

Е.Н. Шомова,
А.П. Кирсанова

Национальный
исследовательский
университет
«Высшая школа
экономики»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРТФЕЛЯ ВЗАИМОЗАВИСИМЫХ ПРОЕКТОВ

Инновационные проекты имеют жизненно важное значение для прогресса и будущего любой современной высокотехнологичной корпорации. В ходе своего развития она должна «уметь» выявлять перспективные инновационные проекты и составлять из них портфель, учитывая влияние рисков на общую стратегию развития фирмы. В последние десятилетия было разработано большое число методов и моделей, помогающих в выборе обоснованного решения при составлении портфеля проектов [1–4]. Большинство из таких методов применимы только для ситуаций, когда проекты, потенциально входящие в портфель, не зависят друг от друга. В то же время состояние современной экономики не позволяет даже крупным корпорациям и концернам тратить деньги на разнотипные, независимые проекты.

Проблеме взаимодействия между проектами уделено относительно мало внимания в литературе. У Дикинсона и др. [5] описан подход с использованием матрицы зависимости, позволяющей пропорционально поделить доход от взаимосвязи проектов, который был разработан для компании «Бонинг». Верма и Синха [6] разработали теоретическую основу взаимозависимостей проектов, рассмотрев семь проектов, использующих общие ресурсы, через классификацию и понимание взаимосвязей между ними.

В докладе предлагается новый подход к формированию оптимальных портфелей проектов, основанный на аналогии с теорией формирования портфелей ценных бумаг Г. Марковица [7]. Но в отличие от подхода Г. Марковица в нашем случае нет возможности собрать необходимые статистические данные, так как это входит в противоречие с определением инновации [8]. Поэтому предлагается применить модель взаимодействия проектов, основанную на учете совместного использования ресурсов.

Пусть имеется n проектов, из которых возможно формирование портфеля. Каждый проект требует для своей реализации k различных ресурсов

(финансовых, материальных, человеческих и др.). Поделим общий объем работ по портфелю на T этапов, требования к ресурсам на каждом этапе будем считать постоянными. В дальнейшем по результатам закрытия этапов работ можно будет пересматривать или перераспределять имеющиеся ресурсы. Обозначим через r_{ist} объем ресурса типа s , требуемого для реализации i -го проекта на этапе t , где $t = 1, 2, \dots, T$, причем $r_{is} = \sum_{t=1}^T r_{ist}$ (1). Общее количество ресурса типа s , которым располагает формирующая портфель компания, обозначим через $R_s = \sum_{t=1}^T R_{st}$ (2), где R_{st} – количество s -го ресурса на этапе t .

Будем считать, что выполнение i -го проекта дает доход E_i . Из-за воздействия различных случайных факторов доход в конце выполнения проекта может быть различным. Поэтому будем считать, что доход является случайной величиной. Риск проекта будем оценивать дисперсией D_i дохода от выполнения проекта (т.е. дисперсией случайной величины E_i). Таким образом, i -й проект характеризуется параметрами $E_i, D_i, r_{is}, s = 1, 2, \dots, k$.

Портфель, формируемый из n проектов, задается вектором $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, компоненты которого принимают значения 0, если соответствующий проект не включается в портфель, или 1, если соответствующий проект включается в портфель.

Доход E от выполнения портфеля проектов, а также связанный с портфелем риск D и риск на этапе t D_t выражается формулами

$$E = \sum_{i=1}^n E_i x_i, \quad (3)$$

$$D = \sum_{t=1}^T D_t + d_t. \quad (4)$$

Для отражения зависимости между проектами введем параметр риска портфеля на этапе t :

$$d_t = \sum_i^n \sum_j^n x_i x_j \rho_{ijt} \sqrt{D_i} \cdot \sqrt{D_j}, \quad \text{где } i \neq j, \quad (5)$$

$$\rho_{ijst} = 1 - \frac{R_s - \sum_{m=1}^n r_{mst}}{r_{ist} + r_{jst}}, \quad m \neq i, j, \quad R_s > \sum_{m=1}^n r_{mst}, \quad r_{ist} + r_{jst} > 0, \quad (6)$$

$$\rho_{ijt} = \frac{\sum_{s=1}^k \rho_{ijst}}{k}, \quad (7)$$

где ρ_{ijt} – коэффициент корреляции между случайными величинами E_i и E_j на этапе t .

Серьезные изменения в проекте обязательно отразятся на связанных с ним проектах. Коэффициент корреляции количественно определяет влияние одного проекта на другой и отражает экономические связи между проектами через зависимость от общих ресурсов. Иными словами, коэффициент корреляции позволяет учитывать ситуацию, когда на этапе t суммарная потребность проектов i и j в общем ресурсе s превышает его наличие, и риск срыва этапа работ возрастает.

Рассмотрим пример разработки новой операционной системы (ОС) и разработки программ, работающих под этой ОС. У проектов есть общий людской ресурс – программисты (60 человек). Когда на этапе t первому проекту необходимо 50 программистов, второму проекту – 25, возникает угроза завершения этапа не в полном объеме. Даже если наиболее эффективным образом распределить программистов между проектами, определенная нехватка этого ресурса останется, и ρ_{ij} позволяет не упустить эти риски. Вместе с тем если возникнут сложности в проекте по созданию ОС, задержки в выпуске на рынок или проблемы, связанные с отсутствием коммерческого успеха при продажах, то это негативно скажется и на разработке/продаже программного обеспечения (ПО): его просто некуда будет устанавливать. И наоборот, активные продажи ОС дадут сильный импульс разработчикам ПО (будут подгоняться растущим спросом) – коммерческий успех такому продукту заранее обеспечен. В свою очередь, выгодные особенности ПО способны привлечь на сторону ОС дополнительных покупателей, например, Pixelmator – графический редактор для Mac OS, в то время как возможные сложности в разработке ПО могут привести к тому, что операционная система останется бесполезной без разнообразных утилит.

Ресурсы, требуемые для реализации портфеля проектов, выражаются формулами

$$r_s = \sum_{t=1}^T r_{st}, \quad (8)$$

$$r_{st} = \sum_{i=1}^n r_{ist}, \quad s = 1, 2, \dots, k. \quad (9)$$

Таким образом, портфель проектов можно рассматривать как новый проект с параметрами $E, D, r_s, s = 1, 2, \dots, k$.

С точки зрения формирования портфеля проектов естественно сформулировать следующие задачи.

Задача получения максимального дохода при ограничении риска заключается в нахождении вектора $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, для которого

$$E = \sum_{i=1}^n E_i x_i \rightarrow \max \text{ при ограничениях,}$$

$$E = \sum_i^n \sum_j^n x_i x_j \rho_{ijt} \sqrt{D_i} \cdot \sqrt{D_j} \leq d_{\max},$$

$$r_s = \sum_{i=1}^n r_{is} \leq R_s, \quad s = 1, 2, \dots, k.$$

Задача получения минимального риска при сохранении дохода не меньше заданного уровня заключается в нахождении вектора $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, для которого

$$d_i = \sum_i^n \sum_j^n x_i x_j \rho_{ijt} \sqrt{D_i} \cdot \sqrt{D_j} \rightarrow \min \text{ при ограничениях,}$$

$$E = \sum_{i=1}^n E_i x_i \geq E_{\min},$$

$$r_s = \sum_{i=1}^n r_{is} \leq R_s, \quad s = 1, 2, \dots, k.$$

Отличие этих задач от тех, которые рассматриваются в теории Г. Марковица, заключается в том, что, во-первых, сформулированные задачи являются нелинейными задачами булева программирования ($x_i = 0$ или 1), во-вторых, в них присутствуют дополнительные ограничения на ресурсы.

Для решения этих задач и помощи лицу, принимающему решения (ЛПР) по вопросам включения (или исключения) потенциальных проектов в портфель предприятия, разработан элемент системы поддержки принятия решения (СППР).

Особенности работы системы заключаются в следующем. Для ЛПР составляются структуры цены рассматриваемых проектов с ориентировочными стоимостями всех затрат и прибыли на каждый t -й этап проекта. Статьи расходов переносятся в систему и группируются: расходы на материалы, расходы на людские ресурсы. И так по каждому рассматриваемому проекту. Далее вносятся значения того, сколько всего средств может выделить предприятие на материалы, людские ресурсы. СППР позволяет оценить перспективы различных вариантов портфеля проектов по их общей зависимости от одних и тех же ресурсов. Результатом этой оценки является параметр риска портфеля d_i , который в случае $d_i < 0$ будем называть стабилизационным фондом (стабфондом), а в случае $d_i \geq 0$ — дополнительным риском портфеля проектов.

Рассмотрим следующие варианты развития событий. Например, проекты в портфеле претендуют на одни и те же ресурсы (см. пример выше), в результате чего возникает дефицит некоторых ресурсов. Даже если правильно распределить имеющийся ресурс, то определенный дефицит все равно останется, что повлечет за собой дополнительный риск. И напротив, если в

портфеле достаточное количество ресурсов на все проекты, то дополнительного риска нет или даже образуется стабфонд портфеля. СППР показывает результаты по всем комбинациям имеющихся проектов.

Кроме того, система позволяет решать задачу по распределению ресурсов между проектами при заданном уровне параметра риска таким образом, чтобы прибыль была максимальна. Поставленная задача линейного программирования решается одним из численных методов решения.

СППР имеет ряд особенностей.

- Механизм вычисления коэффициента d_t следующий. По каждому виду ресурсов s вычисляется коэффициент корреляции ρ_{ijst} между парами проектов i и j на этапе t по формуле (6), а затем и сам параметр d_t по формуле (5). При этом рассматриваются все возможности комбинации пар проектов. Физический смысл параметра заключается в претензии каждого из проектов в данной паре на общий ресурс.

- В предлагаемом подходе учитываются связи между проектами, входящими в портфель. Эти связи характеризуются коэффициентами корреляции ρ_{ij} . В частном случае, когда $\rho_{ij} = 0$, i -й и j -й проекты независимы.

- Количество проектов в портфеле должно быть не менее двух.

- Расходы на материалы составляют 0,04% от расходов на людские ресурсы. Это связано с тем, что модель описывает процессы эскизного проектирования, где основная статья расходов приходится на фонд оплаты труда (ФОТ).

- Прибыль от проектов, фиксированная в данном случае, калькулируется как 84,5% от ФОТ (требование государственного заказчика). Рассматривается ситуация с инновационными проектами в России, где большинство таких проектов приходится на государственный заказ. При использовании «поиска решения» и автоматическом перераспределении ресурсов значение прибыли проекта также меняется.

- ЛПР самостоятельно определяет следующие параметры: общее количество каждого ресурса и среднеквадратическое отклонение дохода проекта.

Результатом работы СППР может быть либо параметр риска для всех возможных комбинаций проектов в портфеле, когда входными данными является структура цены проектов в ориентировке, либо оптимальное распределение ресурсов между проектами при заданном параметре риска портфеля и максимальной прибыли.

Приведем пример использования СППР. Имеются три проекта, и рассматривается возможность включения их в портфель предприятия. По каждому проекту составляется структура ориентировочной цены, из которой СППР заимствует затраты на людские ресурсы, материалы и предполагаемую прибыль (рис. 1).

	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	Материалы для 1 проекта r11, руб.	Людские ресурсы для 1 проекта r121, руб.	Материалы для 2 проекта r111, руб.	Людские ресурсы для 2 проекта r121, руб.	Материалы для 3 проекта r111, руб.	Людские ресурсы для 3 проекта r121, руб.	Итого требуется материалы, руб.	Всего имеется материалы, руб.	Итого требуется людских ресурсов, руб.	Всего имеется людских ресурсов, руб.	доход от 1 проекта E1, руб.	доход от 2 проекта E2, руб.	доход от 3 проекта E3, руб.	Суммарный доход портфеля
2	2 000	50 000	6 000	150 000	16 000	400 000	24 000	20 000	600 000	270 000	13 320	39 959	106 557	159 836

Рис. 1. Ввод данных в СППР

Далее рассматриваются все возможные комбинации включения проектов в портфель: когда портфель состоит из всех трех проектов или из различных комбинаций двух проектов (рис. 2).

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	входит ли 1 проект в портфель	входит ли 2 проект в портфель	входит ли 3 проект в портфель	Материалы для 1 проекта r111, руб.	Людские ресурсы для 1 проекта r121, руб.	Материалы для 2 проекта r111, руб.	Людские ресурсы для 2 проекта r121, руб.	Материалы для 3 проекта r111, руб.	Людские ресурсы для 3 проекта r121, руб.	Итого требуется материалы, руб.	Всего имеется материалы, руб.	Итого требуется людских ресурсов, руб.	Всего имеется людских ресурсов, руб.	доход от 1 проекта E1, руб.	доход от 2 проекта E2, руб.	доход от 3 проекта E3, руб.	Суммарный доход портфеля
2	1	1	1	2 000	50 000	6 000	150 000	16 000	400 000	24 000	20 000	600 000	270 000	13 320	39 959	106 557	159 836
3	0	1	1	-	-	6 000	150 000	16 000	400 000	22 000	20 000	550 000	270 000	-	39 959	106 557	146 516
4	1	0	1	2 000	-	-	-	16 000	400 000	18 000	20 000	450 000	270 000	13 320	-	106 557	119 877
5	1	1	0	2 000	50 000	6 000	150 000	-	-	8 000	20 000	200 000	270 000	13 320	39 959	-	53 279

Рис. 2. Комбинации портфеля проектов

Исходя из этих данных, получаем следующие результаты (рис. 3).

	M	N	O	P	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
	Итого требуется материалы, руб.	Всего имеется материалы, руб.	Итого требуется людских ресурсов, руб.	Всего имеется людских ресурсов, руб.	Суммарный доход портфеля	СКО дохода 1 проекта	СКО дохода 2 проекта	СКО дохода 3 проекта	коэффициент корреляции по материалу r112	коэффициент корреляции по материалу r113	коэффициент корреляции по материалу r123	коэффициент корреляции по людским ресурсам r213	коэффициент корреляции по людским ресурсам r223	коэффициент корреляции по людским ресурсам r233	Параметр риска портфеля
2	24 000	20 000	600 000	270 000	159 836	0,20	0,30	0,40	0,5	0,22222222	0,181818182	1	0,733333333	0,6	0,13013131
3	22 000	20 000	550 000	270 000	146 516	0,20	0,30	0,40	0	0,090909091	0	0	0	0,50809091	0,038
4	18 000	20 000	450 000	270 000	119 877	0,20	0,30	0,40	0	-0,111111111	0	0	0	0,4	0,011155556
5	8 000	20 000	200 000	270 000	53 279	0,20	0,30	0,40	-1	0	0	-0,35	0	0	-0,0495

Рис. 3. Нахождение параметра риска

Анализ результатов.

1. Первый случай: в портфель входят все предложенные проекты, тогда выявляется нехватка как материалов, так и людских ресурсов. Все коэффициенты корреляции между проектами положительны, что ведет к высокому значению параметра риска – 0,13, при максимальном уровне суммарного портфельного дохода – 159 836 руб.

2. Второй случай – это портфель из 2-го и 3-го проектов. Здесь также наблюдается нехватка обоих ресурсов, хотя и не такая сильная, как в первом случае. Параметр риска портфеля получается положительным, но на порядок

меньше – 0,036, а предполагаемый доход портфеля снижается всего на 9% – 146 516 руб.

3. Третий случай: в портфель входят 1-й и 3-й проекты. При этом наблюдается достаточность материалов (с запасом) и недостаток людских ресурсов. Следовательно, коэффициент корреляции по материалам опускается ниже нуля, а по людским ресурсам он выше нуля. Итоговый параметр риска портфеля получается самым низким из рассмотренных – 0,012, как и суммарный доход – 119 877 руб.

4. Четвертый случай включает в портфель 1-й и 2-й проекты. Материалов и людских ресурсов более чем достаточно, и, как следствие, получаем отрицательные коэффициенты корреляции и параметр риска ниже нуля: –0,04. Это говорит о том, что, выполняя 1-й и 2-й проекты одновременно, предприятие не рискует оставить проекты с дефицитом ресурсов и обладает даже небольшим запасом, что дает большую уверенность в непредвиденной ситуации. Суммарный доход портфеля составит 53 279 руб.

Рассмотрев этот пример, можно сказать, что система поддержки принятия решения наглядно демонстрирует, как зависимость от общих ресурсов и их потенциальный дефицит сказываются на рискованности портфеля проектов. При этом СППР рассматривает одну сторону рисков портфеля, оставляя все остальные на откуп ЛПР, помогая обработать информацию из ряда финансовых документов и сделать соответствующие выводы.

Выводы. Приведенная модель формирования портфеля проектов, базирующаяся на аналогии с теорией Г. Марковица, описывает реальный портфель проектов, учитывает их возможную взаимозависимость, накладывает ограничения на ресурсы проекта, что позволяет применять данную модель в различных отраслях промышленности. На основе предложенного подхода может быть создана полноценная система поддержки принятия решения.

Литература

Аншин В.М., Демкин И.В., Царьков И.Н., Никонов И.М. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности. М.: МАТИ, 2008.

Дорофеев В.Д., Дресвянников В.А. Инновационный менеджмент: учеб. пособие. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003.

Dickinson M.W., Thornton A.C., Graves S. Technology Portfolio Management: Optimizing Interdependent Projects over Multiple Time Periods // IEEE Transactions on Engineering Management. 2001. Nov. P. 518–527.

Henriksen A.D., Traynor A.J. A Practical R&D Project-Selection Scoring Tool // IEEE Transactions on Engineering Management. 1999. Febr. P. 158–170.

Markowitz H. Efficient Portfolios, Sparse Matrices, and Entities // A Retrospective, Operations Research. 2002. Jan.—Febr. P. 154—160.

Martino J.P. Research and Development Project Selection. N.Y.: Wiley-Interscience Publication, 1995.

Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Pennsylvania: Project Management Institute, 2004.

Verma D., Sinha K.K. Toward a Theory of Project Interdependencies in High Tech R&D Environments // Journal of Operations Management. 2002. Sept. P. 451—468.