



МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЁХФАЗНЫХ ДЕЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ¹

М.Ф.ТУБОЛЬЦЕВ
С.И.МАТОРИН
О.М.ТУБОЛЬЦЕВА

*Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет*

*e-mail: Tuboltsev@bsu.edu.ru
matorin@bsu.edu.ru*

Рассматривается процедура расчёта параметров трёхфазных финансовых операций с использованием методов искусственного интеллекта. Финансовые операции указанного типа, несмотря на то, что часто встречаются на практике, являются слабо формализованными. Их изучение затруднено наличием как непрерывных, так и дискретных параметров.

Необходимость рассмотрения многофазных, и, в первую очередь, трёхфазных финансовых операций связана с потребностями разработки методов анализа инвестиционных проектов, схем ипотечного кредитования и синтеза новых финансовых инструментов. Поскольку в таких ситуациях классические математические методы расчёта не применимы, используются вычисления на основе процесса восстановления.

Ключевые слова: уровень внутренней доходности, финансовые операции, моделирование, метод восстановления, алгоритм отжига.

В настоящее время всё чаще возникает необходимость анализировать знакопеременные финансовые потоки CF (Cash Flow), в которых смена знака происходит не один раз, как в классических финансовых инструментах, а – многократно [1]. Наиболее простыми в теоретическом плане и востребованными на практике являются модели трёхфазных финансовых операций.

Следует отметить, что такие модели применимы и к производственным проектам, если абстрагироваться от самого производственного процесса, оставляя в поле зрения только финансовые результаты деятельности. На рис. 1 показан финансовый поток инвестиционного проекта, имеющего ликвидационную фазу (это может быть рекультивация земель при разработке полезных ископаемых карьерным способом, консервация скважин при окончании добычи нефти или газа, и т.д.):

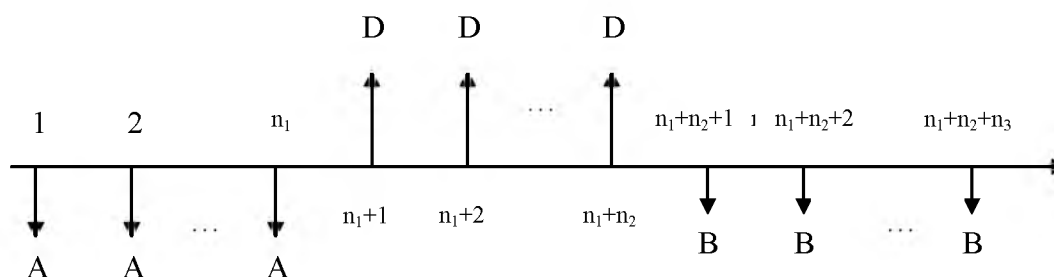


Рис. 1. Трёхфазный финансовый поток инвестиционного проекта

Раньше почти все инвестиционные проекты имели две фазы: 1) инвестирование, 2) извлечение прибыли, но сейчас, когда вопросам экологии уделяется значительное внимание, трёхфазные инвестиционные проекты перестали быть редкостью.

Следует отметить, что любые производственные проекты являются многофазными с большим числом фаз, если их рассматривать на уровне реально проводимых операций (так сказать, на микроуровне). Но, если результаты деятельности фиксировать на уровне балансов притока/оттока средств за определённые (достаточно большие) промежутки

¹ Исследования поддержаны грантом РФФИ 14-07-00149



времени, то абстракция трёхфазного финансового потока будет вполне адекватной реальности. Для упрощения модели (особенно в задачах прогнозирования) удобно считать затраты и доходы фаз постоянными, хотя, если этого требуют цели исследования, можно осуществлять более точную спецификацию задачи.

Таким образом, представление трёхфазных финансовых операций, представленное на рис. 1, можно считать базовым (каноническим), имея в виду очевидные возможности модификации. Для определённости, в каноническом представлении трёхфазных финансовых операций будем в качестве базового периода брать такой временной интервал, в котором характеристическая функция его финансового потока $\{(x_i, t_i)\}_{i=1}^N$ (здесь, как обычно, неявно предполагается, что $t_1 < t_2 < \dots < t_N$) имеет вид полинома от множителя дисконтирования:

$$\chi(V) = NPV(\{(x_i, t_i)\}_{i=1}^N, t_1, V^{-1} - 1) = \sum_{i=1}^N x_i V^{t_i - t_1}. \quad (1)$$

Математическая модель трёхфазных финансовых операций задаётся следующей системой уравнений [2], в которую входит характеристическая функция финансового потока и её первая производная, вычисленные в некоторой одной фиксированной точке $V \in (0, 1)$:

$$\begin{cases} \chi(V) = 0 \\ \chi'(V) = 0 \end{cases}. \quad (2)$$

Система (2) означает существование на интервале $(0, 1)$ единственного корня кратности 2 в точке $V \in (0, 1)$, а других корней на интервале $(0, 1)$ согласно теореме Декарта быть не может [3, с.109]. Тем самым обеспечивается возможность традиционной трактовки $r = V^{-1} - 1$ как уровня внутренней доходности финансового потока трёхфазной финансовой операции.

Для использования на практике нужно в систему (2) подставить явное выражение характеристической функции и её производной. После несложных алгебраических преобразований получим следующую систему из двух алгебраических уравнений с семью неизвестными:

$$\begin{cases} -A(1 - V_0^{n_1}) + DV_0^{n_1}(1 - V_0^{n_2}) - BV_0^{n_1+n_2}(1 - V_0^{n_3}) = 0 \\ A(n_1 V_0^{n_1-1}) + D(n_1 V_0^{n_1-1} - (n_1 + n_2)V_0^{n_1+n_2-1}) - \\ B((n_1 + n_2)V_0^{n_1+n_2-1} - (n_1 + n_2 + n_3)V_0^{n_1+n_2+n_3-1}) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

В системе алгебраических уравнений (3) неизвестные A, B, D, V_0 являются вещественными, а n_1, n_2, n_3 – натуральными числами. Поскольку в системе (3) только два уравнения, то любые 5 неизвестных могут быть заданы априорно (т.е. стать входными параметрами модели трёхфазной финансовой операции), а остальные 2 неизвестные (выходные параметры модели трёхфазной финансовой операции) будут определены из системы уравнений (3).

Несложные комбинаторные вычисления показывают, что всего можно поставить 42 задачи на расчёт параметров трёхфазной финансовой операции, но лишь небольшое их число представляет практический интерес. В контексте анализа инвестиционных процессов базовой можно считать задачу, в неформальной (содержательной) постановке имеющей следующую формулировку. Для заданного инвестиционного процесса (длительностью инвестиционной фазы n_1 и затратами за период A , длительностью ликвидационной фазы n_3 и затратами за период B) определить минимальные значения



длительности n_2 и текущих доходов D производственной фазы так, чтобы доходность инвестиционного процесса была не менее r_0 . Кроме данной задачи, можно указать и другие, имеющие практический интерес и формальную постановку в рамках трёхфазной модели.

Система уравнений (3) для сформулированной задачи может быть преобразована к виду:

$$\begin{cases} D(1 - V_0^{n_2}) - BV_0^{n_2}(1 - V_0^{n_3}) = A(V_0^{-n_1} - 1) \\ D(n_1 - (n_1 + n_2)V_0^{n_2}) - B((n_1 + n_2)V_0^{n_2} - (n_1 + n_2 + n_3)V_0^{n_2 + n_3}) = -n_1 A \end{cases} \quad (4)$$

где в правую часть уравнений перенесено слагаемое, не содержащее неизвестных D и n_2 .

Несмотря на относительно простой вид системы уравнений (4), её решение не является простой задачей, поскольку одна из неизвестных n_2 является дискретной. Вместе с тем, из практических соображений ясно, что решение должно существовать. Пусть $E(D, n_2) = f^2(D, n_2) + g^2(D, n_2)$ функция двух переменных, где f и g – невязки первого и второго уравнений системы (4). Очевидно, что $E(D, n_2) \geq 0$, причём $E(D, n_2) = 0$ тогда и только тогда, когда пара (D, n_2) является решением системы (4). Таким образом, решение системы (4) сводится к поиску минимума $E(D, n_2)$.

Поскольку строгие математические методы решения систем подобного типа отсутствуют, применим метод отжига для минимизации $E(D, n_2)$. Метод отжига представляет собой метод интеллектуального случайного поиска в фазовом пространстве задачи [4, с.25]. Метод отжига часто называют также симуляцией восстановления (Simulated annealing) поскольку этот метод интеллектуального поиска моделирует процесс восстановления кристаллической структуры при контролируемом охлаждении расплавленной субстанции. Свойства структуры зависят от того, насколько медленно охлаждалась структура, поскольку в этом случае образуются большие кристаллы.

Данная метафора помогает понять суть метода, который может быть разделён на пять этапов.

- Создание начального решения. Для большинства задач это делается случайным образом. В случае решения методом отжига системы (4), переменным D и n_2 присваиваются случайные значения из некоторого заранее заданного диапазона.

- Оценка текущего решения. Эффективность текущего решения оценивается на основе того, насколько успешно оно решает задачу. В случае решения методом отжига системы (4), оценка текущего решения осуществляется по величине $E(D, n_2)$.

- Модификация текущего решения. На основе текущего решения случайным образом создаётся рабочее решение. Способ модификации обычно учитывает специфику задачи. В случае решения методом отжига системы (4), рабочее решение выбирается случайно.

- Допуск или замена текущего решения рабочим. На этом этапе имеется два решения: текущее и рабочее. С каждым решением связана определённая энергия, характеризующая его эффективность. В случае решения методом отжига системы (4), энергия решения E равна $E(D, n_2)$. На основе сравнения энергий происходит копирование рабочего решения в текущее. Если энергия рабочего решения меньше (рабочее решение лучше), то копирование осуществляется обязательно. Если энергия рабочего решения больше (рабочее решение хуже), то копирование осуществляется с вероятностью $P = \exp(-d/T)$, $d = E_w - E_t$, где E_w – энергия рабочего решения, а E_t – текущего.

- Уменьшение температуры. Температура постепенно снижается до нуля, т.е. лучшие решения принимаются с вероятностью, приближающейся к единице.

Следует сразу обратить внимание на коренное отличие метода отжига от метода Монте-Карло: в последнем рабочее решение копируется в текущее решение только в том случае, если оно лучше (его энергия меньше). В методе отжига на начальных итерациях худшие по эффективности рабочие решения принимаются в качестве текущих часто, что обеспечивает широту поиска во всём фазовом пространстве задачи. По мере снижения



температуры частота принятия худшего решения падает, и алгоритм поиска становится всё более локальным, обеспечивая более точный поиск минимума.

Термин «Температура» не следует понимать буквально; это отражение метафоры, призванное напоминать о сути метода. На практике – это некоторый параметр, с помощью которого осуществляется управление алгоритмом. Метод отжига широко применяется при поиске минимума разрывных или только непрерывных функций, а также в таких областях как: создание пути, реконструкция изображения, назначение задач и планирование, размещение сети, глобальная маршрутизация, обнаружение и распознавание визуальных объектов, разработка специальных цифровых фильтров.

Поскольку метод отжига включает в себя случайный поиск, при его реализации потребляются значительные вычислительные ресурсы, и работа может быть продолжительной.

В качестве примера рассмотрим инвестиционный проект, имеющий три фазы. Длительность инвестиционной фазы составляет 1 год, инвестиции осуществляются траншами в 2 млн. руб. ($A=2$, $n_1=12$). Параметры ликвидационной фазы $B=1$, $n_3=6$. Требуется определить минимальные значения для длительности производственной фазы n_2 и размера текущих доходов так, чтобы общая доходность проекта составляла 30% годовых. На рис. 2 показано решение задачи, найденное методом отжига.

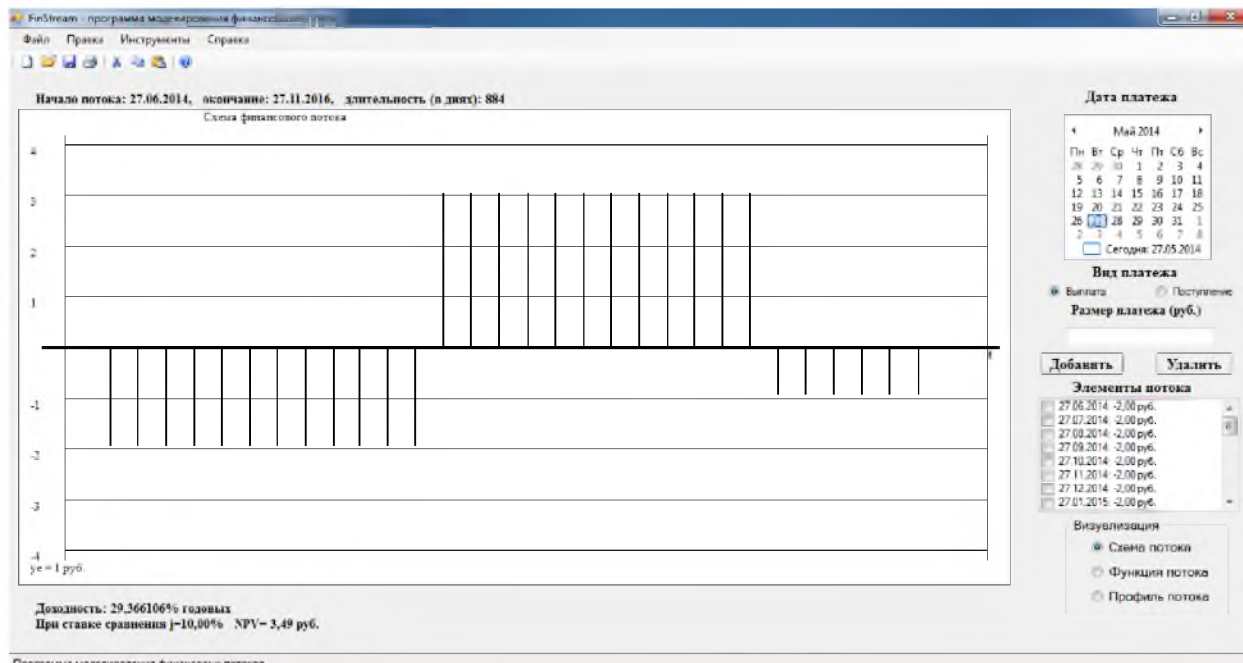


Рис. 2. Определение методом отжига параметров трёхфазного инвестиционного проекта

Непосредственно из рисунка видно, что для получения требуемого результата необходимо, чтобы текущие доходы составляли около 3 млн. руб. в течение 12 месяцев. Доходность, показанная на рисунке (29,366106%), рассчитана по текущему решению, которое является некоторым приближением к оптимальному, поэтому она отличается от заданной доходности равной в 30% годовых. Это связано с тем, что метод отжига требует существенных вычислительных ресурсов, поэтому точность вычислений была взята невысокой, чтобы длительность расчётов была приемлемой.

Полученный результат может интерпретироваться следующим образом. Для того, чтобы доходность данного трёхфазного инвестиционного проекта была не ниже 30% годовых, необходимо получать в течение не менее 12 месяцев доход не менее 3 млн. руб. Если и длительность доходной фазы и размер текущих доходов будет меньше, то и доходность проекта будет меньше тридцати процентов. В остальных случаях, т.е. когда текущий доход, например, ниже, но будет получен в течение нескольких лет, а не одного года, то вопрос о доходности остаётся открытым. В этом случае простого ответа нет,



поскольку первое из уравнений системы (2) либо имеет несколько корней на интервале $(0, 1)$, либо их нет вообще. Это как раз та проблема, которая, несмотря на все усилия, не решена вплоть до настоящего времени.

Несмотря на это, приведенный пример показывает, что методика расчёта параметров в базовой задаче инвестирования для трёхфазных проектов может быть решена с применением процесса восстановления даже без применения высокопроизводительной вычислительной техники.

Как отмечалось, возможны и другие интересные с практической точки зрения постановки задач вычисления параметров трёхфазных финансовых операций. Все они могут быть разделены на два класса. К первому классу отнесём задачи вычисления непрерывных параметров, во второй класс входят задачи, в которых хотя бы один из искомых параметров является дискретным. Задачи первого класса как правило имеют эффективные математические методы решения, задачи второго класса требуют применения новых методов искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Тубольцев М.Ф., Маторин С.И., Тубольцева О.М. Системный подход к построению комбинированных схем ипотечного кредитования // Труды ИСА РАН, 2012. т. 62, вып. 1, – С. 91-100.

2. Тубольцев М.Ф., Маторин С.И., Тубольцева О.М. Управление многофазовыми финансовыми потоками на основе математического моделирования финансовых операций // Научные ведомости Белгородского государственного университета, серия «История, Политология, Экономика, Информатика», №1 (172) 2014, выпуск 29/1.- Белгород: Изд-во НИУ БелГУ, 2014.- стр.135-141.

3. Винберг Э.Б. Курс алгебры. – М.: Факториал пресс, 2001. – 544 с.

4. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях/ М. Тим Джонс; Пер. с англ. Осипов А.И. –М.: ДМК Пресс, 2013. – 312с.: ил.

MODELING OF THREE-PHASE BUSINESS PROCESSES ON THE BASIS OF THE SIMULATED ANNEALING

M.F.TUBOLTSEV
S.I. MATORIN
O.M.TUBOLTSEVA

*Belgorod State National
Research University*

*e-mail:
Tuboltsev@bsu.edu.ru
matorin@bsu.edu.ru*

We consider the procedure of optimization phase of financial transactions using artificial intelligence techniques. Financial transactions of this type, despite the fact that frequently occur in practice, are weakly formalized. Their study is complicated by the presence of both continuous and discrete parameters.

The need to consider multi-phase, and, above all, three-phase financial transactions related to the needs of the development of methods of analysis of investment projects, schemes of mortgage lending and the synthesis of new financial instruments. Because in such situations classical mathematical optimization techniques are not applicable, use calculations on the basis of the recovery process.

Keywords: optimization, financial operations, simulation, recovery annealing algorithm.