

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИНВЕСТОРА

В статье рассматриваются математические модели, предназначенные для управления проектной деятельностью на всех стадиях с участием одной из главных заинтересованных сторон — инвестора проекта. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности деятельности инвестора, обеспечивает реализацию соответствующих компетенций и достижение поставленных целей при различных условиях осуществления проекта.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** стейкхолдер, математические модели управления проектом, компетенции управления проектом

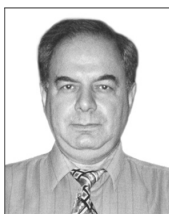
### ВВЕДЕНИЕ

В работе «Математические модели проектного управления для заинтересованных сторон» [3] была сделана попытка структурировать особенности основных заинтересованных сторон (стейкхолдеров) и с их учетом построить математические модели проектного управления. Примеры таких моделей представлены для инвестора, заказчика, команды проекта, основных исполнителей, поставщиков и регулирующих органов.

Там же авторы отмечали, что выбор методов и средств управления проектами для каждой из заинтересованных сторон в значительной мере определяется тем, управление какой из заинтересованных сторон проекта рассматривается в конкретном случае и при каких условиях. Стейкхолдеры в проекте отличаются по ожиданиям, ролям, мере ответственности и действиям. Это вызвано наличием у них различных целей в проекте, разных критериев и оценки степени их достижения, ценностей и стратегий. Данные различия существенно влияют на постановку задач проекта, технологии их решения, инструменты,



**Воропаев Владимир Иванович** — д. т. н., основатель и почетный президент СОВНЕТ, академик РАЕН и МАИЭС, профессор кафедры управления проектами Международной академии бизнеса, первый международный ассессор IPMA. Автор свыше 250 научных работ. Удостоен в 2005 г. награды IPMA «За выдающийся вклад в развитие мирового УП» (г. Москва)



**Гельруд Яков Давидович** — профессор кафедры предпринимательства и менеджмента Южно-Уральского государственного университета, преподаватель ряда экономических и математических дисциплин. Принимал участие в создании и внедрении более 100 автоматизированных систем управления в различных отраслях промышленности. Автор большого числа публикаций, в том числе монографии «Управление проектами в условиях риска и неопределенности» (г. Челябинск)

ориентированные на их специфические потребности [10]. При моделировании деятельности отдельной заинтересованной стороны также возможны различные варианты постановки задач, связанные с условиями осуществления проекта. Кроме того, методы принятия оптимальных решений также обладают существенной многовариантностью.

В настоящей статье предлагаются математические модели, предназначенные для управления проектной деятельностью на всех стадиях, с участием одной из заинтересованных сторон — инвестора проекта. Для каждого предлагаемого варианта рассматриваются специфические условия, которым адекватна данная модель, при этом анализируются методы решения, которые также могут быть многовариантны. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности деятельности инвестора, обеспечивает реализацию его компетенций и достижение поставленных целей при различных условиях осуществления проекта.

## 1. КЛЮЧЕВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

### 1.1. Инвестор

Ключевые определения заинтересованных сторон содержатся в работе «Принципы инвестиций» [1] и приведены авторами в статье «Математические модели проектного управления для заинтересованных сторон» [3]. Остановимся подробнее на понятии «инвестор».

*Инвестор* — это лицо, вкладывающее собственные, заемные или иные привлеченные средства в проектную деятельность. Инвесторы осуществляют капитальные вложения на территории Российской Федерации в соответствии с законодательством страны (Федеральный закон от 25 февраля 1999 г. №39-ФЗ «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» и ГК РФ). Инвесторами могут быть физические и юридические

лица, создаваемые на основе договора о совместной деятельности и не имеющие статуса юридического лица объединения юридических лиц, государственные органы, органы местного самоуправления, а также иностранные субъекты предпринимательской деятельности. Инвестор самостоятельно определяет объемы, направления, размеры и эффективность инвестиций и по своему усмотрению привлекает на договорной основе физических лиц или юридические лица, необходимые ему для реализации инвестиций.

Важнейшая предпосылка финансового успеха инвестора — тщательный отбор проектов для инвестирования. По оценкам американской инвестиционно-консалтинговой компании *Vaganov International Group*, только одно из десяти бизнес-предложений получает финансирование. В силу малого числа отечественных инвесторов в России доля получающих инвестиции проектов еще меньше. Процедура анализа и отбора проектов может сильно варьироваться в зависимости от пристрастий и привычек конкретных инвесторов. Основными источниками информации о проектах становятся описания, включающие прогнозные значения прибыли (по годам, по векам) и возможные риски инвестора.

Каждый инвестор ставит перед собой цели, которых хочет добиться. В зависимости от целей он выбирает стратегию. Все инвестиции так или иначе направлены на получение прибыли с низкой степенью риска (чаще всего низкая степень риска не обеспечивает высокой прибыльности). Кроме того, инвестор стремится обеспечить высокую степень ликвидности вложений. Степень ликвидности зависит от того, как легко и быстро инвестор сможет найти покупателя на свою долю проекта (при желании досрочного расторжения договора с заказчиком).

### 1.2. Состав и содержание компетенций управления проектами

Компетенции управления проектами для заинтересованных сторон подразделяются на две группы:

■ *базовые компетенции* определяют единые для всех заинтересованных сторон требования к составу, содержанию и уровню способностей, знаний, навыков и личных качеств;

■ *специальные компетенции* определяют специфические для определенной заинтересованной стороны проекта требования к составу, содержанию и уровню способностей, знаний, навыков и личных качеств с учетом ее (стороны) роли, интересов и выполняемых функций [9].

Ниже приведен пример специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах выбранного нами стейкхолдера — инвестора.

*Ожидания* — возврат вложений с максимальной возможной прибылью.

*Видение проекта* — процесс движения денег, динамика в центрах затрат и доходов.

*Цель в проекте* — получение прибыли путем инвестирования проекта.

*Критерии* — максимизация прибыли, минимизация рисков, максимизация ликвидности.

*Ограничения* — объемы средств, сроки, кредитные ставки.

*Стратегия* — планирование, контроль, прогноз, регулирование денежных потоков в проекте.

*Основные риски* — невозврат кредитов, недополучение прибыли.

*Основные инструменты УП* — план по вехам, бизнес-план, бюджет, план финансирования, сводная отчетность.

Взаимосвязь математических моделей управления проектами со стороны инвестора с другими заинтересованными сторонами представлена на рисунке.

## 2. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТОМ ДЛЯ ЗАИНТЕРЕСОВАННОЙ СТОРОНЫ — ИНВЕСТОРА

В литературе достаточно подробно исследована проблема оптимального распределения средств между несколькими инвестиционными

предложениями — оптимизация инвестиционного портфеля [1, 6, 7, 10, 11]. Каждый из инвестиционных проектов с финансовой точки зрения описан как временной ряд чистых денежных потоков, связанных с проектом. Обычно, кроме того, каждый из инвестиционных проектов (инвестиционных замыслов) имеет время актуальности, т.е. его реализация может быть начата в определенном интервале времени (дат). Таким образом, с математической точки зрения задача оптимизации инвестиционного портфеля сводится, во-первых, к выбору подмножества проектов, подлежащих реализации, а во-вторых, к определению временного графика их осуществления. Основную проблему, которую необходимо решать при формировании инвестиционного портфеля, составляет распределение инвестором некоторой суммы денег по различным альтернативным вложениям, включая и доленое участие в инвестиционных проектах, так, чтобы наилучшим образом достичь своих целей.

В первую очередь инвестор стремится к получению максимальной прибыли от инвестированных средств. В то же время любое вложение капитала связано не только с ожиданием получения дохода, но и с постоянной опасностью проигрыша, а значит, в оптимизационных задачах по формированию инвестиционного портфеля необходимо учитывать и риски. Смысл портфеля — улучшить условия инвестирования, придав совокупности проектов такие инвестиционные характеристики, которые недостижимы с позиции отдельно взятого проекта и возможны только при их комбинации.

В настоящей работе мы рассматриваем проблему финансирования одного, но сложного проекта, представленного планом по вехам (пусковым комплексам). При этом возникают разные варианты реализации проекта, отличающиеся сроками ввода в эксплуатацию отдельных пусковых комплексов, объемами их финансирования (в заданных пределах), потоками прогнозируемой прибыли, оценками ликвидности проекта и степени риска недополучения прибыли. Методы

**Рисунок.** Схема взаимосвязей математических моделей управления проектами со стороны инвестора с другими заинтересованными сторонами



формирования временного ряда чистых денежных потоков для разных типов инвестиционных проектов различны, также различны и способы оценки рисков.

Риск, или вариация доходности, может быть рассчитан с помощью такого статистического показателя, как среднеквадратическое отклонение. При формировании инвестиционной стратегии будем рассматривать динамические прогнозы движения денежных и материальных потоков, бизнес-планы по вехам с конкретными оценками будущих денежных потоков. В данной статье примем эти

параметры заданными для каждого варианта реализации рассматриваемого проекта в планируемый интервал времени, причем для общности моделей будем считать их зависимыми от начального момента инвестиций. В дальнейшем изложении будем использовать как известные подходы к оптимизации инвестиционного портфеля, так и оригинальные модели применительно к сложному проекту, представленному совокупностью возможных вариантов его реализации.

Следует отметить, что исходный для рассматриваемых ниже моделей план по вехам формируется

командой проекта на основе анализа его стохастической сетевой модели. Также при расчете многих показателей проекта, входящих в ограничения представленных моделей, учитывается их стохастический характер.

## 2.1. Базовая математическая модель деятельности инвестора

Задаются следующие исходные данные:

$I_t^k$  — требуемый объем инвестиций в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$ ;

$V_t^k$  — прогноз прибыли от реализации  $k$ -го варианта проекта в период  $t$ ;

$B_t^{\max}(r)$  — максимально возможный объем кредитования в период  $t$  по ставке  $r$ ;

$B_t^\tau$  — план погашения в период  $t$  кредита (основного долга и процентов), взятого в период  $\tau$  в объеме  $B_\tau$ ;

$Q_t$  — собственные средства инвестора, которые он может вложить в проект в период  $t$ ;

$r_{\min}$  — минимально возможная ставка кредитования;

$d$  — ставка дисконтирования.

Чистый дисконтированный доход (NPV)  $k$ -го варианта проекта при объеме финансирования его собственными силами в объеме  $x_t^k$  будет вычисляться по формуле:

$$NPV^k = \sum_{t=1}^n \frac{V_t^k - x_t^k - \sum_{\tau=0}^{t-1} B_t^\tau}{(1+d)^{-t}}. \quad (1)$$

Вербальная постановка задачи: найти такие объемы финансирования проекта собственными силами и объемы кредитования по периодам, которые удовлетворяют ограничениям по необходимому объему инвестиций, по собственным средствам и по возможным объемам кредитования, максимизируя при этом чистый дисконтированный доход проекта.

Тогда математическая модель данной задачи будет выглядеть следующим образом: найти  $\{x_t^k\}$  — объемы финансирования проекта собственными силами,  $B_t(r)$  — объемы кредитования

в период  $t$  по ставке  $r$  и наиболее эффективный вариант  $k_3$ , при котором:

$$NPV^{k_3} = \max_k NPV^k, \quad (2)$$

$$I_t^k = x_t^k + B_t(r) \quad (3)$$

обеспечение необходимого объема инвестиций;

$$x_t^k \leq Q_t \quad (4)$$

ограничение по собственным средствам;

$$B_t(r) \leq B_t^{\max}(r) \quad (5)$$

ограничение по возможным объемам кредитования;

$r \geq r_{\min}$ .

Данная модель реализует многие компетенции, входящие в состав специфических характеристик управления проектами со стороны инвестора. Действительно, ожидания (возврат вложений с максимально возможной прибылью), цель в проекте (получение прибыли путем инвестирования) и критерии (максимизация прибыли) задаются целевой функцией (2), видение проекта (процесс движения денег, динамика в центрах затрат и доходов), ограничения (объемы средств, сроки, кредитные ставки), элементы стратегии (планирование и прогноз) учитываются в формулах (3)–(5).

Такие элементы стратегии, как контроль и регулирование, реализуются за счет получения данных о фактических объемах инвестирования (включая объемы кредитования), корректировки прогнозной информации и пересчета задачи по предложенной модели (при необходимости).

Риски невозврата кредитов и недополучения прибыли могут быть учтены в дополнительном ограничении:

$$V_t^k \geq V_t^{\min}, \quad (6)$$

где  $V_t^{\min}$  — минимально допустимый объем прибыли, гарантирующий возврат кредитов и получение минимально желаемой нормы прибыли.

Предложенная модель использует все основные инструменты УП, соответствующие данной

заинтересованной стороне: план по вехам, бизнес-план, бюджет, план финансирования. В процессе функционирования модели формируется сводная отчетность. Таким образом, использование данной модели обеспечивает реализацию всех основных функций управления проектом, что способствует повышению эффективности деятельности инвестора.

## 2.2. Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора с детерминированными объемами финансирования (минимизация риска и максимизация ожидаемой прибыли)

Пусть инвестор обладает финансовыми средствами в объеме  $Q = \sum_{t=0}^T Q^t$  на интервале  $[0, T]$ .

Эти финансовые средства он может использовать для вложения в один из вариантов проекта  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ), требующий финансирования в период  $t$  в объеме  $V_i^t$ . Пусть чистый дисконтированный доход варианта проекта  $i$  на начало периода  $t$  составляет  $NPV_i^t$ , а прогнозируемая оценка риска недополучения прибыли составляет  $r_i^t$ . Необходимо выбрать такой вариант реализации проекта и такие объемы инвестиций, которые обеспечили бы максимальную ожидаемую доходность для некоторого уровня риска или минимальный риск для некоторого значения ожидаемой доходности.

Проблема выбора варианта реализации проекта может быть сформулирована как следующая двухкритериальная задача целочисленного программирования с булевыми переменными. Найти:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если вкладываем в вариант проекта } i, \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (7)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n V_i^t \times x_i \leq Q^t, \forall t \in [0, T]. \quad (8)$$

Целевые функции:

1) максимизация ожидаемой доходности:

$$F_1 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{i=1}^n x_i \times NPV_i^t \right) (1+d)^{-t} \rightarrow \max; \quad (9)$$

2) минимизация риска:

$$F_2 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{i=1}^n x_i \times r_i^t \right) (1+d)^{-t} \rightarrow \min. \quad (10)$$

Оценку риска  $r_i^t$  рассматриваем как среднеквадратичное отклонение ожидаемого чистого дисконтированного дохода инвестиции  $i$ , начатой в период  $t$  в объеме  $V_i^t$ , от всех возможных реализаций данного проекта, начатых в тот же период. Эти оценки имеют ту же размерность, что и  $V_i^t$  и  $NPV_i^t$ . Коэффициент дисконтирования  $d$  принимаем как минимально желаемый уровень доходности наших инвестиций. Поскольку в дальнейшем не будет производиться какой-либо свертки критериев, а будет использован метод последовательных уступок, то коэффициент дисконтирования  $d$  может быть применен и для второй целевой функции в качестве меры эквивалентности значений для среднеквадратичного отклонения доходности разных временных периодов.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод последовательных уступок, заключающийся в следующем: на первом этапе решаем задачу (7)–(9) без учета второго критерия (10). Получаем решение  $\{x_i(1)\}$  со значением первой целевой функции  $F_1^1$ . Вычисляем значение второго критерия  $F_2^1$  при данном решении. Делаем уступку по первому критерию (например, в размере 5%) —  $F_1^2 = 0,95 F_1^1$  и переводим первый критерий в ограничение:

$$\sum_{t=0}^T \left( \sum_{i=1}^n x_i \times NPV_i^t \right) (1+d)^{-t} \geq F_1^2. \quad (11)$$

Затем решаем исходную задачу (7)–(9) с дополнительным ограничением (11), минимизируя вторую целевую функцию (10). Получаем новое решение  $\{x_i(2)\}$  со значением первой целевой функции  $F_1^2 \leq F_1^1$  и второго критерия  $F_2^2 \geq F_2^1$ . Продолжаем этот пошаговый процесс, получая последовательно решения  $\{x_i(1)\}, \{x_i(2)\}, \dots, \{x_i(k)\}$  с соответствующими значениями критериев.

Любое из полученных решений является Парето-оптимальным и может быть принято к реализации. При этом мы получаем упорядоченную последовательность вариантов проекта — при убывающей прибыльности убывает и риск ее недополучения. Полученные варианты наглядно демонстрируют взаимосвязь между прибыльностью и риском и позволяют принять осознанный вариант проекта.

В предложенной выше постановке выбор варианта проекта позволяет однозначно определить объем инвестиций в него по годам —  $V_i^t$ .

### 2.3. Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора с переменными объемами финансирования

Усложним задачу, допустив, что объемы инвестиций в проекты  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) в период  $t$  могут варьироваться в пределах от  $V_{i\min}^t$  до  $V_{i\max}^t$ . При этом чистый дисконтированный доход варианта проекта  $i$  на начало периода  $t$  при минимальном и максимальном объеме инвестиций составляет соответственно  $NPV_{i\min}^t$  и  $NPV_{i\max}^t$ , а прогнозируемая оценка риска —  $r_{i\min}^t$  и  $r_{i\max}^t$ . Статистический анализ показывает, что чистый дисконтированный доход имеет постоянную эластичность при частично инвестируемом проекте, следовательно, он может быть описан степенной функцией  $X^\alpha$ , где  $X$  — объем инвестиций. Найдем  $\alpha$ .

Имеем  $NPV_{i\max}^t = NPV_{i\min}^t \left( \frac{V_{i\max}^t}{V_{i\min}^t} \right)^\alpha$ , откуда:

$$\alpha = \frac{\ln(NPV_{i\max}^t) - \ln(NPV_{i\min}^t)}{\ln(V_{i\max}^t) - \ln(V_{i\min}^t)}. \quad (12)$$

Прогнозируемая оценка риска выражается функцией  $X^\beta$ , где:

$$\beta = \frac{\ln(r_{i\max}^t) - \ln(r_{i\min}^t)}{\ln(V_{i\max}^t) - \ln(V_{i\min}^t)}. \quad (13)$$

Математическая модель выбора варианта проекта в этом случае примет следующий вид.

Найти:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если вкладываем в } i\text{-й вариант проекта,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$V_i^t$  — объемы инвестирования в  $i$ -й вариант проекта в период  $t$ .

При ограничениях:

$$V_{i\min}^t \leq V_i^t \leq V_{i\max}^t. \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n V_i^t \times x_i \leq Q^t, \forall t \in [0, T]. \quad (15)$$

Целевые функции:

1) максимизация ожидаемой доходности:

$$F_1 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{i=1}^n x_i \times (V_i^t)^\alpha \right) (1+d)^{-t} \rightarrow \max; \quad (16)$$

2) минимизация риска:

$$F_2 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{i=1}^n x_i \times (V_i^t)^\beta \right) (1+d)^{-t} \rightarrow \min, \quad (17)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  вычисляются по формулам (12) и (13).

Представленная модель позволяет находить объемы частичного инвестирования пусковых комплексов в допустимых пределах, при этом весь проект будет обладать максимальной доходностью при заданном (приемлемом) уровне риска.

### 2.4. Математическая модель деятельности инвестора, максимизирующая степень ликвидности проекта

Специфика проекта определяет зависимость степени ликвидности проекта от определяющих ее факторов. В данной модели в качестве таких факторов рассмотрим объемы финансирования отдельных этапов и проекта в целом, сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов.

Пусть  $F(K, T)$  — функция зависимости степени ликвидности проекта от вектора  $K$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектора  $T$  (сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов). Эта функция

определяется экспертно, чаще всего на дискретном наборе значений факторов  $P(K, T)$  (задаются наиболее возможные варианты плана финансирования проекта и его частей и соответствующие сроки реализации). Каждый из множества возможных (допустимых) вариантов плана реализации проекта  $p \in P(K, T)$  должен удовлетворять ограничениям модели.

Функция  $F(K, T)$  может носить весьма специфический характер в зависимости от типа проекта. В дальнейшем авторы планируют разработать методические рекомендации по формированию данной функции для проектов разного вида и сложности. Кроме того, необходимо учесть дополнительные временные ограничения, налагаемые на сроки выполнения отдельных комплексов работ.

Целевой функцией в данной модели является  $F(K, T)$ , т.е. необходимо максимизировать степень ликвидности проекта при соблюдении временных и ресурсных ограничений.

### 2.5. Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора

К модели, рассмотренной в предыдущем разделе, добавим целевые функции (16) и (17). Таким образом, формируется математическая модель задачи по выбору варианта финансирования проекта, удовлетворяющего временным и ресурсным ограничениям, при этом максимизирующего прибыльность, минимизирующего риски и имеющего максимальную степень ликвидности. Множество альтернатив  $P(K, T)$  формирует команда проекта [5], используя при этом стохастическую и альтернативную природу сетевой модели проекта, параллельно формируются и варианты планов обеспечения проекта необходимыми ресурсами и варианты планов налогообложения. Данные варианты планов при согласовании с поставщиком и заказчиком могут, в свою очередь, получать оценки степени ликвидности, связанные с возможностями поставщика и требованиями заказчика. В этих случаях целесообразно включать в модель и данные критерии отбора вариантов.

Возникает многокритериальная задача по выбору варианта реализации проекта. В общем виде задача не имеет решения, т.е. не существует плана реализации проекта, удовлетворяющего всем перечисленным критериям, но в теории и практике решения подобных задач имеются методологические подходы, обеспечивающие выбор приемлемых вариантов. Подробно они были рассмотрены в статье «Математические модели проектного управления для заказчика» [4].

### 3. ПРИНЦИПЫ ОТБОРА СТРАТЕГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Инвестиционный проект может заключаться в последовательном внедрении отдельных (пусковых) комплексов. Это может быть обусловлено, например, тем, что реконструкция предприятия должна осуществляться без остановки производства, а одновременное внедрение всех комплексов потребует его остановки. Кроме того, оно связано с большими единовременными затратами. При отсутствии такого количества средств необходим кредит, что потребует больших расходов по его обслуживанию. Зачастую последовательное внедрение комплексов также позволяет реинвестировать полученную прибыль для покрытия последующих затрат.

В связи с тем что пусковые комплексы существенно отличаются по величине затрат, результатов и эффективности, общая эффективность всей инвестиционной программы будет зависеть от той очередности их внедрения, которая будет принята, т.к. этот порядок определяет динамику инвестиционных затрат и результатов (притоков средств от операций). Тем самым может быть получен эффект от реинвестирования результатов внедрения в последующие комплексы. Кроме того, при привлечении заемных средств выбор последовательности пусковых комплексов повлияет на величину заимствования, сроки возмещения затрат по кредитам и величину затрат на



обслуживание кредита, поэтому возникает необходимость выбора оптимальной поэтапной последовательности пусковых комплексов и соответствующего этой последовательности плана финансового обеспечения и обслуживания долговых обязательств.

Для решения подобной задачи при условии, что комплексы независимы и могут внедряться в произвольном порядке, одним из авторов настоящей статьи был предложен метод ветвей и границ [2]. В настоящей статье предлагается алгоритм, основанный на минимизации чистого дисконтированного дохода.

Различные последовательности пусковых комплексов будем называть стратегиями. Пусть  $n$  — количество пусковых комплексов, тогда общее количество различных стратегий равно количеству перестановок из  $n$  элементов, т.е. равно  $n!$ . Например,  $10! = 3628800$ . Таким образом, перед нами стоит задача: выбрать из достаточно большого количества возможных стратегий такую, которая с учетом финансового обеспечения реализации проекта даст наилучшие показатели коммерческой эффективности.

В качестве критерия оценки эффективности проекта, состоящего из пусковых комплексов, возьмем чистый дисконтированный доход (ЧДД). Из множества всех стратегий рассмотрим некоторые варианты, «подозрительные» в плане возможности достижения наибольшей коммерческой эффективности (максимум ЧДД). Эти варианты будем называть *основными стратегиями*. Формула для вычисления ЧДД имеет вид:

$$\text{ЧДД} = R_{np} - K_{np} \quad (18)$$

где  $R_{np}$  — приведенный результат (приток от операции);

$K_{np}$  — приведенные затраты.

В формуле (18) для вычисления ЧДД две составляющие —  $R_{np}$  и  $K_{np}$ , поэтому в качестве первых основных стратегий возьмем такие, при которых первая составляющая  $R_{np}$  принимает максимальное значение, а вторая составляющая  $K_{np}$  — минимальное.

**Лемма 1.** Если расположить пусковые комплексы в порядке возрастания затрат, то  $K_{np}$  принимает минимальное значение, иначе говоря, чем ближе более дорогие комплексы к получению результата, тем меньше будут приведенные затраты.

**Лемма 2.** Если расположить пусковые комплексы в порядке убывания результатов, то  $R_{np}$  достигает максимального значения.

В качестве третьей основной стратегии возьмем вариант расположения комплексов в порядке убывания текущей нормы доходности каждого комплекса.

Для формирования следующего варианта основной стратегии введем понятие локального чистого дисконтированного дохода (ЛЧДД). Присвоим каждому комплексу индекс  $j$ . Под ЛЧДД будем понимать чистый дисконтированный доход, относящийся к каждому отдельному комплексу, при котором результаты и затраты приведены к началу внедрения этого комплекса. Поскольку комплексы выполняются последовательно, то  $j$ -й комплекс может занимать  $i$ -й порядковый номер в очереди, т.е. выполняться в  $i$ -й временной интервал.

Под общим чистым дисконтированным доходом (ОЧДД) будем понимать ЧДД от осуществления всех комплексов, включенных в инвестиционную программу в определенной последовательности. Имеем:

$$\text{ОЧДД} = \sum_{i=1}^n \text{ЛЧДД}_i^j \times \alpha_{i-1}, \quad (19)$$

где  $j$  — индекс ЛЧДД;

$i$  — порядковый номер комплекса в очереди;

$\alpha_i$  — коэффициент дисконтирования  $i$ -го интервала ( $\alpha_0 = 1 > \alpha_{1...} > \alpha_i > \alpha_{i+1...}$ ).

**Лемма 3.** Максимальное значение ОЧДД достигается при очередности комплексов, расположенных по убыванию ЛЧДД.

**Доказательство.** Пусть максимальное значение ОЧДД достигается при очередности комплексов, в которой хотя бы два значения —  $\text{ЛЧДД}_i$  и  $\text{ЛЧДД}_k$  — расположены не по убыванию, т.е.  $\text{ЛЧДД}_i < \text{ЛЧДД}_k$  при  $i < k$ . Все значения в формуле (19) положительны,

поэтому, переставляя местами  $ЛЧДД_1$  и  $ЛЧДД_k$ , получим значение суммы (19) больше предыдущего, что противоречит допущению. Лемма доказана, аналогично доказываются лемма 1 и лемма 2.

Таким образом, мы выделили следующие четыре основные стратегии (очередности) внедрения пусковых комплексов:

- 1) по возрастанию затрат  $K_{np}$ , т.е.  $K_1 < K_2 < \dots < K_n$ ;
- 2) по убыванию результатов  $R_{np}$ , т.е.  $R_1 > R_2 > \dots > R_n$ ;
- 3) по убыванию текущей нормы доходности  $D$ , т.е.  $D_1 > D_2 > \dots > D_n$ ;
- 4) по убыванию ЛЧДД, т.е.  $ЛЧДД_1 > ЛЧДД_2 > \dots > ЛЧДД_n$ .

В качестве эффективного критерия выбора стратегии рекомендуется применять максимизацию

ОЧДД, т.е. четвертую стратегию, но при условии, что стоимость привлекаемого капитала не будет превышать барьерной нормы. Поскольку для реализации проекта может потребоваться привлечение заемного капитала по стоимости выше этой нормы, то окончательный выбор стратегии следует производить после разработки финансового обеспечения каждой из стратегий с учетом затрат на обслуживание долговых обязательств.

Проиллюстрируем высказанные соображения на небольшом примере. Пусть инвестиционный проект включает в себя 10 пусковых комплексов, их ранжирование по описанным выше основным стратегиям представлено в табл. 1. Результаты всех расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 1. Ранжирование пусковых комплексов

Номер комплекса	Принцип ранжирования			
	По возрастанию затрат (стратегия 1)	По убыванию результатов (стратегия 2)	По убыванию доходности (стратегия 3)	По убыванию ЛЧДД (стратегия 4)
1	10	1	6	1
2	6	5	8	7
3	1	10	3	5
4	3	6	1	2
5	2	9	2	4
6	9	2	7	10
7	8	3	9	8
8	7	4	10	9
9	4	8	4	3
10	5	7	5	6

Источник: данные взяты из инвестиционного проекта по техническому перевооружению ОАО «Уралавтоприцеп».

Таблица 2. Значения ЧДД и ВНД для стратегий с учетом плана финансирования

Стратегии		ЧДД	ВНД
Стратегия 1	Без кредита	56574,7	Не существует
Стратегия 2	Сложные проценты	46066	43
	Простые проценты	38840,6	36
Стратегия 3	Без кредита	57675	47
Стратегия 4	Сложные проценты	53153	42
	Простые проценты	42394	38

В данном случае мы видим, что наилучшие показатели имеет стратегия 3, т.е. лучше обойтись собственными средствами.

## ВЫВОДЫ

Предложенные модели реализуют задачи математического программирования с линейными и нелинейными ограничениями и целевыми функциями. В настоящее время существует широкий спектр программных средств для решения подобных задач, достаточно указать входящий в Excel пакет Solver.

В статье были рассмотрены новые научно-практические направления в организационном управлении вообще и в проектном управлении в частности. Проанализирована степень заинтересованности со стороны инвестора — участника проекта: каковы его ценности, интересы, место, роль и ответственность в проектной деятельности, как распределены между инвестором и другими заинтересованными сторонами деньги,

власть и другие ценности. Как правило, они часто пересекаются.

Авторами рассмотрен алгоритм выбора оптимальной поэтапной последовательности пусковых комплексов и соответствующего этой последовательности плана финансового обеспечения и обслуживания долговых обязательств. Решение этой задачи весьма актуально для сложных долгосрочных проектов.

Предложенные примеры постановки задач для инвестора могут служить основой разработки эффективно многовариантной системы УП. При этом приведенные выше математические модели позволяют реализовать многие компетенции инвестора в процессе выполнения проекта. Они могут уже сейчас служить методологической основой разработки прикладных пакетов программного обеспечения (автоматизированной системы) для решения инвестором задач управления проектом на всех стадиях его осуществления. Дальнейшее продвижение проектного управления и повышение его результативности требует более полного описания математических моделей других заинтересованных сторон.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боди З., Кейн А., Маркус А. Принципы инвестиций. — М.: Вильямс, 2002. — 984 с.
2. Воропаев В.И. Решение задачи очередности строительства объектов мелиоративного комплекса на основе матричной модели. Тезисы доклада совещания по применению методов и ЭВМ в мелиорации и водном хозяйстве, г. Ереван, ЦБНТИ Минмелиоводхоза СССР. — М., 1969.
3. Воропаев В.И., Гельруд Я.Д. Математические модели проектного управления для заинтересованных сторон // Управление проектами и программами. — 2012. — №4.
4. Воропаев В.И., Гельруд Я.Д. Математические модели проектного управления для заказчика // Управление проектами и программами. — 2013. — №1.
5. Воропаев В.И., Гельруд Я.Д. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами // Управление проектами и программами. — 2008. — №1–2.
6. Крянев А.В., Черный А.И. Численные решения оптимизационных задач для математических моделей теории инвестиций // Математическое моделирование. — 1996. — №8.
7. Мищенко А.В., Попов А.А. Некоторые подходы к оптимизации инвестиционного портфеля // Менеджмент в России и за рубежом. — 2002. — №2.
8. Система оптимизации фондового портфеля (Siemens Business Services Russia). — <http://sedok.narod.ru/siemens.html>.
9. Управление проектами: основы профессиональных знаний. Национальные требования к компетентности специалистов по управлению проектами. Версия 3.0. / Под науч. ред. В.И. Воропаева. — М.: Проектная ПРАКТИКА, 2010.
10. Ципес Г.Л., Товб А.С. Проекты и управление проектами в современной компании: Учебное пособие. — М.: Олимп-Бизнес, 2009.
11. Шарп У.Ф., Александер Г.Д., Бэйли Д.В. Инвестиции. — М.: Инфра-М, 1997.