
**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОГРАММ

© 2015 г. С.В. Седова¹

(Москва)

Представлена оптимизационная модель формирования вариантов структуры инвестиционных программ. В модели учтена возможность выбора объема финансирования и времени начала проектов, претендующих на участие в программе, в сочетании с реинвестированием прибыли, получаемой в ходе реализации проектов, запущенных ранее. Приведены расчеты, иллюстрирующие на примере программы нефтехимической отрасли возможности модели. Изменение параметров модели позволяет получать множество вариантов структуры программы, что способствует принятию эффективного решения.

Ключевые слова: оптимизационная модель, инвестиционная программа, проект, эффективность.

Классификация JEL: L52, C61, C88, C89.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования нашего коллектива (Татевосян, Писарева и др., 2009; Брагинский, Татевосян и др., 2013; Брагинский, Татевосян и др., 2014) в области обоснования крупномасштабных (отраслевых и региональных) инвестиционных программ (ИП) и оценки результатов их осуществления, проводимые с 2006 г., показали следующее. С одной стороны, ИП призваны стать инструментом воздействия на социально-экономическое развитие государства и проведения структурной политики. С другой стороны, практика формирования, обоснования и реализации ИП страдает множеством недостатков (Татевосян, Писарева и др., 2009), что приводит к значительному снижению эффективности этого инструмента.

Под инвестиционной программой мы понимаем совокупность инвестиционных проектов, направленных на достижение целей и комплексное решение задач, заявленных в программе.

Задачу, стоящую перед разработчиками программы, мы определяем следующим образом: с максимально возможным учетом интересов всех участников распределить/перераспределить выделяемые программе ресурсы между проектами, повышая соответствие программы целям и задачам и тем самым увеличивая ее общую результативность.

Одним из существенных недостатков практики формирования ИП, по нашему мнению, является то, что зачастую проекты разрабатываются не под программу, мало соответствуют ее целям и включаются в ИП по внеэкономическим соображениям (Татевосян, Писарева и др., 2009).

Разработка по крайней мере части проектов должна вестись параллельно с формированием самой ИП. В данной статье понятие “инвестиционный проект” (или просто “проект”) будет использоваться не только в традиционном смысле (обоснование экономической целесообразности, объема и сроков осуществления капитальных вложений, в том числе необходимая проектно-сметная документация, разработанная в соответствии с законодательством РФ), но и как направление вложений, инвестиционная идея (замысел) инвестиционного проекта.

Вопросы формирования структуры инвестиционных программ рассматривались многими авторами. В монографии В.В. Царева (Царев, 2004) рассматриваются ставшие классическими экономико-математические модели (в частности, зарубежных авторов), предназначенные для реше-

¹ Автор выражает благодарность за помощь и консультации Е.Г. Гольштейну и У.Х. Малкову.

ния задачи отбора проектов в инвестиционную программу фирмы. Задача отбора определяется как формирование инвестиционного портфеля фирмы. В.В. Царев приводит классификации указанных моделей по различным признакам и дает характеристику таких линейных моделей, как модель “рюкзака”, статическая модель Дж. Дина, одноступенчатая модель Албаха, многоступенчатая модель Хакса–Вайнгартнера, модель с несколькими производственными ступенями – расширенная модель Ферстнера–Хенна, модель с возможностями выбора установок и дезинвестиций Якоба. Другие модели из отечественной и зарубежной литературы подробно рассмотрены в работах (Брагинский, Татевосян, Седова, 2014; Ахобадзе, 2010; Суровцев и др., 2001).

Однако во всех этих разработках как отечественных, так и зарубежных, в отличие от предлагаемой нами модели, программа формируется из уже готовых инвестиционных проектов. Кроме того, обычно авторы ориентируются в основном на инвестиционные программы крупных фирм, в которых учитываются только интересы коммерческого инвестора.

В условиях жесткого дефицита финансовых ресурсов задача повышения качества формирования ИП становится особенно актуальной. В данной постановке задачи повысить эффективность ИП можно за счет изменения объемов (размеров) проектов, перераспределения финансирования по периодам ИП; переноса сроков начала реализации проектов и реинвестирования прибыли.

Ниже описывается оптимизационная модель, позволяющая учитывать при задаваемых ограничениях указанные факторы.

ПЕРЕМЕННЫЕ, КРИТЕРИИ И ОСНОВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ МОДЕЛИ

Каждый из проектов, претендующих на включение в ИП, независимо от степени его проработанности задается базовым вариантом, который характеризуется:

- суммарным объемом инвестиций для реализации проекта и распределением инвестиций по периодам;
- объемами выпускаемой продукции и получаемой в результате ее реализации прибыли в целом и по периодам;
- сроком начала реализации.

Поскольку мы считаем, что объем части проектов в процессе формирования ИП является предметом выбора, по каждому такому проекту, претендующему на включение в программу, задаются нижние и верхние границы его финансирования. В нашей постановке рассматриваются два вида проектов: дискретные проекты, у которых объем финансирования может изменяться порциями, и непрерывные проекты, у которых объем финансирования может меняться на сколь угодно малую величину. При этом предполагается, что выпуск продукции в рамках проектов и прибыль, получаемая в результате их реализации, пропорциональны капитальным вложениям, а распределение объема финансирования проекта по периодам остается постоянным при изменении объема.

Вложения в программу производятся в течение T периодов ($t = 1, \dots, T$). Этот интервал назовем горизонтом программы.

Программе выделяется определенная величина финансовых средств. Увеличить общий объем финансирования предлагается за счет реинвестирования прибыли. Ниже описываются модификации модели формирования структуры инвестиционной программы, учитывающие две ситуации.

1. Прибыль, направляемая на реинвестиции, может использоваться только в период, следующий за тем, в котором она получена (реинвестиции без накопления). Например, прибыль четвертого года может быть реинвестирована только в пятом.

2. Прибыль может накапливаться. Прибыль конкретного года может быть реинвестирована в любом следующем году. Например, прибыль четвертого года допустимо направлять на инвестиции в пятом, шестом, седьмом и т.д. годах.

Сначала подробно опишем модель для случая 1. Пусть номера проектов-кандидатов на включение в программу образуют множество J . Через J_1 обозначим множество номеров дискретных проектов, а через J_2 – непрерывных проектов.

В модели период начала реализации проектов не фиксирован, т.е. начало проекта может быть сдвинуто относительно заявленного первоначально на несколько периодов вперед или назад.

Пусть номера возможных периодов начала реализации проекта j образуют множество $\Lambda(j)$. Отсчет периодов будем вести от периода начала программы. Примеры множества $\Lambda(j) = \{1, 2, 3, 4\}$, $\Lambda(j) = \{2, 3, 4, 7\}$. Если по проекту j_1 период начала его реализации (допустим η) не может быть изменен, такому проекту ставится в соответствие множество с единственным элементом $\Lambda(j_1) = \{\eta\}$.

Учитывая сказанное, введем следующие переменные модели. $z_{j\tau}$ – признак начала проекта j в период τ . Переменная $z_{j\tau}$ принимает значение 1, если проект j начинается в период τ , и значение 0 в противном случае. $x_{j\tau}$ – интенсивность финансирования проекта j , начинающегося в период τ .

Под интенсивностью финансирования понимается отношение объема финансирования проекта к его объему финансирования в базовом варианте в постоянных ценах. Такой способ введения переменных позволяет легко учитывать порционность изменения вложений. Учет изменения объема финансирования в зависимости от периода начала его реализации рассматривается ниже.

Оптимизация структуры программы осуществляется по критериям, отражающим общие интересы ее участников и/или ее цели.

Обозначив $x_j = (x_{j\tau}, \tau \in \Lambda(j))$ и соответственно $x = (x_j, j \in J)$, запишем критерий модели в виде

$$f_k(x) \rightarrow \max, \quad k \in K_1, \tag{1}$$

где $f_k(x)$ – функция, выражающая критериальный показатель k ; K_1 – множество номеров критериальных показателей. В нашем случае показатели могут выражаться линейными (например, суммарная дисконтированная прибыль, объем производства) и дробно-линейными функциями (например, рентабельность инвестиций, доля перспективных проектов).

Здесь необходимо дать пояснение. Поскольку модель касается инвестиций, в качестве целевых функций могут использоваться дисконтированные показатели. Мы исходим из того, что вопросы дисконтирования для модели являются внешними. Показатели дисконтируются на стадии подготовки информации, при этом выбираются соответствующие поставленным задачам способы приведения их к единому времени и нормы дисконта. Такой подход позволяет рассчитывать варианты ИП при разных системах дисконтирования.

Основным ограничением в описываемой модели служат финансовые ограничения. Общий объем финансирования программы и начальное распределение этого объема по периодам определяются вне модели. При этом распределение финансирования по периодам задается нежестко (финансовые ресурсы могут перераспределяться между периодами в некоторых пределах).

В связи с этим введем переменные: y^t – величина выделяемых на ИП финансовых средств в период t ; v^t – величина использованной на реинвестиции прибыли в период t .

Тогда комплекс ограничений по объему финансирования можно представить в виде:

$$\sum_{j \in J} \sum_{\tau \in \Lambda(j)} a_{j\tau}^1 x_{j\tau} = y^1, \tag{2}$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{\tau \in \Lambda(j)} a_{j\tau}^t x_{j\tau} = y^t + v^t, \quad t = 2, \dots, T, \tag{3}$$

$$v^t \leq \alpha \sum_{j \in J} \sum_{\substack{\tau \in \Lambda(j) \\ \tau < t}} p_{j\tau}^{t-1} x_{j\tau}, \quad t = 2, \dots, T, \tag{4}$$

$$\underline{y}^t \leq y^t \leq \overline{y}^t, \quad t = 1, \dots, T, \tag{5}$$

$$\sum_{t=1}^T y^t \leq b^0, \tag{6}$$

где $a_{j\tau}^t$ – объем финансирования в период t , необходимый для осуществления проекта j , начинающегося в период τ при единичной интенсивности финансирования проекта; α – доля прибыли, направляемая на реинвестиции; $p_{j\tau}^t$ – прибыль, получаемая в период t , в результате реализации проекта j , начинающегося в период τ при единичной интенсивности финансирования проекта; $\underline{y}^t, \overline{y}^t$ – нижняя и верхняя границы величины финансовых средств (объема финансирования), выделяемых программе в период t ; b^0 – общий объем финансирования программы.

Объем финансирования в период t проекта j при условии его начала в период τ определяется произведением $a_{j\tau}^t x_{j\tau}$. Индекс τ у величин $a_{j\tau}^t$ и $p_{j\tau}^t$ позволяет учитывать изменения цен при переносе сроков начала реализации проектов.

Дополнительно в модели предусмотрены ограничения (снизу или сверху) для показателей, не попавших в целевую функцию:

$$f_k(x) \geq \underline{f}_k, \quad k \in K_2, \quad (7)$$

$$f_k(x) \leq \overline{f}_k, \quad k \in K_3, \quad (8)$$

где \underline{f}_k и \overline{f}_k – нижняя и верхняя границы величины показателя k ; K_2 и K_3 – множества номеров показателей, на которые наложены ограничения соответственно снизу и сверху. Поскольку проект j может начинаться в разные периоды, необходимо обеспечить его начало только в один из возможных периодов. Для этого вводятся условия:

$$\sum_{\tau \in \Lambda(j)} z_{j\tau} \leq 1, \quad j \in J. \quad (9)$$

Если некоторый проект l должен быть обязательно реализован, для него условие (9) преобразуется к виду:

$$\sum_{\tau \in \Lambda(l)} z_{l\tau} = 1.$$

Когда существует возможность выбора времени начала реализации проектов, возникает потребность модельного учета хронологической взаимосвязи проектов. Не претендуя на полноту, рассмотрим наиболее часто встречающиеся ситуации. Содержательное происхождение этих ситуаций может быть разное.

1. Некоторый проект j_2 должен стартовать точно через η периодов после начала проекта j_1 . В этом случае в исходных данных списки $\Lambda(j_1)$ и $\Lambda(j_2)$ должны быть согласованы и производятся замены

$$z_{j_2\tau} = z_{j_1(\tau-\eta)}, \quad \tau \in \Lambda(j_2). \quad (10)$$

2. Некоторый проект j_2 должен запускаться не менее чем через η периодов после начала проекта j_1 . Ограничение вида (9) для j_1 дополняется равенствами

$$z_{j_1\tau} = \sum_{\substack{\lambda \in \Lambda(j_2), \\ \lambda \geq \tau + \eta}} z_{j_2\lambda}, \quad \tau \in \Lambda(j_1), \quad (11)$$

а (9) для j_2 становится лишним и исключается. Это обеспечивает следующее. Если в период τ стартует проект j_1 ($z_{j_1\tau} = 1$), то в какой-то из периодов $\lambda \geq \tau + \eta$ начнется проект j_2 .

3. Некоторый проект j_2 должен начинаться не позже, чем через η лет (периодов) после запуска проекта j_1 . Ситуация аналогична предыдущей. Неравенство (9) для j_2 исключается, а для j_1 дополняется равенствами

$$z_{j_1\tau} = \sum_{\substack{\lambda \in \Lambda(j_2), \\ \lambda \leq \tau + \eta}} z_{j_2\lambda}, \quad \tau \in \Lambda(j_1), \quad (12)$$

4. Должен реализовываться либо проект j_1 , либо проект j_2 (например, один из вариантов проекта). Для таких проектов ограничения вида (9) заменяются условием

$$\sum_{\tau \in \Lambda(j_1)} z_{j_1\tau} + \sum_{\tau \in \Lambda(j_2)} z_{j_2\tau} \leq 1 \quad (13)$$

или соответствующим равенством, если какой-то из вариантов должен быть обязательно осуществлен.

На объем финансирования проектов накладываются ограничения снизу и сверху, которые связаны с технологическими ограничениями, ограничениями по спросу, с отражением индивидуальных интересов.

Ограничения сверху на интенсивность финансирования проектов записываются в виде

$$x_{j\tau} \leq \bar{d}_j z_{j\tau}, \quad \tau \in \Lambda(j), \quad j \in J, \quad (14)$$

где \bar{d}_j – максимальная интенсивность финансирования проекта j .

Так как при фиксированном j или только одно $z_{j\tau}$ равно 1, или все $z_{j\tau}$ равны 0, больше 0 будет не более одного $x_{j\tau}$.

Ограничения снизу на объем проектов следует записать в виде

$$\sum_{\tau \in \Lambda(j)} x_{j\tau} \geq \underline{d}_j, \quad j \in J, \quad (15)$$

где \underline{d}_j – минимальная интенсивность финансирования проекта j .

Ограничения (9), (14) обеспечивают то, что при фиксированном j только одно $x_{j\tau}$ будет отлично от 0. И это $x_{j\tau}$ будет больше или равно нижней границе \underline{d}_j благодаря условию (15). Ограничение (15) заставляет при $\underline{d}_j > 0$ хотя бы одно $z_{j\tau}$ быть равным 1, т.е. проект j , у которого $\underline{d}_j > 0$, в какой-то год из списка $\Lambda(j)$ обязательно начнется.

Ограничения снизу и сверху могут накладываться на интенсивность финансирования группы проектов:

$$\sum_{j \in J(l)} \sum_{\tau \in \Delta(j)} x_{j\tau} \geq \underline{d}^l, \quad (16)$$

$$\sum_{j \in J(l)} \sum_{\tau \in \Delta(j)} x_{j\tau} \leq \bar{d}^l, \quad (17)$$

где $J(l)$ – множество номеров проектов, образующих группу l ; \underline{d}^l – минимальная интенсивность финансирования проектов, входящих в группу l ; \bar{d}^l – максимальная интенсивность финансирования проектов, входящих в группу l . При этом условия (14) для проектов группы l обязательно сохраняются, так как обеспечивают, что только одно $x_{j\tau}$ для фиксированного j будет больше нуля. Однако для того чтобы задача не оказалась противоречивой, должно соблюдаться условие

$$\sum_{j \in J^l} \bar{d}_j \leq \bar{d}^l.$$

Введение ограничений (16), (17) с одновременным ослаблением условий (14) и (15) (уменьшением \underline{d}_j и увеличением \bar{d}_j) создают условия для перераспределения финансирования между проектами одинаковой направленности в пользу более эффективных.

В модель вводятся технические условия. Объем финансирования для дискретных проектов выражается целым числом, отсюда

$$x_{j\tau} - \text{целые}, \quad \tau \in \Lambda(j), \quad j \in J_1. \quad (18)$$

В частном случае, если проект j может осуществляться только в неизменном виде либо от его реализации отказываются, для такого проекта $x_{j\tau} \in \{0, 1\}$.

ДОПОЛНЕНИЯ К МОДЕЛИ И ВОПРОСЫ ЕЕ ЧИСЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Остановимся на некоторых особенностях полученной модели (1)–(18). Рассмотрим случай, когда у непрерывного проекта нижняя граница интенсивности финансирования (\underline{d}_j) равна 0. В этом случае, если проект включается в программу, необходимо избежать ситуации, когда ему выделяется слишком маленькая величина финансовых средств. Воспользуемся следующим приемом.

Обозначим через w_j минимальную интенсивность финансирования проекта j в случае включения его в программу. Тогда переменные $x_{j\tau}$ будут интерпретироваться как интенсивность фи-

нансирования проекта j , начинающегося в год τ , сверх минимальной. В свою очередь, общая интенсивность финансирования проекта j , начинающегося в период τ , будет определяться выражением

$$w_j z_{j\tau} + x_{j\tau} \quad \tau \in \Lambda(j), j \in J.$$

Соответственно, все выражения вида $c_{j\tau} x_{j\tau}$ преобразуются к виду $c_{j\tau} w_j z_{j\tau} + c_{j\tau} x_{j\tau}$.

Средства сверх минимального объема должны предоставляться только в том случае, если проекту был выделен этот минимальный объем, отсюда ограничение сверху на $x_{j\tau}$ преобразуется к виду

$$x_{j\tau} \leq (\bar{d}_j - w_j) z_{j\tau} \quad \tau \in \Lambda(j), j \in J.$$

С ограничением (6) оптимизационная задача, как правило, будет иметь неединственное решение. Это содержательно соответствует тому, что в некоторые периоды существует возможность финансировать ИП как за счет выделенных на программу средств, так и за счет реинвестирования прибыли. В этом случае можно наметить несколько подходов.

1. Если в полученном решении условие (6) оказалось неактивным, разность $b^0 - \sum_{t=1}^T y^{t*}$ (где y^{t*} – оптимальные значения y^t), исходя из экспертных оценок, распределяется между периодами. Увеличиваются значения переменных y^t и уменьшаются значения соответствующих v^t . Скорректированное таким образом решение окажется оптимальным, а структура программы и значения всех показателей останутся неизменными.

2. Решить задачу, заменив неравенство (6) на равенство. Если задача окажется совместной, найденное решение будет обеспечивать максимальное использование выделенных ИП финансовых средств. В противном случае следует действовать согласно пункту 3.

3. Ввести ограничение $\sum_{t=1}^T y^t \geq b^0 - \Delta b^0$, где Δb^0 – параметр, и найти минимальное значение этого параметра, при котором оптимизационная задача окажется совместной.

Если возникает потребность выполнить расчеты без учета реинвестиций, группа ограничений (2)–(6) заменяется на:

$$\sum_{j \in J} \sum_{\tau \in \Lambda(j)} a'_{j\tau} x_{j\tau} = y^t, \quad t = 1, \dots, T, \tag{19}$$

$$\underline{y}^t \leq y^t \leq \bar{y}^t, \quad t = 1, \dots, T, \tag{20}$$

$$\sum_{t=1}^T y^t \leq b^0. \tag{21}$$

При этом если сумма верхних границ объемов финансирования по годам равна общему объему финансирования программы, т.е.

$$\sum_{t=1}^T \bar{y}^t = b^0, \tag{22}$$

то перераспределение финансовых средств между годами происходить не будет, и условия (19)–(21) можно переписать в виде

$$\sum_{j \in J} \sum_{\tau \in \Lambda(j)} a'_{j\tau} x_{j\tau} \leq \bar{y}^t, \quad t = 1, \dots, T. \tag{23}$$

Заметим, что при отказе от ограничений (5) или (20) в ситуации без реинвестирования получим оптимальное распределение выделяемого программе объема финансирования по периодам.

Покажем, как меняется модель в случае, когда возможно накопление прибыли на реинвестиции. Изменения касаются ограничений вида (4), которые преобразуются к виду

$$v^t \leq \alpha \sum_{\eta=1}^{t-1} \sum_{j \in J} \sum_{\substack{\tau \in \Lambda(j), \\ \tau < \eta}} p_{j\tau}^{\eta-1} x_{j\tau} - \sum_{\eta=2}^{t-1} v^{\eta}, \quad t = 2, \dots, T. \tag{24}$$

Отметим, что правая часть выражений (24) представляет собой разность между прибылью, которая может быть направлена на реинвестиции и на них фактически использованной к периоду t .

Полученная модель (1)–(18) и ее модификация с ограничением (24) являются многокритериальными задачами частично целочисленного линейного программирования.

Так как модель позволяет анализировать несколько (два или более) дробно-линейных критериев, для ее численной реализации был применен минимаксный метод. Данный метод многокритериальной оптимизации предложен и реализован в лаборатории ЦЭМИ, возглавляемой Е.Г. Гольштейном (Гольштейн, Борисова, Дубсон, 1990), для задачи с непрерывными переменными. Автор настоящей статьи распространил этот метод на задачи со смешанными переменными и создал соответствующую компьютерную программу. В отличие от указанной выше работы, где внутри минимаксного метода многократно возникает задача линейного программирования, нам приходится многократно решать задачу частично целочисленного линейного программирования. Программа вычислений по минимаксному алгоритму для задач со смешанными переменными разработана с использованием модуля, реализующего метод ветвей и границ, который создан в ЦЭМИ РАН У.Х. Малковым и, так же как и система ДИСАЗМ (Гольштейн, Борисова, Дубсон, 1990), допускает изменение весов показателей целевой функции для нахождения множества Парето-оптимальных решений. В работе (Татевосян, Писарева, Седова, 2011) приведены расчеты, которые демонстрируют, что изменение весовых коэффициентов целевых показателей позволяет формировать варианты структуры ИП, обладающие различными свойствами.

Компьютерная программа, в рамках которой реализована инструментальная поддержка приведенной модели, допускает изменение:

- состава проектов, предлагаемых к включению в программу;
- числа, состава и весовых коэффициентов целевых показателей;
- общего объема финансирования и границ распределения этого объема по годам;
- пороговых значений показателей;
- нижних и верхних границ объемов проектов;
- доли прибыли, направляемой на реинвестиции.

Изменение данных параметров модели позволяет генерировать множество вариантов структуры инвестиционной программы, которые характеризуются различными свойствами. Полученное множество вариантов служит информацией для принятия сбалансированного окончательного решения относительно состава, объемов проектов, времени начала их реализации, распределения финансирования программы по годам, доли прибыли, направляемой на реинвестиции, и т.п.

Предложенная модель может использоваться как для первичного отбора инвестиционных проектов в программу, так и для поиска резервов в уже составленной программе. В частности, возможно применение модели на последнем этапе в рамках четырехэтапной схемы разработки программы развития нефтегазохимического комплекса на перспективу, предложенной в работе (Брагинский, 2012).

Последние расчеты, иллюстрирующие возможности предлагаемой модели, были выполнены на материалах “Стратегии развития химической и нефтехимической промышленности России на период до 2015 г.” и “Плана развития нефтехимии (включая газохимию) на период до 2030 г.”.

РАСЧЕТ ВАРИАНТОВ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В приводимом примере формирования вариантов структуры ИП периодом расчета принят 1 год. Горизонт программы равен 20 годам: с 2011 по 2030 г.

В обоих документах всего представлены 82 проекта (мы ввели сквозную нумерацию этих проектов), из которых отобраны 22. По этим проектам экспертным путем удалось получить информацию, необходимую для расчета по модели. Состав и процесс подготовки исходной информации подробно описаны в работе (Брагинский, Татевосян и др., 2014).

Таблица 1. Исходные данные

№ проекта	Год начала инвестирования	Последний год инвестирования	Объем финансирования, млрд руб.	Доля проекта в финансировании программы, %	Суммарная дисконтированная прибыль, млрд руб.	Доля дисконтированной прибыли проекта в программе, %	Рентабельность инвестиций		Годовой объем ПП при выходе на ПМ, млрд руб.
							%	Ранг	
1	2014	2016	12,00	0,84	4,04	2,61	70,13	9	10,00
2	2019	2022	65,00	4,55	13,52	8,73	92,04	4	58,00
2a	2019	2022	35,00		6,53		82,51	6	28,00
3	2016	2020	100,00	7,01	0,00	0,00			0,00
3a	2016	2018	100,00		0,00	0,00			0,00
4	2011	2013	3,80	0,27	1,92	1,24	66,46	10	5,20
5	2013	2015	5,90	0,41	7,10	4,58	212,38	1	11,20
6	2020	2023	18,60	1,30	1,33	0,86	34,85	19	8,50
7	2015	2017	6,00	0,42	2,06	1,33	80,08	7	6,00
8	2018	2023	97,00	6,80	10,58	6,83	50,16	14	48,60
9	2016	2023	78,50	5,50	9,59	6,19	44,15	16	31,20
10	2014	2017	40,00	2,80	9,74	6,29	51,38	13	24,00
11	2013	2015	45,00	3,15	15,78	10,19	61,89	11	20,00
12	2015	2018	20,00	1,40	0,00	0,00			0,00
13	2016	2025	145,00	10,16	17,43	11,25	49,66	15	68,00
13a	2016	2022	70,00		8,47		41,51	17	32,00
14	2012	2020	142,60	9,99	23,32	15,06	39,81	18	40,00
15	2022	2025	20,00	1,40	1,89	1,22	60,69	12	20,00
16	2021	2030	186,40	13,06	0,00	0,00			74,80
17	2023	2030	201,70	14,13	1,98	1,28	10,05	24	74,40
17a	2024	2027	18,00		0,40		19,91	22	14,90
18	2013	2015	42,00	2,94	7,57	4,89	31,83	20	16,00
23	2011	2013	4,50	0,32	4,16	2,69	121,84	3	4,00
27	2012	2017	7,50	0,53	5,94	3,84	154,66	2	4,00
81	2012	2015	24,00	1,68	13,19	8,52	88,75	5	16,00
81a	2012	2015	14,00		6,60		76,08	8	8,00
82	2026	2030	162,00	11,35	3,73	2,41	28,50	21	80,00
82a	2026	2030	90,00		1,40		19,24	23	40,00

Указанные 22 проекта в неизменном виде образовали исходный вариант программы. Для исходного варианта путем прямого суммирования по проектам были определены объемы финансирования программы в каждом году ее горизонта. Эти объемы в дальнейших расчетах были приняты в качестве основы для ограничений на величины вложений по годам \underline{y}^t и \overline{y}^t в (5). (При этом \underline{y}^t и \overline{y}^t сформированы по правилу: $\underline{y}^t = 0$; \overline{y}^t в первые 8 лет заданы равными объему финансирования исходного варианта программы в соответствующий год, а в последующие годы ука-

Таблица 2. Границы переноса сроков начала реализации проектов

№ проекта	Исходный год начала проекта	Границы переноса сроков начала проектов		№ проекта	Исходный год начала проекта	Границы переноса сроков начала проектов	
		Вариант 1	Вариант 2			Вариант 1	Вариант 2
1	2014	2013–2016 (–1 / +2)	2011–2021 (–3 / +7)	13	2016	2014–2016 (–2)	2012–2021 (–4 / +5)
2	2019	2019–2022 (+2)	2014–2024 (–5 / +5)	13a	2016	2014–2016 (–2)	2012–2022 (–4 / +6)
2a	2019		2014–2024 (–5 / +5)	14	2012	2012–2014 (+2)	2012–2021 (+9)
3	2016		2011–2021 (–5 / +5)	15	2022	2016–2022 (–6)	2017–2027 (–5 / +5)
3a	2016		2011–2021 (–5 / +5)	16	2021	2019–2021 (–3)	2011–2021 (–10)
4	2011	2011–2013 (+2)	2011–2021 (+10)	17	2023	2018–2023 (–5)	2013–2023 (–10)
5	2013	2013–2015 (+2)	2013–2023 (+10)	17a	2024		2017–2027 (–7 / +3)
6	2020	2018–2020 (–2)	2015–2025 (–5 / +5)	18	2013	2011–2013 (–2)	2011–2021 (–2 / +8)
7	2015	2013–2015 (–2)	2011–2021 (–4 / +6)	23	2011		
8	2018	2016–2020 (–2 / +2)	2013–2023 (–5 / +5)	27	2012	2012–2014 (+2)	2012–2014 (+2)
9	2016	2014–2018 (–2 / +2)	2011–2021 (–5 / +5)	81	2012		2011–2021 (–1 / +9)
10	2014	2014–2016 (+2)	2011–2021 (–3 / +7)	81a	2012		2011–2021 (–1 / +9)
11	2013	2012–2015 (–1 / +2)	2011–2021 (–2 / +8)	82	2026	2020–2026 (–6)	2016–2026 (–10)
12	2015	2013–2015 (–2)	2011–2020 (–4 / +5)	82a	2026		2016–2026 (–10)

Примечание. В таблице в круглых скобках указано максимальное число периодов (лет), на которые может быть перенесен запуск проекта назад (–) и вперед (+) относительно исходного.

званная величина увеличивалась на 1 млрд руб. Другими словами, введена возможность небольшого перераспределения финансирования к концу программы.)

Была поставлена задача: в условиях описанных ограничений получить различные варианты программы.

Расчеты проводились по критерию максимизации суммарной дисконтированной прибыли от реализации проектов, составляющих программу. Для всех проектов базовым периодом для дисконтирования является первый период программы. Поэтому проекту, в случае его более раннего начала, соответствует большая суммарная дисконтированная прибыль.

Все проекты рассматриваемой инвестиционной программы, кроме двух (23 и 27), не могут менять свои объемы. Проект № 23 может увеличиться до 3 раз, а № 27 – до 4 раз (отметим, что объемы этих проектов очень малы). Эти проекты являются непрерывными. Возможность выбора объема еще 6 проектов реализовалась через введение так называемых альтернативных проектов. Альтернативный проект отличается от соответствующего основного величиной требуемого финансирования, его распределением по годам реализации, временными границами возможного начала осуществления проекта. Шести альтернативным проектам был поставлен в соответствие номер основного проекта с буквой “а”. Исходные данные по полученным 28 проектам приведены в табл. 1. В этой таблице по основным проектам указаны их доли в общем объеме финансирования программы. Заметим, что все альтернативные проекты требуют меньшего объема финансирования, чем соответствующие основные.

В табл. 1 и во всех следующих таблицах используют обозначения: ПП – промышленное производство, ПМ – проектная мощность.

По условию задачи все проекты, не имеющие альтернативных, должны быть обязательно включены в программу, и выбор заключается в определении оптимальных сроков их начала. От каждой из оставшихся шести пар проектов в программу должен войти один из проектов – либо основной, либо альтернативный. Помимо выбора одного проекта из пары здесь также определяется период, в котором начнется реализация проекта.

Экспертно были заданы границы возможного переноса времени начала реализации проектов. Рассмотрены 2 варианта указанных границ (табл. 2).

В статье приведены три расчета, результаты которых сведены в табл. 3–6. Отметим, что в табл. 3–5 отражены только изменения, произошедшие в программе, по сравнению с ее исходным вариантом. Полные таблицы представлены в работе (Брагинский, Татевосян и др., 2014).

Первый расчет был проведен в условиях первого варианта границ переноса начала проектов. В результате целевой показатель практически остался неизменным (увеличился меньше чем на 1% (табл. 6)), но в структуре программы произошел ряд изменений. Выяснилось, что целесообразно один крупный проект (№ 17) заменить альтернативным проектом существенно меньшего объема. За счет этого и начала проекта № 8 на год позже, чем в исходном варианте программы, появилась возможность два средних (№ 6 и 15) и один крупный проект (№ 82) сдвинуть к началу инвестиционной программы (табл. 3). В полученном варианте программы почти 13% выделенных программе финансовых ресурсов оказываются неиспользованными. Высвободившиеся средства остались невостребованными из-за отсутствия проектов, которые могут значительно увеличиться, а также жесткого ограничения на возможность переноса начала проектов и перераспределение финансирования по годам. Неизменность целевого показателя можно объяснить

Таблица 3. Изменения в структуре программы, полученные в результате расчета 1

№ проекта	Год начала инвестирования	Изменение года начала инвестирования	Объем финансирования, млрд руб.	Доля проекта в финансировании программы, %	Суммарная дисконтированная прибыль, млрд руб.	Доля дисконтированной прибыли проекта в программе, %	Рентабельность инвестиций		Годовой объем ПП при выходе на ПМ, млрд руб.
							%	Ранг	
6	2018	-2	18,60	1,50	1,98	1,28	39,28	17	8,50
8	2019	1	97,00	7,80	8,55	5,52	46,64	13	48,60
1	2021	-1	20,00	1,61	2,42	1,56	67,50	8	20,00
17									
17a	2024		18,00	1,45	0,40	0,26	19,91	19	14,90
82	2025	-1	162,00	13,02	6,24	4,03	41,50	15	80,00

следующим. Проекты с высокой рентабельностью могут быть перенесены только на более поздние сроки. Кроме того, для данного варианта программы характерно уменьшение суммарного годового объема производства при выходе на проектную мощность (из-за замены проекта № 17 альтернативным) и увеличение рентабельности инвестиций в целом по программе на 2 процентных пункта.

Во втором расчете была разрешена бóльшая свобода маневра сроками начала проектов (см. табл. 2, вариант 2). Изменения сроков начала строительства были увеличены до 10 лет вперед и назад. В результате этого расчета произошли значительные изменения в структуре программы: два крупных проекта были заменены на альтернативные меньших размеров; четыре проекта сдвинулись к началу, а двенадцать – к концу программы. Вследствие этих изменений, хотя объем производства по сравнению с первым расчетом уменьшился за счет замены еще одного проекта (№ 13) на меньший по объему альтернативный проект, целевой показатель (дисконтированная прибыль) вырос более чем на 30% (табл. 6). Такое увеличение произошло в основном за счет переноса второго по величине проекта (№ 82) к началу программы, остальные переносы практически компенсировали друг друга по величине дисконтированной прибыли. В этом варианте программы еще больше сократился объем израсходованных финансовых средств, что с одновременным увеличением дисконтированной прибыли привело к резкому росту рентабельности инвестиций в целом по программе.

Таблица 4. Изменения в структуре программы, полученные в результате расчета 2

№ проекта	Год начала инвестирования	Изменение года начала инвестирования	Объем финансирования, млрд руб.	Доля проекта в финансировании программы, %	Суммарная дисконтированная прибыль, млрд руб.	Доля дисконтированной прибыли проекта в программе, %	Рентабельность инвестиций		Годовой объем ПП при выходе на ПМ, млрд руб.
							%	Ранг	
2	2014	-5	65,00	5,48	33,16	16,35	112,26	4	58,00
3	2018	2	100,00	8,44	0,00	0,00	0,00		0,00
4	2012	1	3,80	0,32	1,64	0,81	65,36	9	5,20
5	2014	1	5,90	0,50	6,05	2,98	208,28	1	11,20
6	2025	5	18,60	1,57	0,31	0,15	16,47	18	8,50
7	2020	5	6,00	0,51	0,84	0,41	65,65	8	6,00
8	2013	-5	97,00	8,18	26,28	12,96	61,96	10	48,60
9	2017	1	78,50	6,62	7,84	3,87	41,52	14	31,20
10	2012	-2	40,00	3,37	13,51	6,66	53,89	13	24,00
12	2019	4	20,00	1,69	0,00	0,00	0,00		0,00
13				0,00		0,00			
13a	2019	4	70,00	5,91	3,45	1,70	29,54	15	32,00
14	2020	8	142,60	12,03	4,33	2,14	22,63	17	40,00
17				0,00		0,00			
17a	2025	1	18,00	1,52	0,23	0,11	13,11	19	14,90
18	2019	6	42,00	3,54	2,72	1,34	26,44	16	16,00
23	2011		9,27	0,78	8,57	4,23	121,84	3	8,24
27	2013	1	19,275	1,63	13,03	6,43	151,80	2	10,28
82	2017	-9	162,00	13,67	45,93	22,65	99,86	5	80,00

Таблица 5. Изменения в структуре программы, полученные в результате расчета 3

№ проекта	Год начала инвестирования	Изменение года начала инвестирования	Объем финансирования, млрд руб.	Доля проекта в финансировании программы, %	Суммарная дисконтированная прибыль, млрд руб.	Доля дисконтированной прибыли проекта в программе, %	Рентабельность инвестиций		Годовой объем ПП при выходе на ПМ, млрд руб.
							%	Ранг	
1	2013	-1	12,00	0,83	4,73	1,95	71,51	9	10,00
2	2014	-5	65,00	4,49	33,16	13,64	112,26	4	58,00
3	2021	5	100,00	6,92	0,00	0,00	0,00		0,00
4	2012	1	3,80	0,26	1,64	0,67	65,36	10	5,20
5	2014	1	5,90	0,41	6,05	2,49	208,28	1	11,20
6	2019	-1	18,60	1,29	1,63	0,67	37,22	16	8,50
7	2013	-2	6,00	0,41	2,84	1,17	83,55	7	6,00
8	2017	-1	97,00	6,71	12,91	5,31	53,22	13	48,60
9	2017	1	78,50	5,43	7,84	3,23	41,52	15	31,20
10	2012	-2	40,00	2,77	13,51	5,56	53,89	12	24,00
14	2014	2	142,60	9,86	16,45	6,77	37,11	17	40,00
15	2018	-4	20,00	1,38	4,53	1,86	83,05	8	20,00
16	2020	-1	186,40	12,89	0,00	0,00	0,00		74,80
17	2018	-5	201,70	13,95	8,58	3,53	21,64	19	74,40
18	2019	6	42,00	2,90	2,72	1,12	26,44	18	16,00
23	2012		22,50	1,56	17,82	7,33	154,66	2	12,00
27	2011		8,136	0,56	7,49	3,08	121,84	3	7,20
82	2016	-10	162,00	11,20	54,77	22,53	103,56	5	80,00

Таблица 6. Основные показатели инвестиционной программы

Вариант	Объем вложений, млрд руб.	% к исходному варианту	Дисконтированная прибыль, млрд руб.	% к исходному варианту	Рентабельность инвестиций, %	Годовой объем ПП при выходе на ПМ, млрд руб.
Исходный вариант	1427,50		154,87		42,99	619,90
Оптимизация 1	1243,80	87,13	154,95	100,05	45,12	560,00
Оптимизация 2	1185,35	83,04	202,79	130,94	60,56	534,52
Оптимизация 3 (реинвестиции)	1446,10	101,30	243,07	156,95	56,94	631,10

Третий расчет проводился при тех же условиях, что и предыдущий, но разрешалось реинвестировать прибыль от реализации проектов без ее накопления.

Главным результатом стало то, что реинвестирование прибыли позволило нарастить объем финансовых ресурсов с 2015 по 2025 г. программы и высвободить значительные бюджетные средства в 2026–2030 гг. При этом общий объем финансовых средств, вложенных в программу, увеличился очень незначительно (всего на 1%). Другими словами, произошло перераспределение инвестиций к началу программы.

В этом варианте программы суммарная дисконтированная прибыль от всех проектов выросла в полтора раза по сравнению с исходным вариантом и на 20% по сравнению с предыдущим вариантом. Годовой объем производства при выходе на проектную мощность по сравнению с исходным вариантом увеличился (за счет проектов № 23 и 27).

От каждой из 6 пар проектов в программу вошли основные проекты с большим объемом финансирования.

Значительно большее число проектов (9) удалось начать раньше, и значительно меньшее (6) – позже, чем в других вариантах программы.

В заключение отметим следующее. Расчеты показали, что приведенная модель позволяет учитывать разнообразные ситуации, возникающие при разработке крупномасштабной программы, тем самым исследовать ее инвестиционные возможности и предоставить для принятия решения множество вариантов ее структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахобадзе Т.Д.** (2010). Методы решения задач оптимизации инвестиционных программ в реальном секторе экономики. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. СПб.: Издательство СПбГУ.
- Брагинский О.Б.** (2012). Методология и практика разработки программ развития многоотраслевого комплекса (на примере нефтехимического комплекса) // *Журнал новой экономической ассоциации*. № 4(16). С. 127–146.
- Брагинский О.Б., Татевосян Г.М., Седова С.В., Писарева О.М., Куницына Н.Н.** (2013). Методология обоснования инвестиционных программ и их оптимизации при ограниченных финансовых ресурсах (на примере химического комплекса). Препринт # WP/2013/303. М.: ЦЭМИ РАН.
- Брагинский О.Б., Татевосян Г.М., Седова С.В.** (2014). Методология обоснования инвестиционных программ и их оптимизация при ограниченных финансовых ресурсах (на примере химического комплекса) // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 3. С. 130–151.
- Гольштейн Е.Г., Борисова Э.П., Дубсон М.С.** (1990): Диалоговая система многокритериальных задач // *Экономика и математические методы*. Т. 26. Вып. 4.
- Татевосян Г.М., Писарева О.М., Седова С.В., Тореев В.Б.** (2009). Методы обоснования инвестиционных программ (реальный сектор экономики). Препринт # WP/2009/260. М.: ЦЭМИ РАН.
- Татевосян Г.М., Писарева О.М., Седова С.В.** (2011). Оптимизация состава и параметров инвестиционных программ развития в условиях многокритериального выбора. В сб.: *“Теория и практика институциональных преобразований в России”*. Вып. 22. М.: ЦЭМИ РАН. С.146–154.
- Суровцев И.С., Баркалов С.А., Нильга О.С.** (2001). Механизм максимизации дохода инвестиционной программы строительного предприятия // *Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура*. Вып. 4(24). С. 251–259.
- Царев В.В.** (2004). Оценка экономической эффективности инвестиций. СПб.: Питер.

Поступила в редакцию

14.03.2014 г.

Model of Investment Programs Structure Formation

S.V. Sedova

The multicriteria optimizing model of formation of options of investment programs' structure is presented. In a model the possibility of choice of the amount of finance and time of the beginning of the projects applying for participation in the program in combination with reinvestment of the profit received during implementation of the projects started earlier is considered. The calculations illustrating a model potential on the example of petrochemical industry are given. Changes in parameters of a model allows to receive a set of options of program structure promotes the effective decision.

Keywords: optimizing model, investment program, project, efficiency.

JEL Classification: L52, C61, C88, C89.