УДК 338.984

DOI: 10.18384/2310-6646-2020-2-84-97

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ ДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ

Новоселов А. Л.¹, Новоселова И. Ю.², Желтенков А. В.³

¹Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова

117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, Российская Федерация

²Московский государственный институт международных отношений (университет)

Министерства иностранных дел Российской Федерации

119454, г. Москва, пр-т. Вернадского, д. 76, Российская Федерация

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

125993, г. Москва, Ленинградский пр-т., д. 49, Российская Федерация

³Московский государственный областной университет

141014, Московская обл., г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, Российская Федерация

Аннотация.

Цель. В основе данной работы – разработка метода формирования оптимальной очередности реализации проектов инвестиционной программы добывающей компании, позволяющей достичь минимального времени выполнения программных мероприятий.

Процедура и методы исследования. Проведённое исследование основывается на отражении технологически взаимосвязанных проектов инвестиционной программы освоения новых нефтегазовых месторождений с помощью сетевого графа, формализованном отражении взаимосвязи проектов с помощью матрицы смежности, построении матрицы достижимости и формировании оптимальной очередности проектов с помощью метода линейного программирования. В ходе исследования было доказано 4 утверждения, на основе которых построена процедура формирования расширенной матрицы смежности и выявления на этой основе системы задач формирования оптимальной очередности реализации проектов инвестиционной программы.

Результаты проведённого исследования. Авторами построена экономико-математическая модель минимизации времени реализации программы в целом при ограничениях по объёму финансирования, непрерывности реализации проектов и их технологической последовательности, которая основывается на сетевом графе. Метод определения оптимальной очередности реализации проектов базируется на выявлении фронтов проектов, состоящих из программных проектов, которые могут быть реализованы одновременно. Особое внимание уделяется разработке и обоснованию процедуры отбора альтернативных фронтов, одновременная реализация которых приводит к прерыванию выполнения проектов или нарушению их технологической последовательности. Предлагаются разработанный авторами критерий и алгоритм выявления альтернативных фронтов проектов. Результативность предложенного комплекса методов подтверждается приведёнными расчётами.

Теоретическая / практическая значимость. Теоретическая значимость проектов состоит в обосновании процедуры выявления набора моделей для формирования оптимальной последовательности реализации проектов инвестиционной программы; практическое значение проведённого исследования заключается в создании специального методического

обеспечения, позволяющего сформировать оптимальную последовательность реализации проектов инвестиционной программы по критерию минимизации времени её выполнения.

Ключевые слова: инвестиционная программа, сетевой граф, оптимизационная модель, очередность проектов, ограниченность финансирования, фронт проектов

METHODOLOGICAL SUPPORT FOR MINING COMPANY'S INVESTMENT PROGRAM IMPLEMENTATION

A. Novoselov¹, I. Novoselova², A. Zheltenkov³

¹Plekhanov Russian University of Economics

36, Stremyanniy per., Moscow, 117997, Russian Federation

²MGIMO University

76, Vernadsky prosp., Moscow, 119454, Russian Federation

Financial University under the Government of the Russian Federation

49, Leningrad prosp., Moscow, 125993, Russian Federation

³Moscow Region State University

24, Very Voloshinoi st., Mytishchi, 141014, Moscow Region, Russian Federation

Abstract.

Purpose. The focus of the study is development of a technique for forming the optimal sequence of implementation of the investment program of a mining company, which will allow to minimize time for program implementation.

Methodology and Approach. The study is based on the network graph representation of technologically interconnected projects of the investment program for the development of new oil and gas fields, formalized representation of project interconnections using an adjacency matrix, reachability matrix and linear programming method providing for the optimal sequence of projects. In the course of the study, four statements were proved, on the basis of which the procedure for the formation of an expanded adjacency matrix was built and the identification on this basis of the system of tasks of forming the optimal sequence of project implementation was made.

Results. The authors constructed an economic and mathematical model to minimize the implementation time of the program as a whole, with restrictions on the amount of funding, the continuity of work and their technological sequence, which is based on a network graph. The method for determining the optimal sequence of work is based on identifying the fronts of work, consisting of software work that can be implemented simultaneously. Special attention is paid to the development and justification of the procedure for selecting alternative fronts, the simultaneous implementation of which leads to the interruption of project execution or violation of their technological sequence. A criterion and an algorithm for identifying alternative fronts of work developed by the authors are proposed. The effectiveness of the proposed set of methods is confirmed by the above calculations.

Theoretical and Practical implications. The theoretical significance of the work is to justify the procedure for identifying a set of models to form the optimal sequence of implementation of the investment program; the practical significance of the study is to create special methodological support that allows you to create the optimal sequence of implementation of the investment program by the criterion of minimizing the time of its implementation.

Keywords: investment program, network graph, optimization model, priority of work, limited funding, scope of work

Введение

Техническое развитие на уровне страны или региона является одной из приоритетных проблем для современной России. Это касается таких проектов, как обустройство месторождений природного газа и нефтяных месторождений, строительство новых нефте- и газопроводов и т. д. [11]. В настоящее время добывающие компании разрабатывают инвестиционные программы экологической реабилитации территорий, на которых происходят добыча полезных ископаемых и геологоразведка [9]. В настоящее время значительное число работ посвящено поиску механизмов оптимизации инвестиционного портфеля в системе планирования нефтегазовых компаний [1]. Для этого используются подходы, в которых осуществляется выбор проектов, которые приводят к наилучшему результату (например, максимальному суммарному значению NPV) в рамках их финансирования [3]. Существуют модели и подходы к формированию очередности реализации проектов, в которых наряду с ограничениями по финансам и непрерывности реализации проектов, учитываются директивные сроки выполнения программы в целом [10]. Для решения перечисленных проектов следует реализовать набор технологически взаимосвязанных проектов, которые требуют затрат времени и финансовых средств. Взаимосвязь проектов регламентируется сетевым графом, в рамках которого устанавливается последовательность выполнения проектов, возможность параллельной реализации части проектов инвестиционной программы [4]. Для определения оптимальной последовательности выполнения проектов программы при условии ограниченности финансовых средств необходимо воспользоваться подходом, в основе которого лежит приведение задачи теории расписаний к модели линейного программирования [5]. Рассмотрим

особенности процесса приведения рассматриваемой задачи формирования расписания программных мероприятий к модели линейного программирования.

Модель формирования оптимальной последовательности реализации проектов инвестиционной программы

Для разработки инвестиционных программ на уровне региона, корпорации или отдельного предприятия разработан широкий спектр математических моделей [7]. Рассмотрим наиболее распространённую и широко используемую на практике модель формирования оптимальной последовательности реализации проектов инвестиционной программы, регламентируемых сетевым графом [6].

Проекты инвестиционной программы I технологически увязаны и входят в сетевой граф G , т. е. если сначала должен быть реализован проект i , а затем i' , то имеет место связь проектов $(i, i') \in G$. Для проектов задано время выполнения t_i и годовой объём затрат z_i . Объём финансирования программы развития добывающей компании $B_\tau = \text{const}$ для любого года τ . Необходимо найти такие моменты начала T_i^i и окончания T_i^k проектов программ добывающей компании, чтобы вся программа была выполнена в минимальные сроки, т. е. выполнялся критерий

$$\min_{i \in J} \{T_i^i\} \rightarrow \max \quad (1)$$

При этом должны быть выполнены следующие ограничения:

1. Окончание проекта i равно сумме времени начала этого проекта и продолжительности его реализации

$$T_i^k = T_i^i + t_i, \quad i \in J \quad (2)$$

2. Время начала последующего проекта больше времени окончания i' предшествующего проекта i

$$T_i^k \leq T_i^i, (i, i') \in G \quad (3)$$

3. Затраты на выполнение проектов в каждый момент времени τ должны не превышать объёма финансирования B_τ .

$$\sum_{i \in G_\tau} z_i \leq B_\tau, G_j = \{i : T_i^i \leq \tau \leq T_i^k\}, \tau = 1, 2, \dots \quad (4)$$

Для определения приближённого решения данной задачи рекомендуется использовать эвристический метод. Точное решение может быть получено на основе преобразования сформированной модели к задаче линейного программирования. Для этого необходимо ввести понятие фронта проектов [8]. Под фронтом программных проектов $F_k, k = 1, 2, \dots, K$ понимается набор технологически увязанных проектов, которые могут выполняться параллельно. Это возможно в том случае, когда проекты не лежат на одном пути сетевого графа. Число проектов, входящих в фронт, не ограничено. Минимальное число проектов в фронте проектов равно единице. Среди фронтов проектов для разработки оптимальной программы добычной компании нужно выявить допустимые фронты $F_k^d, k = 1, 2, \dots, S$, т. е. такие, для выполнения которых хватает выделенного постоянного объёма ресурсов B :

$$\sum_{i \in F_k^d} z_i \leq B \quad (6)$$

Используя допустимые фронты работ несложно получить модель линейного программирования, позволяющую отыскать оптимальную продолжительность проектов $F_k^d - x_{kj}$. В этом случае получаем критерий оптимальности:

$$\sum_{k=1}^S x_k \rightarrow \min \quad (7)$$

При этом обязательно выполнение условия: суммарная продолжительность допустимых фронтов проектов, в которые входит проект i , должна быть равна его продолжительности:

$$\sum_{k: i \in F_k^d} x_k = t_i \quad \forall i \in G(J) \quad (8)$$

В модель необходимо включить условие неотрицательности искомых величин:

$$x_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, S, k = 1, 2, \dots, S \quad (9)$$

На основе оптимальных значений x_k^* , следует сформировать расписание реализации программных проектов.

Исследование процесса выявления фронтов проектов

Описанный алгоритм не учитывает ситуации возможной противоречивости фронтов проектов. Например, на рис. 1 представлен сетевой граф, в котором фронты проектов $F_1 = (a, d)$ и $F_2 = (b, e)$ не могут быть выполнены последовательно. В самом деле, если известна продолжительность этих фронтов, при любой последовательности их выполнения нарушается заданная сетевым графом технологическая последовательность. Так, на рис. 2 показана ситуация, когда при выполнении сначала фронта F_1 , а затем F_2 , получаем выполнение проекта d раньше проекта b , что противоречит заданной технологии, отражённой сетевым графом.

Для обоснования особенностей и процедуры поиска противоречивых фронтов проектов сформулированы следующие утверждения.

Утверждение 1. Два фронта проектов, состоящие из двух проектов сетевого графа, являются альтернативными, если попарно взятые из этих фронтов проекты находятся на одном пути, причём технологически предшествующие

Рис. 1. Пример сетевого графа инвестиционной программы для анализа противоречивых фронтов проектов

Fig. 1. An example of a network graph investment program for the analysis of conflicting fronts of projects

Рис. 2. Последовательное выполнение фронтов нарушает технологическую последовательность, заданную сетевым графом
Fig. 2. Successive execution of fronts violates the process sequence specified by the network graph

проекты находятся в разных фронтах проектов.

Доказательство. Пусть в сетевом графе есть 2 пути, на первом лежат проекты a и e , на втором – b и d , причём проект a предшествует e ; проект b предшествует d .

Поскольку проекты a и d не лежат на одном пути, они составляют фронт проектов $F_1 = (a, d)$. Аналогично проекты b и e также составляют фронт $F_2 = (b, e)$. Технологически предшествующие проекты (проекты a и b) находятся в разных фронтах проектов. При последовательном выполнении этих фронтов проектов будет нарушена технологическая последовательность проектов сетевого графа. Следовательно, такие фронта проектов являются альтернативными.

При указанном предположении можно указать еще 2 фронта проектов – $F_3 = (a, b)$ и $F_4 = (d, e)$. При этом можно указать пары проектов из F_3 и F_4 , лежащие на одном пути – проект a предшествует e ; проект b предшествует d . Однако предшествующие проекты a и b вместе входят в один фронт F_3 , а последующие проекты (e и d) – в другой фронт F_4 . Таким образом, фронта проектов F_3 и F_4 не являются альтернативными и не альтернативны ни фронту F_1 , ни фронту F_2 . Фронта, не альтерна-

тивные остальным фронтам, назовём ядром фронтов.

Утверждение 2. Фронта, в которые входят более 2-х проектов, являются альтернативными, если они включают 2 проекта, входящие в альтернативный фронт, состоящий из 2-х проектов.

Например, в фронте $F_5 = (b, f, e)$ проекты b и e входят в фронт $F_2 = (b, e)$, который является альтернативным фронту $F_1 = (a, d)$. Следовательно, фронт F_5 также является альтернативным фронту $F_1 = (a, d)$.

Утверждение 3. Фронта, состоящие из более чем 2-х проектов, 2 из которых входят в альтернативный фронт, состоящий из 2-х проектов, не являются альтернативными.

Например, в фронте $F_5 = (b, f, e)$ проекты b и e входят в фронт $F_2 = (b, e)$. Фронт F_5 может выполняться раньше или позже фронта F_2 , т. е. эти фронта проектов не являются альтернативными.

Разработанный алгоритм выявления альтернативных фронтов проектов в сетевом графе инвестиционной программы

Выявление фронтов проектов инвестиционной программы и анализ их альтернативности необходимо основываться на следующем алгоритме:

вать на их топологии в рамках сетевого графа. Формализованное представление проектов сетевого графа целесообразно основывать на матрице смежности проектов, в которой для отображения технологической последовательности проектов (проект i' может начаться только после завершения проекта i), для проектов $(i, i') \in G$ на пересечении строки i и столбца i' ставится единица. При отсутствии технологической связи между проектами в строке или столбце ставится ноль.

Исходя из матрицы смежности, с помощью алгоритма формирования максимального графа [2, с. 33] следует найти максимальную матрицу смежности (матрицу достижимости):

$$D = \begin{pmatrix} d_1 & d_2 & \dots & d_{1n} \\ d_1 & d_2 & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_n \end{pmatrix}.$$

Размерность матрицы равна количеству проектов инвестиционной программы $(i, j=1, 2, \dots, n)$. Матрица D показывает номера проектов, которых можно достичь, двигаясь по дугам от любой проекта i , т. е. номера проектов, находящихся на одном пути с проектом i .

В матрице D необходимо указать номера допустимых фронтов проектов, состоящих из 2-х проектов, с помощью проверки условия (6). Заметим, что фронта, состоящие из одного проекта, имеют нумерацию от 1 до n , поэтому номера допустимых фронтов проектов, состоящих из 2-х проектов, будут начинаться с номера $(n+1)$. Назовём полученную матрицу D^+ расширенной матрицей достижимости.

Начиная с номера фронта проектов $(n+1)$, следует провести проверку в матрице D^+ на наличие альтернативных фронтов проектов по следующему алгоритму:

Шаг 1. Положим номер строки матрицы D^+ , равным $i = 1$

Шаг 2. Найдём первый попавшийся неотмеченный номер фронта проектов в строке i . Если такого номера нет, переход к шагу 7; в противном случае – переход к шагу 3.

Шаг 3. Пусть это номер s ($s > n+1$), отметим этот номер символом (*).

Шаг 4. Провести в строке i матрицы D^+ поиск единицы. Если единицы нет – перейти к шагу 7; в противном случае – переход к шагу 5.

Шаг 5. Зафиксировать номер столбца l , в котором найдена единица. В столбце l матрицы D^+ провести поиск номера допустимого фронта проектов p ($p > n+1$). Если номер p найден – переход к шагу 6; в противном случае – переход к шагу 4

Шаг 6. Проверка: есть ли 1 в строке l и столбце i ? Если да, то фронта s и p – альтернативные. Переход к шагу 5.

Шаг 7. Переход к следующей строке матрицы D^+ : $i = i + 1$. Если $i > n$, то переход к шагу 8; в противном случае – переход к шагу 2.

Шаг 8. Процесс выявления альтернативных фронтов проектов завершён.

Формирование системы моделей для определения оптимальной продолжительности фронтов проектов инвестиционной программы

В основе определения оптимальной продолжительности фронтов проектов лежит модель (7–9). С учётом выявленных альтернативных фронтов проектов предлагается следующая модификация модели и схемы поиска оптимальной продолжительности фронтов проектов.

Введём обозначения:

Ω_0 – множество допустимых фронтов проектов, составляющих ядро фронтов проектов, т. е. не имеющих альтернатив – F_k^d $k \in \Omega_0$.

A – количество множеств альтернативных фронтов проектов;

Ω_r – r -ое множество альтернативных подмножеств допустимых фронтов проектов $F_k^d, k \in \Omega_r, \forall r = 1, 2, \dots, A$

Для ядра фронтов проектов и каждого из сочетаний подмножеств проектов, выбираемых по одному из множеств $\Omega_r, \forall r = 1, 2, \dots, A$, следует сформировать оптимизационную модель, позволяющую найти минимальную сумму продолжительности рассматриваемых допустимых фронтов проектов. Число таких моделей можно вычислить по формуле:

$$C = \prod_{r=1}^A M(\Omega_r), \quad (10)$$

где $M(\Omega_r)$ – мощность множества Ω_r , равная числу подмножеств, входящих в данное множество.

Пусть L_c c -ый набор фронтов проектов, взятый по одному из множеств альтернативных фронтов проектов $\Omega_r, \forall r = 1, 2, \dots, A$ ($c = 1, 2, \dots, C$). Тогда для отыскания оптимального расписания реализации проектов инвестиционной программы необходимо решить $c = 1, 2, \dots, C$ задач следующего вида.

Критерий оптимальности: минимизация суммарной продолжительности допустимых фронтов проектов

$$\varphi_c(x) = \sum_{k \in \Omega_0} x_k + \sum_{k \in L_c} x_k \rightarrow \min \quad (11)$$

Суммарная продолжительность допустимых фронтов проектов, в которые входит проект i , должна быть равна сумме продолжительности выполнения i -го проекта

$$\sum_{k: k \in \Omega_0 \wedge i \in F_k^d} x_k + \sum_{k: k \in L_c \wedge i \in F_k^d} x_k = t_i \quad \forall i \in G(J) \quad (12)$$

Искомые переменные – продолжительности допустимых фронтов проектов – должны быть неотрицательны:

$$x_k \geq 0, \quad k \in \Omega_0 \wedge k \in L_c \quad (13)$$

В результате решения $c = 1, 2, \dots, C$ задач вида (11 – 13) будет получен набор оптимальных вариантов с соответствующими значениями целевых функций $\varphi_c(x_c^*)$. Среди этих вариантов необходимо выявить лучший вариант по формуле:

$$\varphi_c^*(x_c^*) = \min_{c=1, 2, \dots, C} \{\varphi_c(x_c^*)\} \quad (14)$$

Использование полученных оптимальных продолжительностей фронтов проектов позволяет сформировать оптимальное расписание проектов инвестиционной программы.

Пример расчёта оптимальной очередности реализации проектов инвестиционной программы

В качестве примера возьмём инвестиционную программу освоения нового нефтяного месторождения добывающей компанией (табл. 1). Ежемесячный объём финансовых средств, выделяемых на реализацию программы, составляет $B=50$ млн руб/год.

Исходя из данных, приведённых в табл. 1, несложно построить сетевой график и соответствующую ему матрицу смежности проектов инвестиционной программы (табл. 2). Матрица смежности проектов формируется исходя из технологической последовательности, отражённой в 2-х первых столбцах табл. 1. Например, поскольку проект «а» предшествует проекту «г», в матрице смежности на пересечении строки «а» и столбца «г» ставится единица.

Таблица 1 / Table 1

**Характеристики проектов инвестиционной программы добывающей
компании**

The features of mining company's investment program projects

Проект	Предшес- твующие про- екты	Наименование проекта	Затраты времени, мес.	Затраты финансовых ресурсов, млн руб.
а	-	Строительство подъездных путей	1	30
б	-	Установка буровых установок	2	10
в	б	Строительство вахтного поселка не- фтяников	1	20
г	а	Монтаж силового и измерительного оборудования	1	40
д	г	Прокладка промыслового нефтепро- вода	3	40
е	г	Монтаж пультов управления	1	40
ж	в, е	Проверка работоспособности обору- дования для нефтедобычи	1	40

Таблица 2 / Table 2

Матрица смежности проектов

Project adjacency matrix

Проекты	Смежные проекты инвестиционной программы						
	а	б	в	г	д	е	ж
а	0	0	0	1	0	0	0
б	0	0	1	0	0	0	0
в	0	0	0	0	0	0	1
г	0	0	0	0	1	1	0
д	0	0	0	0	0	0	0
е	0	0	0	0	0	0	1
ж	0	0	0	0	0	0	0

Исходя из матрицы смежности, рассчитывается матрица достижимости проектов (табл. 3). Из матрицы достижимости единицы показывают, какие проекты (указаны в столбцах матрицы) требуют предварительной реализации проекта в строке данной матрицы. Например, для выполнения проектов «г», «д», «е», «ж» должен быть выполнен проект «а».

Воспользуемся данными, приведёнными в табл. 1. Сформируем фронта проектов, определим их потребность в

финансировании и отметим допустимые фронта проектов (табл. 4).

С учётом того, что ежемесячный объём затрат не должен превышать 50 млн руб., допустимыми фронтами являются фронта с 1 по 12 из табл. 4, т. е. $F_k^d, k = 1, 2, \dots, 12$.

Для выявления альтернативных фронтов составим расширенную матрицу достижимости (табл. 5).

Использование разработанного алгоритма проверки матрицы D^+ на наличие альтернативных фронтов проектов

Таблица 3 / Table 3

Матрица достижимости
Reachability matrix

Проекты	Достижимые проекты инвестиционной программы						
	а	б	в	г	д	е	ж
а	0	0	0	1	1	1	1
б	0	0	1	0	0	0	1
в	0	0	0	0	0	0	1
г	0	0	0	0	1	1	1
д	0	0	0	0	0	0	0
е	0	0	0	0	0	0	1
ж	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4 / Table 4

Матрица фронтов проектов инвестиционной программы
Matrix of the fronts of investment program projects

№ п/п	Фронта проектов	Потребность в финансировании, млн руб/месяц	Оценка допустимости
1	$F_1 = \{a\}$	30	допустимый
2	$F_2 = \{б\}$	20	Допустимый
3	$F_3 = \{в\}$	30	Допустимый
4	$F_4 = \{г\}$	30	Допустимый
5	$F_5 = \{д\}$	30	Допустимый
6	$F_6 = \{е\}$	40	Допустимый
7	$F_7 = \{ж\}$	40	Допустимый
8	$F_8 = \{a, б\}$	40	Допустимый
9	$F_9 = \{a, в\}$	50	Допустимый
10	$F_{10} = \{б, г\}$	50	Допустимый
11	$F_{11} = \{б, е\}$	50	Допустимый
12	$F_{12} = \{б, д\}$	50	Допустимый
13	$F_{13} = \{в, г\}$	60	Не допустимый
14	$F_{14} = \{в, д\}$	60	Не допустимый
15	$F_{15} = \{е, д\}$	80	Не допустимый
16	$F_{16} = \{ж, д\}$	80	Не допустимый
17	$F_{17} = \{б, е, д\}$	90	Не допустимый
18	$F_{18} = \{в, е, д\}$	100	Не допустимый

позволяет составить ядро фронтов проектов:

$$\Omega_0 = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8\},$$

определить количество альтернативных множеств $A=1$ и альтернативные подмножества допустимых фронтов проектов:

$$\Omega_1 = \{[F_9], [F_{10}, F_{11}, F_{12}]\}$$

Отсюда получаем:

$$M(\Omega_1) = 2$$

По формуле (10) определяем число моделей:

Таблица 5 / Table 5

Расширенная матрица достижимости
Extended reachability matrix

Проекты	Достижимые проекты и номера фронтов проектов, включающие две проекты						
	а	б	в	г	д	е	ж
а	0	8	9	1	1	1	1
б	0	0	1	10	11	12	1
в	0	0	0	0	0	0	1
г	0	0	0	0	1	1	1
д	0	0	0	0	0	0	0
е	0	0	0	0	0	0	1
ж	0	0	0	0	0	0	0

$$C = \prod_{r=1}^1 M(\Omega_r) = 2$$

Исходя из полученного альтернативного множества Ω_1 , могут быть сформированы 2 модели задач линейного программирования, с помощью которых найдём оптимальную продолжительность фронтов проектов реализации инвестиционной программы:

– Модель 1 включает ядро фронтов проектов Ω_0 и первое подмножество множества альтернатив:

$$\Omega_1 = \{F_9\}:$$

$$\varphi_1(x) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 \rightarrow \min$$

$$x_1 + x_8 + x_9 = 1;$$

$$x_2 + x_8 = 2$$

$$x_3 + x_9 = 1;$$

$$x_5 = 3;$$

$$x_4 = 1$$

$$x_6 = 1$$

$$x_7 = 1$$

$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, 9$$

– Модель 2 включает ядро фронтов проектов Ω_0 и второе подмножество множества альтернатив

$$\Omega_1 = \{F_0, F_1, F_2\}:$$

$$\varphi_2(x) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_0 + x_1 + x_2 \rightarrow \min$$

$$x_1 + x_8 = 1;$$

$$x_2 + x_8 + x_0 + x_1 = 2;$$

$$x_3 = 1;$$

$$x_4 + x_0 = 1;$$

$$x_5 = 3$$

$$x_6 + x_1 = 1;$$

$$x_7 + x_2 = 1$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 8, 10, 11, 12$$

В результате решения задачи определения оптимальных продолжительностей фронтов проектов на основе полученных моделей, находим 2 решения (табл. 6).

По формуле (14) выбираем лучший вариант – результаты оптимизации по модели 2, поскольку критерий оптимальности в этом случае принимает наименьшее значение и продолжительность инвестиционной программы добывающей компании составит 8 месяцев. Исходя из найденных оптимальных продолжительностей фронтов проектов, получаем расписание реализации программных проектов (рис. 3).

Таблица 6 / Table 6

Результаты оптимизации времени выполнения фронтов проектов на основе полученных моделей
The results of optimization of project fronts execution time based on the obtained models

Показатели	Фронта проектов	Результаты решения задачи поиска оптимальной продолжительности фронтов проектов на основе моделей, годы	
		Модель 1 (с=1)	Модель 2 (с=2)
$\varphi_n(x)$	-	9	8
x^1	$F_1 = \{a\}$	0	0
x^2	$F_2 = \{б\}$	1	0
x^3	$F_3^d = \{в\}$	1	1
x^4	$F_4 = \{г\}$	1	0
x^5	$F_5^d = \{д\}$	3	3
x^6	$F_6^d = \{е\}$	1	1
x^7	$F_7^d = \{ж\}$	1	1
x^8	$F_8^d = \{a, б\}$	1	1
x^9	$F_9 = \{a, в\}$	0	1
x^{10}	$F_{10}^d = \{б, г\}$	0	0
x^{11}	$F_{11} = \{б, е\}$	0	0
x^{12}	$F_{12} = \{б, д\}$	0	0

Рис. 3. Оптимальная очерёдность выполнения проектов инвестиционной программы
 Fig. 3. The optimal sequence of projects of the investment program

Полученная очерёдность реализации проектов инвестиционной программы соответствует технологической последовательности и позволяет реализовать всю программу за кратчайшее время.

Данный вариант очерёдности реализации проектов укладывается в заданные объёмы финансирования и принимается для реализации программы.

Заключение

Предложенный механизм расчёта оптимальной последовательности реализации проектов инвестиционной программы был произведён с помощью программы в *Excel*, в которой были написаны авторские макросы на языке VBA. С помощью разработанного программно-математического обеспечения была проведена апробация на ряде вводимых участков по добыче нефти, для которых были сформированы инвестиционные программы. Сравнение полученных результатов показало, что продолжительность реализации инвестиционных программ сокращается на 10–15 % за счёт рациональной упорядоченности проектов.

Опыт использования предложенного методического обеспечения показывает, что для повышения надёжности полученных планов реализации проектов инвестиционной программы требуется учесть факторы риска, которые могут привести к возрастанию продолжитель-

ности реализации проектов инвестиционной программы. Для этого целесообразно сформировать систему факторов риска инвестиционной программы. Такая система может носить рекомендательный характер и использоваться для конкретизации факторов риска, поскольку инвестиционные программы добывающих компаний уникальны – различаются дебетом скважин, условиями бурения, горно-геологическими условиями добычи нефти, удалённостью от магистрального нефтепровода и др. После этого необходимо подобрать адекватные методы оценки риска в разрезе каждого из факторов. Учёт риска приведёт к корректировке длительности проектов инвестиционной программы и потребности в финансировании. При этом разработанный метод определения оптимальной очерёдности реализации программных проектов останется неизменным, что подтверждает его универсальный характер.

Статья поступила в редакцию 28.02.2020.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 18-010-00108 «Экономический анализ, прогноз и решение региональных конфликтов при использовании природных ресурсов».

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Russian Foundation for Basic Research № 18-010-00108 «Economic analysis, forecast and resolution of regional conflicts over natural resource use».

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемкина Л. Р. Проблемы инвестиционного планирования в нефтегазодобывающих компаниях // Управленческие науки. 2017. Т. 7. № 4. С. 64–71.
2. Бородин Ф. М. Статистическая оценка связей экономических показателей. М.: Статистика, 1968. 204 с.
3. Ижбердеев Р. Р., Казаева Л. М., Халикова М. А. Механизм формирования оптимальной инвестиционной программы нефтяной компании // Науковедение. 2014. Вып. 2. С. 1–18.
4. Кочкаров Р. А. Целевые программы: инструментальная поддержка. М.: Экономика, 2007. 223 с.
5. Кузнецов А. В. Руководство к решению задач по математическому программированию: учеб. пособие. Минск: Высшая школа, 2001. 448 с.
6. Кузнецов Н. А. Формирование инвестиционной программы развития электроэнергетики // Горизонты экономики. 2017. № 3 (36). С. 69–74.

7. Новоселов А. Л., Медведева О. Е., Новоселова И. Ю. Экономика, организация и управление в области недропользования: учеб. М., 2014. 625 с.
8. Новоселов А. Л., Новоселова И. Ю. Модели и методы принятия решений в природопользовании. М.: Юнити-Дана, 2014. 384 с.
9. Потравный И. М., Попова И. М., Таринова Д. Особенности управления инвестиционными проектами на территориях традиционного природопользования: правовые и эколого-экономические аспекты // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: материалы конференции. 2017. С. 154–159.
10. Сырых О. С., Аснина А. Я., Аснина Н. Г. Разработка оптимального расписания с дополнительными условиями в виде директивных сроков // Потенциал социально-экономического развития Российской Федерации в новых экономических условиях: материалы конференции. 2016. С. 336–342.
11. Bobylev S. N., Kudryavtseva O. V., Yakovleva Y. Y. Regional priorities of green economy // Экономика региона. 2015. № 2 (42). С. 148–159.

REFERENCES

1. Artemkina L. R. [Problems of investment planning in oil and gas companies]. In: *Upravlencheskie nauki* [Administrative Sciences], 2017, vol. 7, no. 4, pp. 64–71.
2. Borodkin F. M. *Statisticheskaya otsenka svyazei ekonomicheskikh pokazatelei* [Statistical Evaluation of Economic Indicator Ties]. Moscow, Statistika Publ., 1968. 204 p.
3. Izhberdeev R. R., Kazaeva L. M., Khalikova M. A. [The mechanism of formation of optimal investment programs of the oil company]. In: *Naukovedenie* [Science Study], 2014, no. 2, pp. 1–18.
4. Kochkarov R. A. *Tselevye programmy: instrumentalnaya podderzhka* [Programs: Instrumental Support]. Moscow, Ekonomika Publ., 2007. 223 p.
5. Kuznetsov A. V. *Rukovodstvo k resheniyu zadach po matematicheskomu programmirovaniyu* [A Guide to Solving Problems in Mathematical Programming]. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 2001. 448 p.
6. Kuznetsov N. A. [The formation of the investment program of development of electric power industry]. In: *Gorizonty ekonomiki* [Economic Horizons], 2017, no. 3 (36), pp. 69–74.
7. Novoselov A. L., Medvedeva O. E., Novoselova I. Yu. *Ekonomika, organizatsiya i upravlenie v oblasti nedropolzovaniya* [Economics, Organization and Management in Subsoil Use]. Moscow, 2014. 625 p.
8. Novoselov A. L., Novoselova I. Yu. *Modeli i metody prinyatiya reshenii v prirodopolzovanii* [Models and Methods of Decision-Making in Natural Resources Management]. Moscow, Yuniti-Dana Publ., 2014. 384 p.
9. Potravny I. M., Popova I. M., Tarinova D. [Features of management of investment projects on the territories of traditional nature management: legal and economic environmental aspects]. In: *Sovremennye problemy upravleniya proektami v investitsionno-stroitelnoi sfere i prirodopolzovanii: materialy konferentsyi* [Modern Problems of Project Management in Investment and Construction Industry and Management : proceedings of conference], 2017. P. 154–159.
10. Syrykh O. S., Asnina A. Y., Asnina N. G. [Development of optimal schedules with additional conditions in the form of directive terms]. In: *Potentsial sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii v novykh ekonomicheskikh usloviyakh* [The Potential of Socio-Economic Development of the Russian Federation in New Economic Environment], 2016. pp. 336–342.
11. Bobylev S. N., Kudryavtseva O. V., Yakovleva Y. Y. Regional priorities of green economy. In: *Ekonomika regiona* [Regional Economy], 2015, no. 2 (42), pp. 148–159.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новоселов Андрей Леонидович – доктор экономических наук, профессор Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова;
e-mail: alnov2004@yandex.ru

Новоселова Ирина Юрьевна – доктор экономических наук, профессор Московского государственного института международных отношений (университета) МИД Российской Федерации, профессор Финансового университета при Правительстве Российской Федерации;
e-mail: iunov2010@yandex.ru

Желтенков Александр Владимирович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента Московского государственного областного университета;
e-mail: kaf-menedg@mgou.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Andrey L. Novoselov – Doctor of Economic sciences, professor, Plekhanov Russian University of Economics;
e-mail: alnov2004@yandex.ru

Irina Y. Novoselova – Doctor of Economic sciences, professor, MGIMO University, Financial University under the Government of the Russian Federation;
e-mail: iunov2010@yandex.ru

Alexander V. Zheltenkov – Doctor of Economic sciences, professor, head of the Department of Management, Moscow Region State University;
e-mail: kaf-menedg@mgou.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА

Новоселов А. Л., Новоселова И. Ю., Желтенков А. В. Методическое обеспечение реализации инвестиционной программы добывающей компании // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2020. № 2. С. 84–97.
DOI: 10.18384/2310-6646-2020-2-84-97

FOR CITATION

Novoselov A. L., Novoselova I. Yu., Zheltenkov A. V. Methodological Support for Mining Company's Investment Program Implementation. In: Bulletin of Moscow Region State University. Series: Economics, 2020, no. 2, pp. 84–97.
DOI: 10.18384/2310-6646-2020-2-84-97