

УДК 681.3

Обоснование объемов финансирования инвестиционного проекта на основе вероятностного сетевого графика

О. И. Еськова, И. И. Кикоть

Введение

Реализация инвестиционного проекта на основе собственных средств организации часто протекает в условиях ограниченного финансирования. Примером может служить реконструкция какого-либо цеха завода, в то время как основное производство продолжает функционировать. На реконструкцию цеха завод может выделять ежемесячно ограниченную сумму. Поэтому начало некоторых работ может откладываться из-за отсутствия достаточных средств на их выполнение. Это приводит к увеличению времени окончания проекта на неопределенный срок. Поскольку с реализацией инвестиционного проекта организация связывает какие-то планы по улучшению своей деятельности, ей важно оценить, как срок выполнения проекта будет зависеть от количества средств, выделяемых на него каждый месяц. Также организация, возможно, согласна привлечь и внешний кредит для завершения проекта. Тогда требуется определить сумму этого кредита и время, когда его наиболее выгодно использовать.

Для анализа сроков выполнения проекта традиционно используется метод сетевого планирования. Даже если не брать в расчет проблемы финансирования, время выполнения каждой работы является случайной величиной и зависит от множества факторов: качества используемых материалов, квалификации исполнителей, погодных условий и пр. Поэтому последовательность и взаимосвязь работ можно формализовать с помощью вероятностного сетевого графика. Однако в условиях ограниченного финансирования работ применение аналитических методов исследования вероятностных сетевых графиков весьма затруднительно. Предлагается использовать метод имитационного моделирования для оценки срока выполнения проекта. Этот метод предполагает разработку программы, имитирующей взаимодействие двух процессов: расходования средств в процессе производства работ, и их пополнения с учетом схемы финансирования организацией. Эксперименты на данной программе позволяют оценить среднее время выполнения проекта, а также закон распределения и другие характеристики этой случайной величины. Изменения в программе процесса выделения средств позволяют сравнивать различные схемы финансирования и выбирать из них с учетом конкретных предпочтений организации.

1 Методика разработки имитационной модели инвестиционного проекта в условиях ограниченного финансирования

На этапе формализации данной задачи требуется построение сетевого графика инвестиционного проекта, учитывающего взаимосвязь и последовательность отдельных работ. Сетевой график представляет собой ориентированный граф без контуров, дуги которого соответствуют работам, а вершины – событиям (моментам окончания и начала работ) проекта. Обычно дугам приписываются числовые характеристики, означающие время выполнения каждой работы. Однако если время выполнения работы является случайной величиной, то требуется задание его закона распределения и числовых характеристик этого закона. В этом случае сетевой график называется вероятностным. Если работа не является новой, то можно провести исследования для определения ее продолжительности на основании ранее встречавшихся аналогов. Если же работа является новой и малоизученной, то для нее обычно используется бета-распределение с характеристиками, задаваемыми на основе экспертных оце-

нок. Как правило, используется именно второй подход, поскольку дополнительные исследования работ для конкретной организации мало мотивированы.

Бета-распределение может быть задано тремя характеристиками: a – нижняя оценка (оптимистический срок выполнения работы), b – верхняя оценка (пессимистический срок выполнения работы) и m – наиболее вероятное время выполнения работы. На основании этих оценок могут быть рассчитаны математическое ожидание и дисперсия времени выполнения работы, которые используются при генерации случайных чисел, соответствующих бета-распределению. На практике часто ограничиваются заданием двух характеристик: a и b , что значительно упрощает работу эксперта. В этом случае формулы для расчета математического ожидания и дисперсии будут следующие:

$$\bar{t} = M[t] = \frac{3a + 2b}{5}; D[t] = \left(\frac{b - a}{5}\right)^2.$$

Если приписать рассчитанные математические ожидания продолжительностей работ каждой дуге сетевого графика, то можно использовать обычный подход к определению критического пути в данном сетевом графике. При этом математическое ожидание критического срока проекта будет равно сумме математических ожиданий работ на критическом пути, а его дисперсия – сумме дисперсий этих работ. Однако такой расчет будет носить предварительный характер, поскольку не учитывается возможность изменения критического пути при конкретных реализациях продолжительностей работ, а также не учитываются ограничения на использование денежных средств.

Далее необходимо решить вопрос о приоритетах работ на выделение финансовых ресурсов в случае их недостатка. При этом могут учитываться различные неформальные предпочтения организации. Наиболее простой подход в этом случае – выделять средства в первую очередь работам, лежащим на критическом пути, а затем – работам, имеющим наибольшую продолжительность.

Необходимо также сформулировать набор схем финансирования проекта, которые будут исследоваться. Можно рассмотреть различные размеры ежемесячного поступления средств, либо схемы неравномерного финансирования, которые может себе позволить организация.

После решения этих вопросов можно переходить к этапу программирования модели. С точки зрения авторов, наиболее удобным средством реализации данной модели является система имитационного моделирования GPSS World. Среди языковых конструкций языка GPSS имеются блоки расщепления и объединения транзактов. Блок SPLIT (Расщепить) используется, когда из одного события выходят несколько работ. При этом для каждой работы создается отдельная копия транзакта, которая затем задерживается блоком ADVANCE (Задержать) на случайное время выполнения этой работы. Блок ASSEMBLE (Собрать) используется для имитации наступления события, в которое входят несколько работ. Этот блок ожидает поступления требуемого числа транзактов и объединяет их в один, который и продолжает движение. Таким образом, указанное событие наступает только тогда, когда завершаются все входящие в него работы.

Имитация выполнения проекта начинается с генерации транзакта, который поступает в блок, соответствующий исходному событию. Затем транзакт проходит все блоки, имитирующие работы задержкой на случайное время их выполнения. Для задания бета-распределения используется функция BETA() языка PLUS, расширяющего стандартные возможности языка GPSS. Логическая последовательность работ задается алгоритмом модели, используя блоки расщепления и объединения транзактов. Таким образом, время поступления транзакта на завершающее событие и является сроком выполнения проекта при разыгранных последовательностях работ. Это время сохраняется в файле или фиксируется в таблице GPSS, а транзакт передается на исходное событие для выполнения нового статистического эксперимента. Количество экспериментов регулируется с помощью счетчика цикла и блока LOOP (Цикл).

Количество средств, имеющихся в наличии в данный момент времени, является значением сохраняемой величины GPSS, которую можно считать образом расчетного счета, предназначенного для финансирования данного инвестиционного проекта. При необходимо-

сти начать какую-либо работу проверяется состояние этой величины, и, если средств достаточно, ее значение уменьшается на стоимость данной работы, работа начинается. В случае недостатка денежных средств работа переходит в режим ожидания до тех пор, пока средства не появятся. Отдельный сегмент программы имитирует процесс поступления денежных средств, периодически увеличивая значение соответствующей сохраняемой величины. Этот сегмент должен быть модифицирован всякий раз, когда необходимо перейти к исследованию другой схемы финансирования.

Количество статистических экспериментов легко регулируется в помощью параметра цикла в модели. Поэтому к задаче получения необходимой точности показателей можно подойти следующим образом: постепенно увеличивать число экспериментов, сравнивая их результаты. Когда значение среднего времени выполнения проекта для двух последующих экспериментов будет отличаться в пределах заданной точности, можно остановиться на последнем эксперименте и принять его результаты в качестве показателя для выбранной схемы финансирования.

2 Пример модели инвестиционного проекта и оценка результатов моделирования

Рассмотрим в качестве примера применения выше описанной методики модель строительства молотового корпуса кузнечного завода. Список работ этого проекта приведен в таблице 1. Соответствующий сетевой график показан на рис.1, причем над дугами проставлены математические ожидания продолжительностей работ. Единица измерения времени – один день. Один из критических путей выделен жирной линией.

Таблица 1. Параметры работ строительства молотового корпуса

Наименование работы	Код работы	a	b	\bar{t}	Стоимость работы, тыс. руб.
Разработка котлована	(1,2)	16	26	20	37642
Устройство буронабивных свай	(2,3)	20	45	30	97863
Устройство ростверков	(2,4)	20	70	40	122478
Обратная засыпка и подсыпка	(3,5)	30	42,5	35	56870
Установка ж/б колонн и плит	(4,5)	70	82,5	75	287648
Устройство бетонной подготовки под полы	(5,7)	10	85	40	127873
Монтаж блоков покрытий	(5,6)	55	67,5	60	178456
Устройство кровли	(7,8)	20	45	30	64570
Монтаж стеновых панелей	(7,9)	25	37,5	30	107472
Монтаж отопительных систем	(9,10)	130	155	140	187540
Заполнение проемов, окон, фонарей	(9,14)	100	150	120	127861
Электроосвещение, монтаж электросилового оборудования	(9,11)	105	117,5	110	248340
Монтаж водопровода и канализации	(9,12)	90	140	110	194461
Отделочные работы	(9,13)	100	200	140	248360
Устройство фундаментов под оборудование	(14,15)	70	95	80	197560

Рассматривались схемы регулярного финансирования данного проекта, причем сумма, выделяемая ежемесячно, варьировалась от 1 до 40 млн. руб. Результаты моделирования показаны на рис.2. Таким образом, наблюдается обратная пропорциональная зависимость срока завершения проекта от величины ежемесячно выделяемых средств. Причем увеличение размера выделяемых средств свыше 40 млн. руб не приводит к дальнейшему снижению срока выполнения проекта, поскольку в этом случае финансовые ресурсы не востребованы и продолжительность выполнения проекта определяется только технологическими свойствами работ.

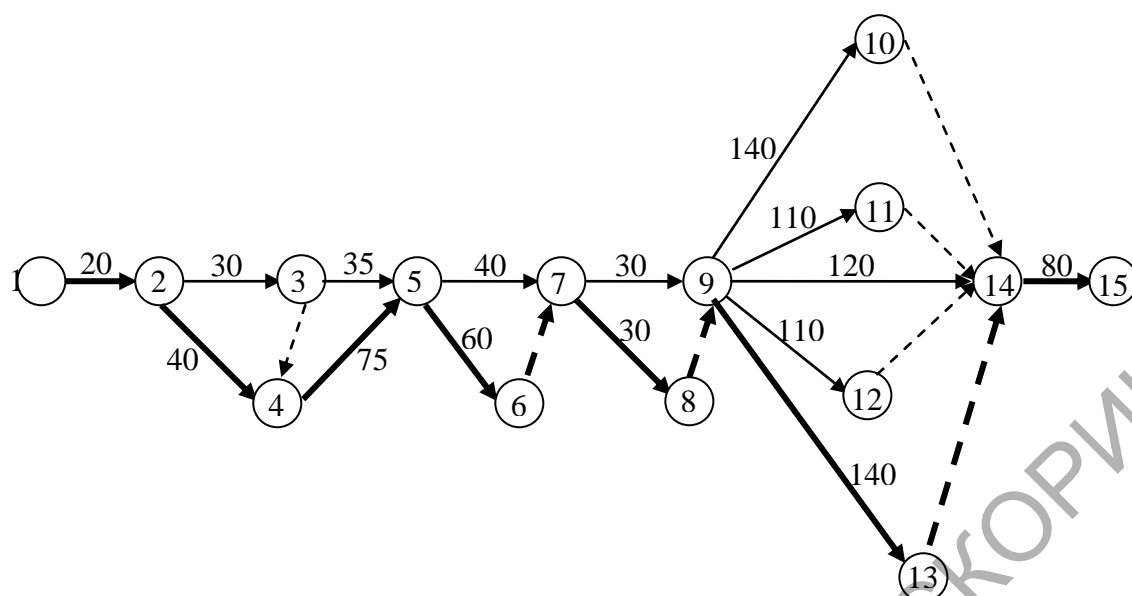


Рисунок 1 – Сетевой график строительства молотового корпуса

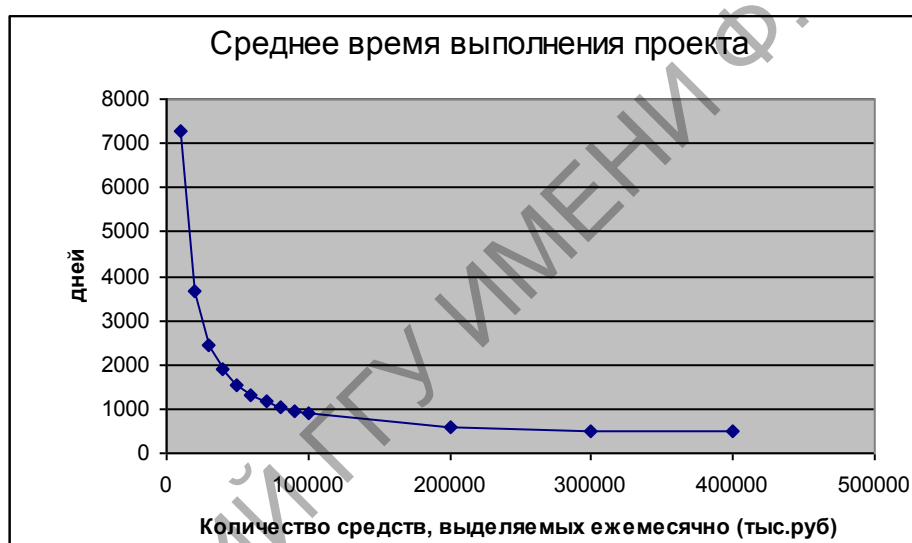


Рисунок 2 – График зависимости срока выполнения проекта от размера ежемесячно выделяемых средств, построенный по результатам моделирования.

Данная модель может быть также использована для анализа узких мест проекта. Так, например, при наступлении события 9 требуется выделить большое количество финансовых ресурсов, т.к. им одновременно начинаются 5 различных работ общей стоимостью 1009562 тыс.р. (т.е., около 100 млн.). Если бы эти средства были в наличии на момент совершения события 9, это позволило бы значительно ускорить выполнение проекта. Организовав в модели сбор статистики по времени наступления события 9, а также по количеству средств, имеющихся в наличии к этому моменту, можно определить срок, к которому должен быть получен внешний кредит, а также объем этого кредита (количество недостающих денежных средств).

Заключение

Применение метода имитационного моделирования для анализа вероятностных сетевых графиков дает возможность решать достаточно широкий класс задач, касающихся организации работ и финансирования инвестиционного проекта. Разработка модели сетевого графика на языке GPSS не вызывает никаких сложностей и доступна даже специалистам экономического профиля при условии небольшого дополнительного обучения. Кроме анализа различных схем собственного финансирования проекта, которые обсуждались в данной

работе, имитационную модель сетевого графика можно использовать для выбора кредитных условий в случае использования внешнего кредита, а также для оценки влияния на срок завершения проекта других ресурсов (рабочей силы, механизмов и пр.).

Резюме. Рассматривается влияние схемы финансирования на срок завершения проекта. Используется вероятностный сетевой график для описания последовательности и взаимосвязи работ проекта. Предлагается реализовать его имитационную модель в системе моделирования GPSS World. Обсуждаются различные варианты задач, которые могут быть решены на такой модели.

Abstract. The financing scheme influence on project time for completion is considered. The likelihood network schedule for the description of project work sequence and interrelation is used. It is offered to realize its imitating model in modeling system GPSS World. Various variants of problems that can be solved on such model are discussed.

Литература

1. Костевич, Л.С. Информационные технологии оптимальных решений: Учебное пособие / Л.С. Костевич; Мн.: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 1999.
2. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжиков; СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004.
3. Шрайбер, Т. Дж. Моделирование на GPSS / Т. Дж. Шрайбер; М.: Машиностроение, 1980.

Белорусский государственный
университет транспорта

Поступило 26.04.10