{ро}(i, j) = t_p(i) + t(i, j).$$

Поздний срок начала работы:

$$t_{пн}(i, j) = t_n(j) - t(i, j).$$

Поздний срок окончания работы:

$$t_{по}(i, j) = t_n(j).$$

Позднее начало определяется разностью критического пути и суммы продолжительности данной работы и самого длинного пути от конечного события до события, стоящего у конца данной работы.

Полный резерв времени $R_{пн}(i, j)$ работы (i, j) показывает, на сколько можно увеличить время выполнения данной работы при условии, что срок выполнения комплекса работ не изменится. Полный резерв определяется по формуле $R_{пн}(i, j) = t_n(j) - t_p(i) - t(i, j)$.

Свободный резерв времени работы $R_c(i, j)$ представляет часть полного резерва времени, на которую можно увеличить продолжительность работы, не изменив при этом раннего срока ее конечного события. находится по формуле $R_c(i, j) = t_p(j) - t_p(i) - t(i, j)$.

Для удобства расчета сетевой модели используется четырехсекторный метод: кружок, изображающий событие, делится на четыре сектора, в которых указывают: номер события, ранний срок наступления события, поздний срок наступления события, резерв времени (рис. 7).

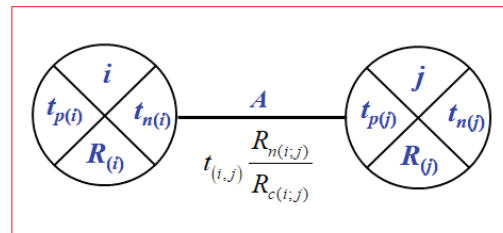


Рис. 7. Схема четырехсекторного способа

Алгоритм расчета 4^х-секторным способом состоит в следующем:

I. Подготовка сетевого графика к расчету:

Разбить кружки на 4 сектора.

Пронумеровать события.

Проверить наличие продолжительности работ под каждой стрелкой.

Под пунктирными стрелками написать нули.

II. Определение ранних сроков совершения событий:

Ранние сроки наступления событий $t_p(i)$ рассчитываются от исходного S (Start) к завершающему F (Finish) событию следующим образом:

Для исходного события S : $t_p(S) = 0$.

Для всех остальных событий i :

$$t_p(i) = \max_{(k,i)} [t_p(k) + t(k, i)]$$

где максимум берется по всем работам (k, i) , входящим в событие i ; $t(k, i)$ – длительность работы (k, i) .

Если несколько стрелок (значений), то выбирается максимальное.

Ранние сроки записываются в левые сектора кружков.

Математические аспекты правовой информатики

III. Вычисление критического времени, которое равно раннему сроку завершающегося события:

$$T_{кр} = t_p(j).$$

IV. Вычисление поздних сроков от завершающегося события F (Finish) к исходному событию S (Start).

Поздний срок завершающегося события равен раннему сроку $t_{п}(j) = t_p(j)$.

Вычисление поздних сроков совершения для остальных событий

$$t_{п}(i) = \min_{(i,j)} [t_{п}(j) - t(i,j)],$$

где минимум берется по всем работам (i,j) , исходящим из события j .

V. Результаты поздних сроков записываем в правые сектора.

VI. Вычисление резервов времени события проводятся по расчётной формуле $R(i) = t_{п}(i) - t_p(i)$, результаты вычислений записываются в нижние сектора.

VII. Определение и выявление критических путей:

Критические пути, начиная с исходного и заканчивая в завершающем событии, проходят через события и работы, резервы которых равны нулю.

Критических путей может быть несколько. Они могут проходить и по фиктивным работам.

Критические пути выделяются на графике цветом или толщиной линий.

В результате выполнения алгоритма получим модель, представленную на рис. 8.

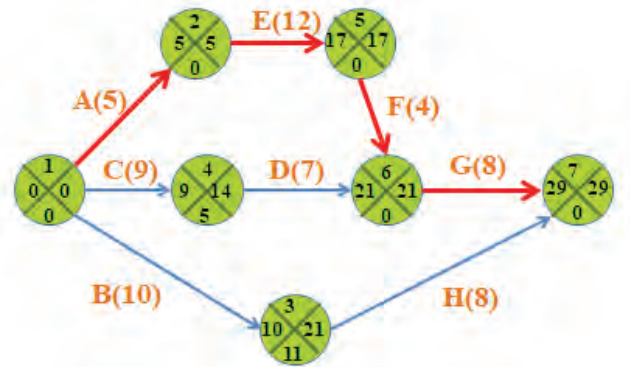


Рис. 8. Параметры сетевой модели

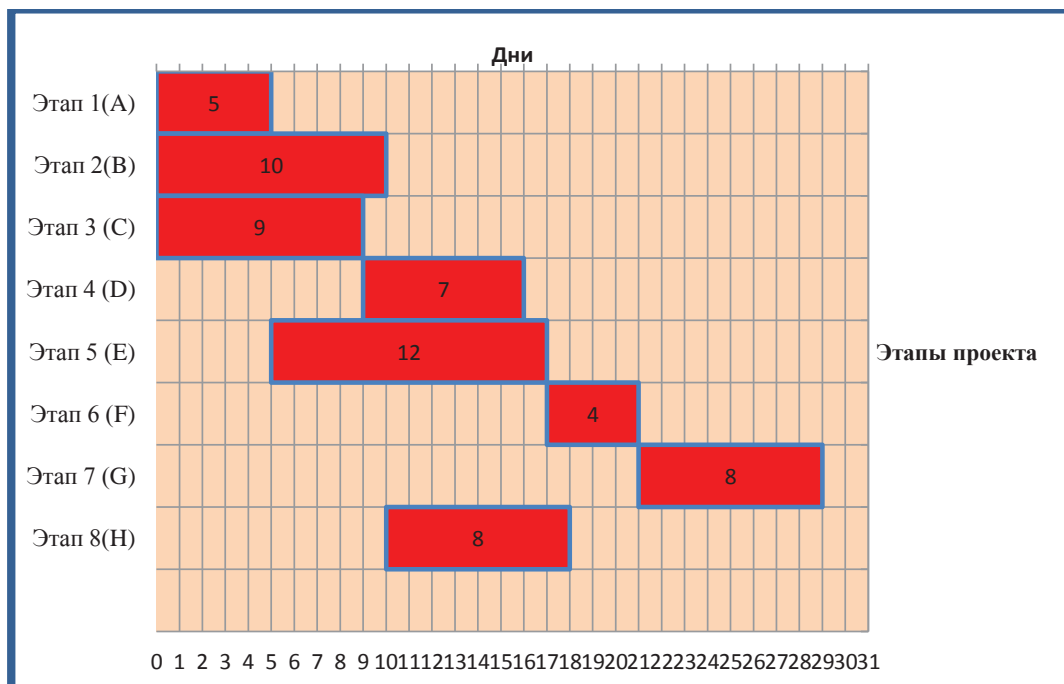


Рис. 9. Диаграмма Гантта для примера календарного планирования

Здесь $T_{кр} = 29$, критический путь $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7$ (выделен красным). Для удобства практического применения календарного планирования результат изображают в виде диаграммы Гантта (рис. 9 – для проекта, представленного в табл. 2).

Для наглядности можно изменить тип диаграммы (рис. 10).

Вероятностные (стохастические) ресурсные сетевые модели [3] отличаются от других сетевых моделей, снабженных ресурсными характеристиками работ, тем, что в них эти характеристики не рассматриваются

как детерминированные. Считается, что они обладают большей или меньшей неопределенностью, в результате чего удастся точнее отразить реальные производственные ситуации. Стохастическая структура означает, что все операции включаются в сеть с некоторой вероятностью. Например, в научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработках заранее не известны не только продолжительности отдельных операций, но и их перечень, а также структура сети. Расчет параметров и анализ сетей случайной структуры связаны с известными трудностями. Поэтому на практике

обычно применяются детерминированные сети со случайными временными оценками операций. Такие сети называются *вероятностными*.

Вероятностные сетевые модели – это модели, отдельные характеристики которых являются случайными величинами, в том числе модели с неопределенностью продолжительности работ и их состава, а также ресурсные модели.

Таблица 2

Этапы и продолжительность работ

Этапы проекта	Раннее время начала, дни	Продолжительность, дни
Этап 1 (А)	0	5
Этап 2 (В)	0	10
Этап 3 (С)	0	9
Этап 4 (D)	9	7
Этап 5 (Е)	5	12
Этап 6 (F)	17	4
Этап 7 (G)	21	8
Этап 8 (H)	10	8

Задачи расчета временных параметров на вероятностной модели с детерминированной сетью предназначены для определения степени реальности того или иного календарного плана, т. е. вероятности выполнения плана. В некоторых случаях ограничиваются выявлением, насколько реальны лишь сроки свершения целевых и контрольных событий – наиболее важных для исполнителя.

На вероятностных моделях с детерминированной сетью решают и другие задачи, в частности, определяют среднее значение, дисперсию, энтропию [15] и прочие характеристики критического срока и критической продолжительности выполнения проекта, а также функции распределения соответствующих величин, устанавливают такие сроки свершения наиболее важных событий сетевой модели, вероятность превышения которых меньше заданной, и строят функции распределения для этих сроков. Кроме того, можно выявить вероятность прохождения критического пути через данную работу или цепочку работ.

Модели с неопределенностью продолжительности работ называются также моделями с вероятностными временными оценками и детерминированной собственной сетью. Они отличаются от детерминированных сетевых моделей лишь тем, что в них *длительности* работ – не детерминированные, а случайные ве-

личины. Для определения параметров вероятностных сетей используются аналитические методы, статистическое моделирование и метод усреднения. В методе усреднения при вычислении вероятностных характеристик сети используют оценки математического ожидания и дисперсии продолжительности работ.

Чаще всего продолжительность работы по сетевому графику заранее не известна и может принимать лишь одно из ряда возможных значений. Продолжительность работы $t(i, j)$ является случайной величиной, характеризующейся своим законом распределения, а значит, своими числовыми характеристиками – средним значением $\bar{t}(i, j)$, или математическим ожиданием, и дисперсией $\sigma^2(i, j)$.

Наиболее полный способ описания сетевой модели состоит в задании для каждой работы (i, j) функции распределения $F_{ij}(x)$ ее случайной продолжительности, выражающей вероятность того, что $t(i, j)$ меньше x :
 $F_{ij}(x) = P\{t(i, j) < x\}$.

Вместо функций распределения могут быть заданы их плотности (производные):

$$f_{ij}(x) = F'_{ij}(x).$$

Для определения числовых характеристик работы (i, j) используют три временные оценки: оптимистическую оценку $a(i, j)$; пессимистическую оценку $b(i, j)$; наиболее вероятную оценку $t_{нв}(i, j)$.

Величина $a(i, j)$ – это минимально возможная (экстренная) продолжительность работы (i, j) , которую только можно осуществить в условиях разработки при наиболее благоприятном стечении обстоятельств; $b(i, j)$ – максимально возможная продолжительность работы (i, j) в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств; $t_{нв}(i, j)$ – время выполнения данной работы при наиболее часто встречающихся условиях выполнения работ. Указанные три оценки, значения которых являются мнениями экспертов или исполнителей и тоже являются случайными, служат основой для расчета средней ожидаемой продолжительности работы и ее дисперсии.

На практике чаще всего применяется упрощенная методика задания информации о случайных продолжительностях работ. Предполагается, что для всех величин $t(i, j)$ имеет место функция распределения одного и того же типа, отличающаяся для различных работ лишь числовыми значениями некоторых параметров. В качестве такого единого типа принимается так называемое β -распределение (двухпараметрическое семейство абсолютно непрерывных распределений, используемое для описания случайных величин, значения которых ограничены конечным интервалом) – т.е. типовое распределение продолжительности операций с оценками a и b .

Плотность β -распределения $f_{ij}(x)$ имеет вид:

$$f_{ij}(x) = \begin{cases} k_{ij}(b(i, j) - x)^\alpha (x - a(i, j))^\beta & \text{при } a(i, j) < x < b(i, j), \\ 0 & \text{при } x \leq a(i, j) \text{ и } x \geq b(i, j), \end{cases}$$

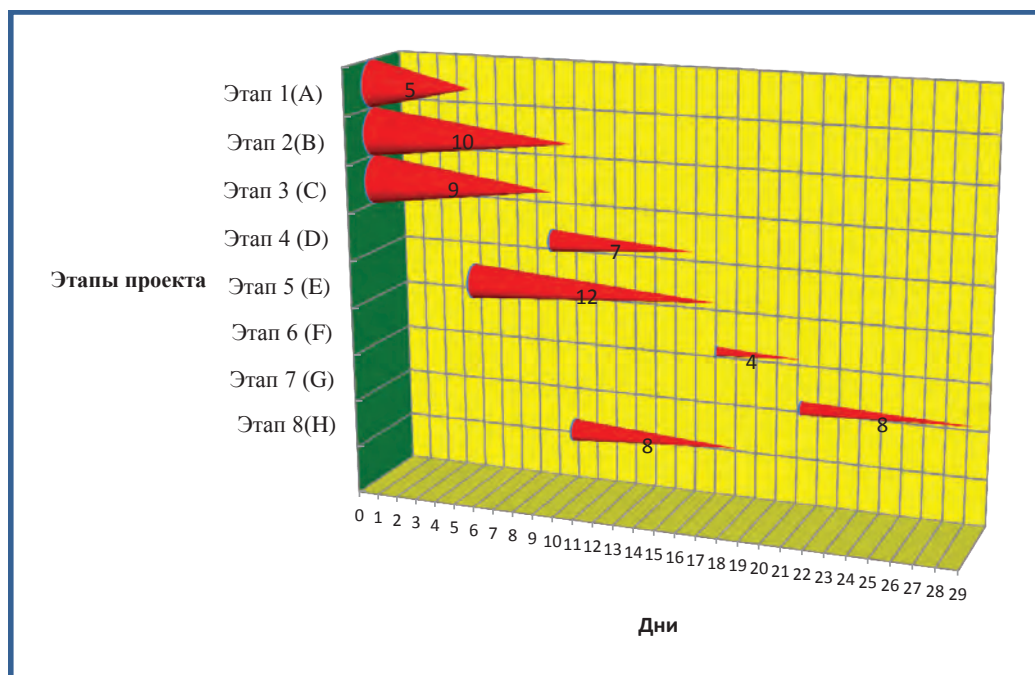


Рис. 10. Диаграмма Ганта в коническом виде

где β, γ – неотрицательные параметры, определяющие характер распределения, а k_{ij} – коэффициент нормировки, определяемый условием:

$$\int_{a(i,j)}^{b(i,j)} f_{ij}(x) dx = 1.$$

Смысл условия состоит в том, что сумма вероятностей всех возможных значений $t(i, j)$ между $a(i, j)$ и $b(i, j)$ равна 1, т. е. реализация одного из них достоверна.

По известной функции распределения $f_{ij}(x)$ находят числовые характеристики операций:

– среднее значение (математическое ожидание) продолжительности операции:

$$M[t] = \bar{t} = \int_a^b t f(t) dt = \frac{(p+q)m + (a+b)}{p+q+2};$$

– дисперсия:

$$D[t] = \sigma_t^2 = \int_a^b t^2 f(t) dt - \bar{t}^2.$$

$$M[T_{кр}] = \bar{t}(L) = \sum_{(i,j) \in L} \bar{t}(i,j); D[T_{кр}] = \sigma^2(L) = \sum_{(i,j) \in L} \sigma^2(i,j).$$

При наличии только двух оценок продолжительности работы используются формулы:

$$\bar{t}(i,j) = \frac{3a(i,j) + 2b(i,j)}{5}, \sigma^2(i,j) = \left(\frac{b(i,j) - a(i,j)}{6} \right)^2.$$

Требуется оценить вероятность того, что срок выполнения проекта $T_{кр}$ не превзойдет заданного директивного срока $T = T_{д}$.

Фактическое отклонение случайных величин $t(i, j)$ от их средних значений $\bar{t}(i, j)$ может быть как в боль-

Информационно-статистический анализ, проведенный экспериментальным путем разработчиками математического аппарата системы PERT, позволил установить, что $p + q \approx 4$ [10, 12]. Следовательно, при использовании гипотезы об определенном законе распределения длительностей работ (β -распределение) формулы расчета средней ожидаемой продолжительности работы и ее дисперсии следующие:

$$M[t(i, j)] = \bar{t}(i, j) = \frac{a(i, j) + 4t_{нв}(i, j) + b(i, j)}{6};$$

$$D[t(i, j)] = \sigma^2(i, j) = \left(\frac{b(i, j) - a(i, j)}{6} \right)^2.$$

Общая продолжительность работ имеет нормальный закон распределения со средним значением, равным сумме средних значений продолжительности составляющих его работ, и дисперсией, равной сумме соответствующих дисперсий:

шую, так и в меньшую сторону. Поэтому фактическая продолжительность выполнения комплекса операций может быть больше или меньше $M[T_{кр}]$.

Полагая $T_{кр}$ случайной величиной, имеющей нормальный закон распределения, получим:

$$p(T_{кр} \leq T) = 0,5 + \Phi\left(\frac{T - T_{кр}}{\sigma_{кр}}\right),$$

где $\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – значение интеграла вероятностей Лапласа, $u = \frac{T - T_{кр}}{\sigma_{кр}}$.

Если вероятность $p(T_{кр} \leq T)$ мала (например, менее 0,2), то велика опасность срыва заданного срока выполнения всего комплекса работ, необходимо принятие дополнительных мер (перераспределение ресурсов по сети, пересмотр состава работ и событий и др.).

Если вероятность $p(T_{кр} \leq T)$ значительна (например, более 0,9), то, очевидно, с достаточной степенью надежности можно прогнозировать выполнение проекта в установленный срок.

Рассмотрим приведенный ранее пример в условиях информационной неопределенности. Пусть даны временные характеристики модели (табл. 3). Считаем, что закон распределения срока наступления завершающего события является нормальным, и вероятность $p(T_{кр} \leq T)$ того, что продолжительность выполнения проекта не превысит заданного срока T_d , вычисляется по приведенной выше формуле.

Таблица 3

Характеристики сетевой модели (см. рис. 8)

Работы (i,j)	Оценки времени выполнения				Дисперсия среднего времени
	$a(i,j)$	$b(i,j)$	$t_{нп}(i,j)$	$t_{ож}(i,j)$	$\sigma^2(i,j)$
(1,2)	3	11	4	5	1,78
(1,3)	6	18	9	10	4
(1,4)	5	21	7	9	7,11
(2,5)	8	20	11	12	4
(3,7)	5	15	7	8	2,78
(4,6)	4	14	6	7	2,78
(5,6)	2	10	3	4	1,78
(6,7)	6	14	7	8	1,78

Для данного случая $T_{ож} = T_{кр} = 29$ с дисперсией $\sigma^2(t) = \sigma_{кр}^2 = 3,06^2$.

Оценим вероятность выполнения комплекса работа за время $T_d = 26$:

$$p(t \leq 26) = 0,5 + \Phi\left(\frac{26 - 29}{3,06}\right) = 0,5 - 0,3365 = 0,1635.$$

Значит, имеется менее 17% возможности завершить работы за 31 день или раньше.

Оценим вероятность выполнения комплекса работа за время $T_d = 31$:

$$p(t \leq 31) = 0,5 + \Phi\left(\frac{31 - 29}{3,06}\right) = 0,5 + 0,243 = 0,743.$$

Если оценить вероятность выполнения работ за директивный срок $T_d = 35$, то получим:

$$p(t \leq 35) = 0,5 + \Phi\left(\frac{35 - 29}{3,06}\right) = 0,5 + 0,475 = 0,975.$$

Для определения минимально возможного срока выполнения работ с надежностью 0,95 используем формулу: $T = T_{кр} + u \cdot \sigma_{кр}$, где значение аргумента $u = 1,64$ (при вероятности 0,95 согласно таблице значений функции Лапласа), и следовательно, $T = 29 + 1,64 \cdot 3,06 = 34$ дней.

Вычисленный средний срок завершения проекта надо оценивать критически, так как при большой дисперсии вероятны значительные отклонения от этого срока, так как дисперсия срока наступления конечного события является накопленной дисперсией всех предшествующих работ критического пути и может быть весьма значительной.

Применение современных информационно-программных средств³ для реализации рассмотренных математических методов и моделей управления проектами существенно упрощает отдельные этапы проектирования (например, этап контроля, презентации и др.), вместе с тем следует внимательно относиться к основному этапу – распределения работ по исполнителям и оценивать рациональность (оптимальность) такого планирования в отношении текущего актуального показателя, поскольку в ряде пакетов акцент делается на поиск и наглядное (эргономическое) и быстрое представление первого сетевого плана, в котором учтены заданные ограничения, а собственно оптимизации уделяется не достаточно внимания.

³ На рынке предлагается более 30 различных информационно-программных средств проектного назначения. Наиболее мощный – программный пакет Primavera (см.: <https://ru.wikipedia.org>), используемый в организациях, которые реализуют мультипроектирование, т.е. большое количество проектов одновременно. Наиболее простые: Time Line и MS Project, способные составить «начальные» планы для небольших проектов.

Рецензент: **Сухов Андрей Владимирович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиоэлектроники, телекоммуникаций и нанотехнологий Московского авиационного института (национального исследовательского университета), Российская Федерация, г. Москва.
E-mail: avs57@mail.ru

Литература

10. Ващекин А. Н. Применение математических методов теории нечетких множеств при моделировании принятия решений в экономической и правовой сфере // Экономика. Статистика. Информатика. Вестник УМО. – 2013. – № 6. – С. 18 – 21.
11. Ващекин А. Н., Ващекина И. В. Нечеткий алгоритм распределения судебных дел в суде первой инстанции: формализация и математическое моделирование // Правовая информатика. – 2017. – № 3. – С. 43 – 49.
12. Голенко-Гинзбург Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками: Монография. – Воронеж: «Научная книга», 2010. – 284 с.
13. Королев В. Т., Ловцов Д. А., Радионов В. В. Системный анализ. Часть. 2. Логические методы / Под ред. Д. А. Ловцова. – М.: РГУП, 2017. – 160 с.
14. Ловцов Д. А. Системный анализ. Часть. 1. Теоретические основы. – М.: РГУП, 2018. – 224 с.
15. Ловцов Д. А., Богданова М. В. Информационно-статистические показатели качества проектных инвестиций // НТИ. Сер. 2. Информ. процессы и системы. – 2000. – № 12. – С. 28 – 36.
16. Ловцов Д. А., Богданова М. В. Проблема управления инвестициями оборонных проектов России // Обозреватель-Observer. – 2000. – № 8. – С. 53 – 57.
17. Ловцов Д. А., Ниесов В. А. Разработка проекта стратегических преобразований организационно-правового механизма отечественного правосудия: актуальная межведомственная задача // Тр. XI Междунар. науч. конф. «Принципы права» (18 – 22 апреля 2016 г.) / РГУП. В 3 тт. Т. 2. – Москва: РГУП, 2017. – С. 244 – 259.
18. Методы и технологии выработки управленческих решений при создании сложных технических комплексов / А. В. Сухов, А. В. Мячин, Д. А. Ловцов и др. – М.: ВА им. Петра Великого, 2009. – 335 с.
19. Рассел Д. А. Управление высокотехнологичными программами и проектами. – М.: «Академия Ай-ти», 2004. – 472 с.
20. Стратегическое планирование и проектное управление. Новый технологический инструментарий (AGILE, SCRUM) / Ю. Д. Агеев, Ю. А. Кавин, С. В. Федосеев и др. – М.: «Аспект Пресс», 2018. – 160 с.
21. Хелдман К. Профессиональное управление проектами. – М.: «Бином», 2005. – 517 с.
22. Царькова Е. В. Оптимизация «цифровой» экономики: анализ чувствительности и информационной неопределенности // Правовая информатика. – 2018. – № 3. – С. 16-24.
23. Царькова Е. В. Информационно-математическое обеспечение задач «цифровой» экономики в нечетких условиях // Правовая информатика. – 2019. – № 1. – С. 18-28.
24. Lovtsov D. A. and Panyukov I. I. A New Informational Technology for Computer-Aided Planning of the Determination of the Parameters of Complex Dynamic Objects // Automation and Remote Control, 1995. Vol. 56. No 12. Part 1. P. 1687 – 1697.

METHODS OF PROJECT MANAGEMENT IN CONDITIONS OF INFORMATION UNCERTAINTY

Elena Tsar'kova, Ph.D. (in Mathematics), Associate professor of the Chair of Information Law, Informatics and Mathematics of the Russian State University of Justice, Russian Federation, Moscow
E-mail: e.v.tsarkova@mail.ru

Keywords: Project Management, information uncertainty, method, mathematic models, planning difficult complex projects, network model analysis; determinate models, uncertainty of the time of execution of works, critical path, random time estimates of operations, probably date of completion.

Abstract.

Purpose of the article: improving the scientific and methodological basis of the theory of economic and legal decision-making in the digital economy.

Methods: mathematical modeling of projects realization and system analysis of modern project network models and solutions.

Results: the development trends of methods of mathematic modeling are investigated; analyzed of modern project models, including probabilistic network model; method of definition of probably date of project completion is determined; the approach to decision of tasks of scheduling in conditions of information uncertainty of terms of performance of separate works is justified; the using averaging method for calculating network stochastic characteristics is presented.

References

1. Vashchekin A. N. Primenenie matematicheskikh metodov teorii nechetkikh mnozhestv pri modelirovanii priniatia reshenii v e`konomicheskoi i pravovoi sfere // E`konomika. Statistika. Informatika. Vestneyk UMO. – 2013. – № 6. – S. 18 – 21.
2. Vashchekin A. N., Vashchekina I. V. Nechetkii` algoritm raspredeleniia su-debny`kh del v sude pervoi` instancii: formalizatsiia i matematicheskoe modelirovanie // Pravovaia informatika. – 2017. – № 3. – S. 43 – 49.
3. Golenko-Ginzburg D.I. Stokhasticheskie setevy` e modeli planirovaniia i upravleniia razrabotkami: Monografiia. – Voronezh: «Nauchnaia kniga», 2010. – 284 s.
4. Korolev V. T., Lovtsov D. A., Radionov V. V. Sistemny`i` analiz. Chast`. 2. Logicheskie metody` / Pod red. D. A. Lovtsova. – M.: RGUP, 2017. – 160 s.
5. Lovtsov D. A. Sistemny`i` analiz. Chast`. 1. Teoreticheskie osnovy`. – M.: RGUP, 2018. – 224 s.
6. Lovtsov D. A., Bogdanova M. V. Informatcionno-statisticheskie pokazateli kachestva proektny`kh investitsii` // NTI. Ser. 2. Inform. protsessy` i sistemny`. – 2000. – № 12. – S. 28 – 36.
7. Lovtsov D. A., Bogdanova M. V. Problema upravleniia investitsiiami oboronny`kh proektov Rossii // Obozrevatel`-Observer. – 2000. – № 8. – S. 53 – 57.
8. Lovtsov D. A., Niesov V. A. Razrabotka proekta strategicheskikh preob-razovani` organizatsionno-pravovogo mehanizma otechestvennogo pra-vosudiia: aktual`naia mezhdunar.stvennaia zadacha // Tr. XI Mezhdunar. nauch. konf. «Printsipy` prava» (18 – 22 apreliia 2016 g.) / RGUP. V 3 tt. T. 2. – Moskva: RGUP, 2017. – S. 244 – 259.
9. Metody` i tekhologii vy`rabotki upravlencheskikh reshenii` pri sozda-nii slozhny`kh tekhnicheskikh kompleksov / A. V. Suhov, A. V. Miachin, D. A. Lovtsov i dr. – M.: VA im. Petra Velikogo, 2009. – 335 s.
10. Rassel D. A. Upravlenie vy` sokotekhnologichny`mi programmami i proektami. – M.: «Akademiia Ai`-ti», 2004. – 472 s.
11. Strategicheskoe planirovanie i proektnoe upravlenie. Novy`i` tekhnologicheskii` instrumentarii` (AGILE, SCRUM) / lu. D. Ageev, lu. A. Kavin, S. V. Fedoseev i dr. – M.: «Aspekt Press», 2018. – 160 s.
12. Kheldman K. Professional`noe upravlenie proektami. – M.: «Bi-nom», 2005. – 517 s.
13. Tcar`kova E. V. Optimizatsiia «tsifrovoi`» e`konomiki: analiz chuv-stvitel`nosti i informatcionnoi` neopredelennosti // Pravovaia in-formatika. – 2018. – № 3. – S. 16-24.
14. Tcar`kova E. V. Informatcionno-matematicheskoe obespechenie zadach «tsifrovoi`» e`konomiki v nechetkikh usloviakh // Pravovaia informatika. – 2019. – № 1. – S. 18-28.
15. Lovtsov D. A. and Panyukov I. I. A New Informational Techno-logy for Computer-Aided Planning of the Determination of the Parameters of Com-plex Dynamic Objects // Automation and Remote Control, 1995. Vol. 56. No 12. Part 1. P. 1687 – 1697.