Архипкина Анастасия Игоревна,
студентка магистратуры 2-го года обучения,
направление «Стратегический менеджмент в отраслях ТЭК»,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».
г. Самара, Россия

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Инвестиционная деятельность, в той или иной степени, присуща любому предприятию, поскольку она представляет собой один из наиболее важных аспектов его функционирования: как инвестиционные решения часто неразрывно связаны с остальными видами деятельности компаний. Помимо этого, инвестиции формируют перспективную организационную структуру компании и её инвестиционную культуру. Сложнейшая геополитическая мировая обстановка, направленная на изоляцию Российской Федерации в международном экономическом пространстве, приводит к необходимости квалифицированной оценки возможностей осуществлению инвестиционных проектов в условиях усиления факторов неопределенности и рисков. В связи с этим актуальность задач по повышению эффективности управленческих решений играет большую роль в обеспечении экономического роста в отраслях экономики России.

Применение метода динамического программирования может стать хорошим инструментом для поиска оптимального распределения инвестиций при отсутствии возможности реализации полного финансирования сформированного проекта.

Ключевые слова: метод динамического программирования, инвестиционный проект, распределение инвестиций, эффективное управление инвестициями, ограниченные денежные средства, инвестиции в нефтегазодобычу.

Anastasia I. Arkhipkina,
graduate student,
FSBEI HE «Samara State Technical University»,
Samara, Russia

DYNAMIC PROGRAMMING AS A TOOL TO SUPPORT DECISION-MAKING FOR THE INVESTMENT PROJECT PLANNING

Investment activity is inherent in any enterprise, as it is one of the most important aspects of its functioning, as investment decisions are often inextricably linked with the rest of the company's activities. In addition, investments form a promising organizational structure of the company and its investment culture. The most complicated geopolitical situation in the world, aimed at isolating the Russian Federation in the international economic space, leads to the need for a qualified assessment of the possibilities of implementing investment projects in the context of increasing uncertainty and risks. In this regard, the relevance of tasks to improve the efficiency of management decisions plays an important role in ensuring economic growth in the sectors of the Russian economy.

The use of dynamic programming method can be a good tool for finding the optimal distribution of investments in the absence of the possibility of full financing of the formed project.

***Keywords**:* dynamic programming method, investment project, investment distribution, effective investment management, limited funds, investments in oil and gas production.

Инвестиции занимают особое место в деятельности нефтегазодобывающих предприятия, так как они связаны со всеми стадиями добычи и переработки углеводородного сырья. В последние годы компании, функционирующие в сфере нефтегазодобычи, испытывают серьезные затруднения. Так, резкое падение цен на нефть свело практически к нулю прибыльность многих запланированных и даже некоторых действующих проектов компаний, занимающихся нефтегазодобычей. В настоящее время российские компании испытывают проблемы с доступом к внешнему финансированию: российское правительство будет поддерживать только наиболее стратегически значимые проекты, а в настоящее время санкции делают невозможными инвестиции со стороны европейских и американских фирм [1]. Также имеется затруднение привлечения банковских кредитов на поиск и разведку месторождений по причине высоких инвестиционных рисков, длительных сроков реализации проектов (20-30 лет), а также кризисных процессов в мировой экономике и снижения цен на мировом рынке нефти, газа и нефтепродуктов [2]. Поэтому, предприятиям часто приходится реализовывать проекты, имея ограниченные денежные средства на их реализацию. Тем самым возникает потребность в научно-методических материалах и практических рекомендациях по построению инвестиционной деятельности предприятий в условиях ограниченности финансовых ресурсов.

Использование динамического программирования как инструмента поддержки принятия решения по реализации инвестиционных проектов может помочь добиться данного результата.

Динамическое программирование – метод вычислений, который использует аппарат рекуррентных соотношений. Задачи, решаемые с помощью данного метода, содержат условия, изменяющиеся в зависимости от времени. Рекуррентные соотношения, которые применяются в динамическом программировании, моделируют многоэтапный процесс нахождения оптимального решения. Принцип оптимальности при этом состоит в том, что поиск оптимальной стратегии распределения происходит с учетом того, что каждое последующее решение должно приниматься, исходя из оптимальной стратегии с учетом состояния, вытекающего из первого решения.

Рассмотрим применение данного метода на примере планирования инвестиций в разработку нефтяных месторождений. Объектом управления инвестициями в данном случае будет выступать нефтегазодобывающее предприятие, обладающее к моменту начала горизонта планирования определенными ресурсами (производственные мощности, запасы сырья, материалов, персонал) и производящее добычу нефти.

Целью оптимального управления инвестициями в рассматриваемом проекте является нахождение такого распределения средств между имеющимися объектами инвестиций, чтобы выбранный критерий оптимальности достигал своего максимального значения. Имея информацию о том, какую финансовую выгоду можно получить от вложения той или иной суммы в каждый из объектов инвестирования, а также об имеющихся ресурсах предприятия, можно определить, какую максимальную выгоду предприятие сможет получить, оптимально распределив данные ресурсы по имеющимся объектам инвестирования.

В нашем случае рассматривается возможность инвестирования суммы S_R в i ($i=1,2,\ldots,\psi$) объектов (в нашем случае месторождений, групп месторождений). Проект рассчитан на период, равный Т годам. Таким образом, t = 0,1,2,…,T представляет собой конкретный момент времени (год) реализации проекта. Для каждого i-го объекта может иметься k ($1 \leq k \leq K$) взаимоисключающих вариантов вложения средств. Для нефтедобычи такими вариантами могут являться: применение различных методов и способов добычи нефти к одному месторождению; дифференциация по направлению развития; разная степень интенсификации добычи (разное количество нефтедобывающих установок); различные наборы месторождений в группе и т.д.

Объем средств выделяемых на освоение i-го месторождения будет равен S_i. Причем, общий объем средств, вложенных во все объекты от 1 до ψ ($S_1 + S_2 + \ldots S_i + \ldots + S_\psi$) не должен превышать начальную сумму инвестирования S_R. Таким образом, можно составить дискретную динамическую модель оптимального распределения инвестиций в общем виде:

$$\begin{cases} F\ (S_R) = V_i(B_i, S_i) \rightarrow Extr \\ \sum_{i=1}^{\psi} S_i \leq S_R \\ S_i \geq 0 \end{cases} \tag{1}$$

Результат функции $V_i(B_i,S_i)$ зависит от известного вектор состояния B_i и управления S_i. Известное состояние B_i представляет собой набор экзогенных показателей и определяется вектором детерминированных экзогенных неуправляемых параметров, представляющих исходные данные по проекту. Управление S_i представляет собой варьируемые в процессе решения поставленной задачи переменные (инвестиций по каждому варианту разработки месторождений). Здесь $i = 1, \ldots, \psi$ – число вариантов инвестирования.

В качестве результирующей функции $V_i(B_i,S_i)$ может быть построена математическая модель, которая характеризует интересующий нас процесс. Для рассматриваемого инвестиционного проекта в качестве результирующей функции было решено использовать модель расчета чистого приведенного дохода (NPV). Таким образом, в нашем случае функция будет стремиться к своему максимальному значению.

Модель максимизации финансового результата для описанной задачи выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} F(S_R) = max \sum_{i=1}^{\psi} f_i(S_i) \\ \sum_{i=1}^{\psi} S_i \leq S_R \\ S_i \geq 0 \end{cases}, \qquad (2)$$

где $f_i(S_i)$ – сумма дисконтированных финансовых потоков по каждому объекту инвестирования (месторождению), на разработку которых были выделены средства.

Таким образом, у нас получилась дискретная модель оптимального распределения инвестиций по объектам нефтегазодобычи. Опишем алгоритм решения данной задачи, состоящий из двух этапов: условной и безусловной оптимизации.

Пускай все рассматриваемые месторождения имеют порядковые номера от 1 до ψ. Тогда, i $(1,2,\ldots,i,\ldots,\psi)$ – порядковый номер месторождения. Для каждого i-го месторождения имеется набор из k вариантов затрат на его разработку $(1 \leq j \leq U)$.Тогда, x_{ij} – номер j-того варианта инвестирования для i-го месторождения. $S_i(x_{ij})$ – объем средств, вложенных по j-му варианту инвестирования для i-го месторождения.

Таким образом, решая задачу, нам необходимо получить для каждого i-го месторождения x_{ij} и соответствующее этому варианту значение $S_i(x_{ij})$, которые определяют наиболее эффективный вариант вложения имеющихся S_R денежных средств. При этом сумма $S_i(x_{ij})$ по всем месторождениям должна быть меньше S_R или равняться данному значению.

Опишем алгоритм решения модели (2.8), учитывая, что $S_i = S_i(x_{ij})$ – оптимальный вариант затрат по каждому месторождению, а $f_i(S_i) = f_i(S_i(x_{ij}))$

представляет выгоду, полученную с i-го месторождения при реализации оптимальных затрат.

Предполагается, что значения $f_i(S_i)$ для всех возможных значений их аргументов (значение NPV для каждого варианта инвестирования средств) заранее известны (рассчитаны).

Для решения используем метод, основанный на алгоритме Беллмана [3], так как его можно использовать для нахождения решения произвольных функций. Оптимизация методом динамического программирования производится поэтапно. Этапами оптимизации в данном случае является максимизация выгоды от инвестиций.

Первый этап – Условная оптимизация.

Обозначим через S_i^k сумму средств, выделенных на разработку месторождений от i-ого до ψ-ого при k-ом варианте распределения. При этом обозначим через ΔS_i сумму средств из общей суммы S_i^k, которую решено выделить на разработку самого i-го месторождения ($0 \le \Delta S_i \le S_i^k$).

Выделив величину ΔS_i и получив от i-ого месторождения $f_i(\Delta S_i)$ средств, мы должны распорядиться оставшимися средствами $S_{i+1}{}^k = S_i^k - \Delta S_i$ наивыгоднейшим образом и получить от объектов оставшихся объектов с порядковыми номерами i+1, i+2…, ψ максимальную финансовую выгоду $F_{i+1;\psi}(S_{i+1}{}^k) = max(f_{i+1;\psi}(S_i^k - \Delta S_i))$.

Величина ΔS_i может быть определена из условия максимизации суммы $F_i(\Delta S_i) + f_{i+1;\psi}(S_i^k - \Delta S_i)$. Таким образом, получаем уравнение Беллмана.

$$F_{i;\psi}\left(S_i^k\right) = \max\left(f_i(\Delta \mathrm{S_i}) + F_{i+1;\psi}\left(\mathrm{S_i^k} - \Delta \mathrm{S_i}\right)\right) \tag{3}$$

Нас интересует значение $F_{1;\psi}\left(S_1^k\right)$, но если начать с 1-ого шага, то необходимо знать $F_{2;\psi}\left(S_2^k\right)$. В свою очередь, при определении $F_{2;\psi}\left(S_2^k\right)$ нужно знать $F_{3;\psi}\left(S_3^k\right)$ и т.д. Однако имеется шаг, за которым нет последующих. Таким шагом является Ψ-ый шаг, на котором выделяются средства на разработку месторождения с порядковым номером Ψ. Поэтому, начнем процесс оптимизации с последнегоΨ-ого месторождения. На финансирование разработки данного месторождения должна быть израсходована вся оставшаяся сумма средств, т.е. $\Delta S_{\psi} = S_{\psi}{}^{k}$. Тогда, выгода от инвестирования $S_{\psi}{}^{k}$ средств в данное месторождение составит – $f_{\psi}(S_{\psi}{}^{k})$. Таким образом, оптимальное действие на ψ-ом этапе найдено: оно заключается в том, чтобы все оставшиеся средства вложить в разработку данного месторождения. Для ψ-ой подсистемы функциональное уравнение (2.9) будет иметь вид:

$$F_{\psi\psi}(S_{\psi}^{k}) = \max_{0 \le \Delta S_{\psi} \le S_{\psi}^{k}} \left(f_{\psi}(S_{\psi}^{k}) \right) \tag{4}$$

Далее можно оптимизировать инвестиции в месторождение $\psi-1$. Таким образом, если для вложений в два последних месторождений осталась сумма средств $S^{k}{}_{\psi\text{-}1}$, то условно-оптимальную сумму средств на разработку месторождения $\psi-1$ можно найти, решив следующее уравнение:

$$F_{\psi-1;\psi}(S_{\psi-1}^{k}) = \max_{0 \le \Delta S_{\psi-1} \le S_{\psi-1}^{k}} \left(f_{\psi-1}(\Delta S_{\psi-1}) + F_{\psi\psi}(S_{\psi-1}^{k} - \Delta S_{\psi-1}) \right) \tag{5}$$

Таким же способом определяем условно-оптимальные суммы, выделяемые на разработку всех прочих месторождений. Функциональное уравнение для i-го месторождения имеет вид:

$$F_{i;\psi}(S_{i}^{k}) = \max_{0 \le \Delta S_{i} \le S_{i}^{k}} \left(f_{i}(\Delta S_{i}) + F_{i+1;\psi}(S_{i}^{k} - \Delta S_{i}) \right) \tag{6}$$

Итак, для полученных функциональных уравнений необходимо выполнить исследование на максимум функции при одной переменной ΔS_{i}. Получим условное оптимальное управление ΔS_{i}^{*}, а также, соответствующий условный максимум суммарной финансовой выгоды$F_{i+1;\psi}^{*}(S_{i}^{k} - \Delta S_{i}^{*})$.

Это решение означает, что если перед выделением средств ψ-1-му месторождению в нашем распоряжении имеется остаток $S_{\psi-1}^{k}$, то на разработку данного месторождения необходимо выделить $\Delta S_{\psi-1}^{*}(S_{\psi-1}^{k})$ средств. При этом совокупная финансовая выгода от инвестиций в месторождения с порядковыми номерамиψ-1и ψ достигает максимума. Перейдем к ψ-2-ому шагу, определим аналогичным образом условное оптимальное управление и условный максимум $F_{\psi-2;\psi}\left(S_{\psi-2}^{k}-\Delta S_{\psi-2}^{*}\right)$ и т.д.

В результате, проходя последовательно все шаги с конца процесса распределения к его началу, получим две последовательные функции:

$F_{\psi\psi}^{*}\left(S_{\psi}^{k}\right), F_{\psi-1;\psi}^{*}\left(S_{\psi}^{k}-\Delta S_{\psi-1}^{*}\right), \dots, F_{2;\psi}^{*}\left(S_{3}^{k}-\Delta S_{2}^{*}\right), F_{1;\psi}^{*}\left(S_{2}^{k}-\Delta S_{1}^{*}\right)$ – набор условных максимальных финансовых выгод;

$\Delta S_{\psi}^{*}\left(S_{\psi}^{k}\right), \Delta S_{\psi-1}^{*}\left(S_{\psi}^{k}\right), \dots, \Delta S_{2}^{*}\left(S_{2}^{k}\right), \Delta S_{1}\left(S_{1}^{k}\right)$ – набор условных оптимальных управлений.k=1, 2,…, U

Этим завершается этап условной оптимизации.

Второй этап – безусловная оптимизация.

Описанный процесс рассматривается в обратном направлении, от 1-ого до ψ-ого месторождения, и каждый раз из полученных ранее U наборов условно-максимальных значений финансовой выгоды и соответствующих им наборам затрат будем выбирать единственное безусловное максимальное значение выгоды и соответствующую величину оптимальных затрат $S_i(x_{ij})$, и оптимальным управлением на k-м шаге будет являться, то значение x_{ij}, которое гарантирует максимум дохода при соответствующем состоянии системы S_i.

Так как общая сумма средств, выделенная на инвестиции в разработку имеющихся месторождений (от 1-ого до Ψ-ого звена) известна, то из функционального уравнения для месторождения с порядковым номером 1 может быть найдена безусловно оптимальная сумма средств на разработку$\Delta S_1(x_{1j})$:

$$F_{1;\psi}\left(S_{R}^{`}\right)=\max_{0\le\Delta S_1\le S_R}\left(f_1(\Delta S_1)+F_{2;\psi}\left(S_{1}^{`}-\Delta S_1\right)\right) \tag{7}$$

Таким образом, для совокупности месторождений от 1-ого до i-ого мы каждый раз решаем функциональное уравнение (2.13) один раз для каждого из имеющихся месторождений. Величина $F_{1;\psi}\left(S_{R}^{`}\right)$ и есть максимальный размер финансовой выгоды при оптимальном распределении выделенных на разработку месторождений суммы средств.

Зная сумму средств, оставшуюся после распределения на разработку месторождений с порядковыми номерами от 2-ого до i-ого – $(S`_R - \Delta S_1(x_{ij}))$, можно определить оптимальную безусловную сумму средств, которую следует выделить на разработку 2-ого месторождения по формуле:

$$F_{2;\psi}\left(\grave{S}_{\mathrm{R}} - \Delta \mathrm{S}_1(\mathrm{x}_{1\mathrm{j}})\right) = \max_{0 \le \Delta \mathrm{S}_2 \le \grave{S}_{\mathrm{R}} - \Delta \mathrm{S}_1(\mathrm{x}_{1\mathrm{j}})} \left(F_2(\Delta \mathrm{S}_2) + F_{3\psi}\left(\grave{S}_R - \Delta \mathrm{S}_1^{\text{опт}} - \Delta \mathrm{S}_2\right)\right) \qquad (8)$$

По тому же принципу определяется сумма средств на разработку i-го месторождения:

$$F_{i;\psi}\left(\grave{S}_{\mathrm{R}} - \sum_{i=1}^{\psi} \Delta S_i(\mathrm{x}_{\mathrm{ij}})\right) == \max_{0 \le \Delta \mathrm{S}_{\mathrm{i}} \le \grave{S}_{\mathrm{R}} - \sum_{i=1}^{\psi} \Delta S_i(\mathrm{x}_{\mathrm{ij}})} \left(F_i(\Delta \mathrm{S}_{\mathrm{i}}) + F_{i+1;\psi}\left(S^r - \Delta S_{i-1}(\mathrm{x}_{\mathrm{i-1;j}}) - \Delta \mathrm{S}_{\mathrm{i}}\right)\right) \qquad (9)$$

Таким образом, можно определить оптимальную безусловную сумму средств $S_i(x_{ij})$, выделяемую на разработку каждого i-го месторождения, для получения максимальной суммы выгоды. И номер каждого оптимального варианта инвестированияx_{ij} для каждого i-го месторождения.

В результате решения данной задачи получается набор оптимальных вложений средств по каждому месторождению, обеспечивающих максимально возможный суммарный чистый денежный поток от инвестирования S_R средств в ψ имеющихся месторождений. Таким образом, имея определенную денежную сумму для инвестиций, руководство может выбрать наиболее прибыльный вариант их распределения.

Решение задачи распределения инвестиций в стохастическом варианте осуществляется подобным образом. Однако, в результате преобразования $V_i(B_i,S_i)$ из уравнения (1) известный вектор состояния B_i, переходит в случайный вектор состояния Z_{i-1} с функцией распределения $G(B_i,Z_{i-1},S_i)$, которая зависит не только от известного B_i и управления S_i, но и случайного Z_{i-1} состояния. Случайное состояние Z_{i-1} определяется вектором не детерминированных неуправляемых параметров, характеризующих заданные случайные параметры модели. Поэтому, прежде чем принять решение на этапе (i-1), необходимо допущение того, что действительное значение вектора состояния B_{i-1} наблюдалось и известно. Таким образом, можно записать, что $Z_{i-1} = V_i(\bar{b}_i, \bar{S}_i)$.

Стоит отметить, что применение предложенного метода в крупных инвестиционных проектах сопряжено с большим объемом расчетов. Поэтому, использование программных средств реализации расчетов представляется удобной альтернативой ручному подсчету.

Таким образом, предложенный метод позволит компаниям оценить максимальную выгоду, которую они могут получить от реализации инвестиционного проекта при наличии ограниченных средств на его реализацию.

Данная оценка эффективности инвестиционных проектов носит рекомендательную характеристику и служит инструментом поддержки принятия управленческого решения. Предложенный метод может применяться в совокупности с другими походами и инструментами, используемыми в деятельности предприятия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Козинченко Е., Мордовенко Д., Шехад Ж., Тидеман Д. Инвестиционные проекты в российской нефтегазовой отрасли: четыре шага к повышению эффективности [Электронный ресурс] // Экономика и управление: актуальные проблемы и поиск путей решении. – URL: http://econom.psu.ru/upload/iblock/501/ekonomika-i-upravlenie-2017.pdf (дата обращения 14.05.2018).*

2. *Кархов В.А. Инвестиционная деятельность нефтегазовых компаний [Электронный ресурс]. – URL: izdatelstvo.isea.ru›epm/dl.ashx?id=2505 (дата обращения 15.05.2018)*

3. *Беллман Р. Динамическое программирование. – Москва: Мир, 1960.*