

Оптимизационная модель интеграции материальных и финансовых потоков инвестиционных проектов

© 2010 О.В. Есипова, С.А. Морозова

Самарский государственный аэрокосмический университет
им. академика С.П. Королева

E-mail: olga.esipova@mail.ru, morozova_s_a@mail.ru

В статье подробно изложена экономико-математическая модель оптимизации инвестиционных проектов. Разработанная модель позволяет оптимизировать инвестиционные проекты путем введения задержек отдельных этапов без изменения планового графа выполнения работ, а также путем привлечения заемного капитала - банковских кредитов, что является актуальным в настоящее время. Данный материал - готовые рекомендации для принятия управленческих решений в области финансирования инвестиционных проектов.

Ключевые слова: инвестиционный проект, денежный поток, притоки, оттоки, оптимизация, прибыль, финансирование, сальдо.

Эффективная реализация инвестиционного проекта подразумевает управление всеми его потоками. Обычно выделяют три вида потоков: материальный поток, основная цель которого удовлетворить спрос конечного потребителя; финансовый поток, управление которым позволяет максимизировать прибыль; информационный поток, который позволяет согласовывать вышеуказанные два потока.

В настоящее время в большинстве научных работ анализируется влияние материальных потоков на финансовые потоки на стратегическом уровне¹ и очень мало источников описывают взаимосвязь между реальным состоянием денежных средств и планированием на тактическом и операционном уровне². Как правило, на тактическом уровне разрабатываются лишь системы планирования производства³, системы по функциональным областям управления⁴ или решаются только финансовые задачи⁵, что и показывают результаты анализа (см. табл. 1).

На практике инструментами управления являются программные продукты систем MRP, MRP II, FCS, ERP, CSRP, APS. Однако применение данных систем так и не привело к серьезному повышению экономической эффективности хозяйственных обществ, так как до конца не реализована идея интеграции всех потоков в виде виртуального предприятия или проекта⁶.

Таким образом, актуальной является задача создания оптимизационной модели, реализующей концепцию виртуального предприятия или проекта, в которых интегрируются финансовый и материальный потоки в общую картину планирования, позволяя управлять всеми функциональными отделами хозяйственного общества одновременно.

Далее приведена разработанная оптимизационная модель, интегрирующая на стратегическом уровне материальные и финансовые потоки путем учета сдвигов при реализации отдельных этапов инвестиционного проекта. Денежные потоки по видам хозяйственной деятельности делятся на денежные потоки по операционной, инвестиционной и финансовой деятельности. Также денежные потоки зависят от этапа жизненного цикла инвестиционного проекта.

На предынвестиционной фазе чистый денежный поток рассматривается как

$$F^0 = \left(\sum_{n=1}^N R_n^0 + \sum_{\psi=1}^{\Psi} U_{\psi}^0 + \sum_{\varepsilon=1}^E H_{\varepsilon}^0 \right) - \left(\sum_{z=1}^Z C_z^0 + \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} V_{\gamma}^0 + \sum_{\phi=1}^{\Phi} G_{\phi}^0 \right).$$

На инвестиционной фазе чистый денежный поток определяется как

$$F^1 = \sum_{k=1}^K \left[\left(\sum_{n=1}^N R_n^k + \sum_{\psi=1}^{\Psi} U_{\psi}^k + \sum_{\varepsilon=1}^E H_{\varepsilon}^k \right) - \left(\sum_{z=1}^Z C_z^k + \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} V_{\gamma}^k + \sum_{\phi=1}^{\Phi} G_{\phi}^k \right) \right].$$

Так как особый интерес для математического моделирования инвестиционных проектов представляет именно инвестиционная фаза, ее предлагается разбить на совокупность этапов ($k = 1 \dots K$), что и учтено в формуле. Время начала эксплуатационной фазы зависит от продол-

Таблица 1. Сравнительный анализ научных работ по моделированию финансовых и материальных потоков

Авторы	Горизонт планирования			Вид потока	
	Стратегический	Тактический	Операционный	Финансовый	Материальный
Badel		+		+	+
Baumon		+	+	+	
Brown и Haegler		+	+	+	
Cattani и Souza		+	+	+	
Comelli		+		+	+
Girlich		+	+	+	
Gragam и Harvey		+		+	
Gul	+			+	+
Hendriks и Sin	+			+	+
Inderfurth и Shefer			+	+	
Miller и Orr		+	+	+	
Orgler		+		+	
Premachandra	+			+	+
Rink et al.	+			+	+
Salameh	+			+	+
Vidal и Goetschlack	+			+	+
Wang		+		+	+
Бром		+			+
Богатырев	+	+		+	
Иванова		+		+	
Федосеев		+			+

жительности инвестиционной фазы (K), поэтому на эксплуатационной фазе чистый денежный поток предприятия будет равен:

$$F^2 = \left(\sum_{n=1}^N R_n^{K+1} + \sum_{\psi=1}^{\Psi} U_{\psi}^{K+1} + \sum_{\varepsilon=1}^E H_{\varepsilon}^{K+1} \right) - \left(\sum_{z=1}^Z C_z^{K+1} + \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} V_{\gamma}^{K+1} + \sum_{\phi=1}^{\Phi} G_{\phi}^{K+1} \right).$$

Описание переменных для расчета вышеуказанных чистых денежных потоков, а также формулы их внутренней взаимосвязи в обобщенном виде приведены в табл. 2. В таблице не учитываются покупка/продажа ценных бумаг других предприятий и государства, а также выдача/возврат ссуд и займов, предоставляемых другим предприятиям.

С учетом вышеприведенных обозначений притоки, оттоки и чистый денежный поток от реализации инвестиционного проекта будут равны:

$$F = \sum_{t=0}^2 F^t = F^0 + F^1 + F^2 = \left[\left(R_2^0 + \sum_{\varepsilon=2}^5 H_{\varepsilon}^0 \right) + \sum_{k=1}^K \left(R_2^k + \sum_{\varepsilon=1}^5 H_{\varepsilon}^k \right) + \left(\sum_{n=1}^2 R_n^{K+1} + \sum_{\varepsilon=1}^5 H_{\varepsilon}^{K+1} \right) \right] -$$

$$\left[\left(\sum_{z=2}^4 C_z^0 + \sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^0 + G_3^0 \right) + \sum_{k=1}^K \left(\sum_{z=2}^4 C_z^k + \sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^k + \sum_{\phi=1}^3 G_{\phi}^k \right) + \left(\sum_{z=1}^4 C_z^{K+1} + \sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^{K+1} + \sum_{\phi=1}^4 G_{\phi}^{K+1} \right) \right],$$

где F^t - чистый денежный поток предприятия при реализации инвестиционного проекта, полученный на фазе инвестиционного проекта t .

Из данных формул расчета притоков и оттоков денежных средств выводится целевая функция модели и ее ограничения.

В данной модели предлагается учитывать два ограничения на материальный и на финансовый потоки. Первое ограничение вызвано тем, что разработанная модель предполагает наличие изменений в реализации отдельных этапов инвестиционного проекта, представляющих собой сдвиги материальных потоков - задержки в поставке сырья и материалов либо в выполнении работ и услуг.

Причиной сдвигов материальных потоков являются финансовые потоки, а именно при дефиците источников финансирования предлагается откладывать оплату работ и поставок на будущие периоды, т. е. "замораживать" этапы и их группы, не затрагивая последовательность их выполнения. Математические данные сдвигов можно описать через вектор продолжительностей, где каждый элемент вектора соответствует своему этапу инвестиционного проекта:

Таблица 2. Структура финансирования и реализация основных фаз инвестиционного проекта

Показатели	Предынвестиционная фаза			Инвестиционная фаза			Эксплуатационная фаза
1	2	3	4	5	6	7	8
Остаток на начало периода	S^0	1	...	S^k	...	K	S^{K+1}
I. Поступление денежных средств (приток)							
<i>А. Операционная деятельность</i>							
Валовая выручка от реализации продукции и услуг	-			-			R_1^{K+1}
Полученные авансы от покупателей и заказчиков	R_2^0			R_2^k			R_2^{K+1}
<i>Итого по операционной деятельности</i>	R_2^0			R_2^k			$\sum_{n=1}^2 R_n^{K+1}$
<i>Б. Инвестиционная деятельность</i>							
	-			-			-
<i>Итого по инвестиционной деятельности</i>	-			-			-
<i>В. Финансовая деятельность</i>							
Краткосрочные и долгосрочные кредиты и займы	-			H_1^k			H_1^{K+1}
Денежные поступления от выпуска акций	H_2^0			H_2^k			H_2^{K+1}
Увеличение уставного капитала	H_3^0			H_3^k			H_3^{K+1}
Безвозмездное целевое финансирование	H_4^0			H_4^k			H_4^{K+1}
Денежные поступления от размещения векселей и облигаций	H_5^0			H_5^k			H_5^{K+1}
<i>Итого по финансовой деятельности</i>	$\sum_{\varepsilon=2}^5 H_{\varepsilon}^0$			$\sum_{\varepsilon=1}^5 H_{\varepsilon}^k$			$\sum_{\varepsilon=1}^5 H_{\varepsilon}^{K+1}$
<i>Всего поступлений денежных средств (общий приток)</i>	$R_2^0 + \sum_{\varepsilon=2}^5 H_{\varepsilon}^0$			$R_2^k + \sum_{\varepsilon=1}^5 H_{\varepsilon}^k$			$\sum_{n=1}^2 R_n^{K+1} + \sum_{\varepsilon=1}^5 H_{\varepsilon}^{K+1}$
II. Расходование денежных средств (отток)							
<i>А. Операционная деятельность</i>							
Валовые затраты на производство продукции	-			-			C_1^{K+1}
Авансы поставщикам и подрядчикам	C_2^0			C_2^k			C_2^{K+1}
Процентные выплаты по облигациям, кредитам	C_3^0			C_3^k			C_3^{K+1}
Платежи в бюджет и внебюджетные фонды	C_4^0			C_4^k			C_4^{K+1}
<i>Итого по операционной деятельности</i>	$\sum_{z=2}^4 C_z^0$			$\sum_{z=2}^4 C_z^k$			$\sum_{z=1}^4 C_z^{K+1}$
<i>Б. Инвестиционная деятельность</i>							
Приобретение долгосрочных активов	V_1^0			V_1^k			V_1^{K+1}
Затраты на НИОКР	V_2^0			V_2^k			V_2^{K+1}
Выкуп собственных акций у акционеров	V_3^0			V_3^k			V_3^{K+1}

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Итого по инвестиционной деятельности</i>	$\sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^0$			$\sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^k$			$\sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^{K+1}$
<i>В. Финансовая деятельность</i>							
Выплаты основной части краткосрочных и долгосрочных кредитов и займов	-			G_1^k			G_1^{K+1}
Краткосрочные финансовые вложения	-			G_2^k			G_2^{K+1}
Погашения векселей, облигаций, закладных обязательств	G_3^0			G_3^k			G_3^{K+1}
Выплата дивидендов	-			-			G_4^{K+1}
<i>Итого по финансовой деятельности</i>	G_3^0			$\sum_{\phi=1}^3 G_{\phi}^k$			$\sum_{\phi=1}^4 G_{\phi}^{K+1}$
<i>Всего расходов денежных средств (общий отток)</i>	$\sum_{z=2}^4 C_z^0 + \sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^0 + G_3^0$			$\sum_{z=2}^4 C_z^k + \sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^k + \sum_{\phi=1}^3 G_{\phi}^k$			$\sum_{z=1}^4 C_z^{K+1} + \sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^{K+1} + \sum_{\phi=1}^4 G_{\phi}^{K+1}$
<i>Сальдо по операционной деятельности</i>	$R_2^0 - \sum_{z=2}^4 C_z^0$			$R_2^k - \sum_{z=2}^4 C_z^k$			$\sum_{n=1}^2 R_n^{K+1} - \sum_{z=1}^4 C_z^{K+1}$
<i>Сальдо по инвестиционной деятельности</i>	$-\sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^0$			$-\sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^k$			$-\sum_{\gamma=1}^3 V_{\gamma}^{K+1}$
<i>Сальдо по финансовой деятельности</i>	$\sum_{\varepsilon=2}^5 H_{\varepsilon}^0 - G_3^0$			$\sum_{\varepsilon=1}^5 H_{\varepsilon}^k - \sum_{\phi=1}^3 G_{\phi}^k$			$\sum_{\varepsilon=1}^5 H_{\varepsilon}^{K+1} - \sum_{\phi=1}^4 G_{\phi}^{K+1}$
<i>Чистый денежный поток</i>	F^0			F^k			F^2
Остаток на конец периода	S^1			S^{k+1}			S^{K+2}

$$l = (l^1, l^2, \dots, l^k, \dots, l^K) \in l^{\zeta},$$

где K - число основных этапов реализации инвестиционной фазы проекта;

l^{ζ} - множество векторов.

“Замораживание” работ можно представить и через запаздывание L .

Чтобы выполнялось условие сохранения последовательности работ и поставок в соответствии с сетевым графиком их реализации, необходимо сдвигать затраты каждого последующего этапа на сумму величины сдвигов всех предшествующих этапов, что можно записать следующим об-

разом: для любых $k = 1, \dots, (K - 1)$ и $j = 1, \dots, (K - k)$ справедливо $l^k \leq l^{k+j}$. Это и есть первое ограничение на материальный поток.

Любое производственное предприятие заинтересовано осуществить инвестиционный проект “в срок”, не нарушая свои обязанности перед партнерами, поэтому любое превышение планового срока в соответствии с условиями контрактов приводит к более позднему выпуску продукции, к увеличению процентов по заемным средствам и, соответственно, к получению меньшей

прибыли. В модели это учитывается только косвенно.

Второе ограничение показывает, что на конец каждого из периодов сальдо (остаток) денежных средств должно быть положительным, т.е. в зависимости от периода времени $t = 0, \dots, T$ должны выполняться условия:

$$\left[\left(R_2^0 + \sum_{\varepsilon=2}^5 H_\varepsilon^0 \right) - \left(\sum_{z=2}^4 C_z^0 + \sum_{\gamma=1}^3 V_\gamma^0 + G_3^0 \right) \right] \geq 0, \text{ если } t = 0;$$

$$\forall k = 1, \dots, K \left[\left[\left(R_2^0 + \sum_{\varepsilon=2}^5 H_\varepsilon^0 \right) - \left(\sum_{z=2}^4 C_z^0 + \sum_{\gamma=1}^3 V_\gamma^0 + G_3^0 \right) \right] + \right. \\ \left. + \left[\sum_{\kappa=1}^k \left(R_2^\kappa + \sum_{\varepsilon=1}^5 H_\varepsilon^\kappa \right) - \sum_{\kappa=1}^{k-L^k} \left(\sum_{z=2}^4 C_z^\kappa + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \sum_{\gamma=1}^3 V_\gamma^\kappa + \sum_{\phi=1}^3 G_\phi^\kappa \right) \right] \right] \geq 0, \text{ если } t = 1;$$

$$\forall k = (K+1), \dots, (K+L^K)$$

$$\left[\left[\left(R_2^0 + \sum_{\varepsilon=2}^5 H_\varepsilon^0 \right) - \left(\sum_{z=2}^4 C_z^0 + \sum_{\gamma=1}^3 V_\gamma^0 + G_3^0 \right) \right] + \right. \\ \left. + \left[\sum_{\kappa=1}^K \left(R_2^\kappa + \sum_{\varepsilon=1}^5 H_\varepsilon^\kappa \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \sum_{\kappa=1}^{k-L^k} \left(\sum_{z=2}^4 C_z^\kappa + \sum_{\gamma=1}^3 V_\gamma^\kappa + \sum_{\phi=1}^3 G_\phi^\kappa \right) \right] \right] \geq 0, \text{ если } t = 1;$$

$$\left[\left[\left(R_2^0 + \sum_{\varepsilon=2}^5 H_\varepsilon^0 \right) - \left(\sum_{z=2}^4 C_z^0 + \sum_{\gamma=1}^3 V_\gamma^0 + G_3^0 \right) \right] + \right. \\ \left. + \sum_{\kappa=1}^K \left[\left(R_2^\kappa + \sum_{\varepsilon=1}^5 H_\varepsilon^\kappa \right) - \left(\sum_{z=2}^4 C_z^\kappa + \sum_{\gamma=1}^3 V_\gamma^\kappa + \sum_{\phi=1}^3 G_\phi^\kappa \right) \right] + \right. \\ \left. + \left[\left(\sum_{n=1}^2 R_n^{K+1} + \sum_{\varepsilon=1}^5 H_\varepsilon^{K+1} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \left(\sum_{z=1}^4 C_z^{K+1} + \sum_{\gamma=1}^3 V_\gamma^{K+1} + \sum_{\phi=1}^4 G_\phi^{K+1} \right) \right] \right] \geq 0, \text{ если } t = T.$$

В качестве целевой функции модели предлагается чистый дисконтированный доход, рассчитываемый как разность дисконтированных притоков и оттоков по операционной деятельности:

$$NPV = \frac{\left(R_2^0 - \sum_{z=2}^4 C_z^0 \right) \cdot (1 - \eta)}{(1 + i)} + \\ + \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{R_2^k}{(1 + i)^{k+1}} - \frac{\sum_{z=2}^4 C_z^k}{(1 + i)^{k+L^k+1}} \right) \cdot (1 - \eta) \right] + \\ + \frac{\left(\sum_{n=1}^2 R_n^{K+1} - \sum_{z=1}^4 C_z^{K+1} \right) \cdot (1 - \eta)}{(1 + i)^{K+L^K+2}} \rightarrow \max, \\ l \in l^c,$$

где i - ставка дисконтирования;

η - ставка налога на прибыль.

Авансы от покупателей и заказчиков в зависимости от учетной политики, принятой на предприятии, могут не являться доходом. Для упрощения данной модели предлагается учитывать полученные денежные средства (авансовые платежи) в качестве дохода по факту, а не по завершению работ.

Функция NPV зависит от нескольких переменных: во-первых, от R_n^t - положительного денежного потока, полученного в результате операционной деятельности от источника поступления денежных средств ($n = 1 \dots N$) на фазе t ($t = 0 \dots T$); во-вторых, от C_z^t - отрицательного денежного потока предприятия, израсходованного в результате операционной деятельности на источник выбытия денежных средств ($z = 1 \dots Z$) на фазе t ($t = 0 \dots T$); в-третьих, от η - налога на прибыль; в-четвертых, от l - продолжительности сдвигов этапов проекта; в-пятых, от i - ставки дисконтирования; в-шестых, от K - числа основных этапов реализации инвестиционной фазы проекта.

Показано, что сдвиги материальных потоков, представляющие собой задержки в строительстве, установке оборудования, наладке, под-

ключении к инфраструктуре, влияют непосредственно на финансовые потоки предприятия, что приводит к снижению прибыли от реализации инвестиционного проекта, а также ухудшает финансовые показатели предприятия в целом. Разработанная экономико-математическая модель позволяет оптимизировать отдельные инвестиционные проекты, а также их совокупность, представляющую инвестиционную программу предприятия, с помощью изменений в плановом варианте графика реализации и финансирования этапов проекта, не затрагивая структуру сетевого графика.

¹ См.: *Rink D., Roden D., Fox H.* Financial management and planning with the product life concept // *Business Horizon*. 1999. □ 42 (5). P. 65-72; *Vidal C.J., Goetschlackx M.* A global Supply Chain model with transfer pricing and transportation cost allocation // *European J. of Operational Research*. 2001. □ 129 (1). P. 134-158; *Gul F.* Free cash flow, debt monitoring and managers lifo/ fifo policy choice // *J. of Corporate Finance*. 2001. □ 7 (4). P. 475-492; Continuous review inventory model with delay in payments / *M. Salameh [et al.] // International J. of Production Economics*. 2003. □ 85 (1). P. 91-95; *Premachandra J.* A diffusion approximation model for managing cash in firms: An alternative approach to the Miller Orr model // *European J. of Operational Research*. 2003. □ 28 (5). P. 443-452.

² *Wang Y.* Liquidity management, operating management and corporate value // *J. of Multinational Financial Management*. 2002. □ 12 (2). P. 159-169.

³ *Федосеев С.А., Возжаков А.В., Гитман М.Б.* Модель оптимального планирования производства на тактическом уровне с нечеткими ограничениями и критериями // *Вестн. МГТУ*. 2009. □ 4. С. 57-64.

⁴ *Бром А.Е.* Динамическая модель потоковых процессов промышленного предприятия // *Экономика и управление в машиностроении*. 2009. □ 1. С. 3-10.

⁵ *Богатырев В.Д., Иванычев А.В., Корнилов С.С.* Моделирование финансовых потоков предприятия с сезонным характером спроса // *Управление большими системами*. 2003. □ 5. С. 5-10; *Богатырев В.Д., Гришанов Д.Г., Павлов О.В.* Механизм согласованного управления инвестиционными проектами // *Управление большими системами*. 2003. □ 4. С. 35-40; *Vaumol W.J.* The transaction demand for cash: An inventory approach // *The Quarterly J. of Economics*. 1952. □ 66 (4). P. 545-556; *Orgler Y.E.* An unequal period model for cash management decisions // *Management Sciences*. 1969. □ 16. P. 77-92; *Graham J.R., Harvey C.R.* The theory and practice of corporate finance: Evidence from the field // *J. of Financial Economics*. 2001. □ 60 (2). P. 187-243.

⁶ См.: The effects of an integrative supply chain strategy on customer service and financial performance / *S.K. Vickery [et al.] // J. of Operations Management*. 2003. □ 21 (5). P. 523-539; Проблемы и пути повышения эффективности управления промышленными предприятиями на базе компьютеризации / *А.С. Иванова [и др.] // Вестн. компьютерных и информационных технологий*. 2006. □ 11. С. 8-16; *Comelli M., Feñnie P., Tchernev N.* A combined financial and physical flows evaluation for logistic process and tactical production planning: Application in a company supply chain // *International J. of Production Economics*. 2008. □ 112. P. 77-95.

Поступила в редакцию 06.07.2010 г.