
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 519.86

ЗАДАЧА ФОРМИРОВАНИЯ ГРАФИКА РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОГО МУЛЬТИПРОЕКТА

Н. Г. Аснина*, Т. В. Азарнова**

**Воронежский государственный технический университет*

***Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 10.08.2019 г.

Аннотация. Инвестиционные проекты являются типичным инструментом развития современного бизнеса, направленным на расширение, организационные изменения и модернизацию. В зависимости от масштабности предполагаемых изменений применяются монопроекты, являющиеся инструментом решения одной задачи и мультипроекты, включающие в себя несколько монопроектов. Механизмы реализации монопроектов достаточно хорошо исследованы в работах российских и зарубежных авторов. Процесс реализации мультипроектов по сравнению с монопроектами имеет существенно более сложную структуру и, несмотря на большое количество работ в данной сфере, является актуальным направлением исследований. Эффективность выполнения инвестиционных мультипроектов во многом зависит от технологий их финансирования и графика выполнения. В работе исследуется проблема формирования оптимальной последовательности выполнения независимых проектов инвестиционного мультипроекта. Анализируются несколько постановок задач, отличающихся спецификой проектов и правилами их финансирования: мультипроект, предусматривающий вложение инвестиций в начальный (нулевой) для всего проекта момент времени (одномоментное вложение инвестиций); мультипроект предусматривающий вложение инвестиций в момент начала каждого проекта, входящего в него; некоммерческие, общественно-значимые проекты не направленные на получение дохода. В качестве критериев оптимальности, в зависимости от специфики мультипроекта, рассматриваются критерии максимизации прибыли и минимизации затрат. Предложенные правила определения оптимальной последовательности выполнения проектов во всех рассматриваемых постановках задач базируются на так называемых коэффициентах приоритета выбора, обоснование которых строится с использованием подходов теории расписаний. Коэффициенты приоритета выбора зависят от ключевых параметров постановки задачи (время выхода проекта на стадию операционной доходности, ежемесячный доход после перехода на стадию текущей операционной доходности, затраты на реализацию проекта) и используемой в проекте ставки дисконтирования.

Ключевые слова: инвестиционный мультипроект, теория расписаний, экономические показатели эффективности инвестиционного проекта.

ВВЕДЕНИЕ

Инвестиционные проекты являются эффективным и хорошо апробированным инструментом современного бизнеса, направленным на модернизацию производства, увеличение прибыли, создание дополнительных

рабочих мест, выход на рынок новых продуктов и услуг [1–4]. Масштабные инвестиционные проекты, особенно реализуемые в рамках инновационных структур, как правило, представляют собой процесс осуществления нескольких проектов (мультипроект), которые могут реализовываться как параллельно, так и последовательно, в зависимости от возможностей организации и временных сроков.

© Аснина Н. Г., Азарнова Т. В., 2019

В данной работе будут рассматриваться мультипроектные с последовательным выполнением независимых (не связанных по ресурсам проектов), но имеющих общее финансирование и общий целевой доход (если он предусмотрен).

Эффективность выполнения мультипроектов во многом зависит от технологий их финансирования и графика выполнения. Актуальным направлением исследований является разработка моделей, методов, алгоритмов и программного обеспечения, реализующих формализованные процедуры формирования графика выполнения и порядка финансирования проектов в рамках мультипроектов. Существует целый ряд работ, направленных на разработку подобных инструментальных средств, в основе которых лежат методы математического моделирования и теории исследования операций [5–7]. Среди данных работ можно выделить исследования Г. Хакса, Х. Вейнгартнера, Дж. Дина, Д. А. Новикова, В. Н. Буркова, Е. М. Бронштейна, Т. Н. Олейник, В. Д. Богатырева, С. А. Морозова, В. А. Царькова, О. В. Павлова, М. Ю. Михалева и др. [3, 4, 8–12].

В данной работе рассматриваются три задачи формирования графика последовательного выполнения инвестиционных мультипроектов: максимизации прибыли мультипроекта при вложении инвестиций для всех входящих в него проектов, в начальный (нулевой) для всего проекта момент времени (одномоментное вложение инвестиций); максимизации прибыли мультипроекта при вложении инвестиций в момент начала каждого проекта; минимизации затрат при выполнении некоммерческих проектов (не направленных на получение дохода общественно-значимых проектов).

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1.1. Задача максимизации прибыли мультипроекта при одномоментном вложении инвестиций

Пусть инвестиционный мультипроект состоит из n ($k = 1, \dots, n$ – идентификационные номера проектов) проектов, выполнение ко-

торых осуществляется последовательно. Предполагается, что для каждого k -го проекта, известно время t_k (в месяцах) от начала его реализации до момента, когда вложенные в него инвестиции c_k , начнут приносить ежемесячный доход D_k (доход будет поступать ежемесячно до завершения всего мультипроекта и направляться в дополнительные фонды). В качестве срока реализации проекта рассматривается период T :

$$T = \sum_{k=1}^n t_k + 1.$$

Инвестиции c_k ($k = 1, \dots, n$) по всем проектам производятся в нулевой момент времени. Требуется определить такой порядок запуска проектов (перестановку идентификационных номеров проектов $\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$), при котором чистый дисконтированный доход NPV всего мультипроекта будет максимальным. Чистый дисконтированный доход (NPV) является одним из наиболее часто используемых показателей эффективности инвестиционных проектов:

$$NPV = \sum_{i=0}^M \varphi_i E_i^{n_0}(\alpha),$$

где $E_i^{n_0} = \frac{1}{(1 + \alpha)^{n_i - n_0}}$ – коэффициент дисконтирования на i -м шаге, n_i – конец i -го шага, α – норма дисконта, φ_i – суммарное сальдо потоков проекта на i -м шаге. Для рассматриваемой задачи $n_0 = 0$, один шаг равен одному месяцу. Поскольку значение чистого дисконтированного дохода зависит от порядка запуска проектов, то обозначим через $NPV(\sigma) = NPV(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ – значение чистого дисконтированного дохода для порядка запуска $(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$.

Для определения порядка запуска воспользуемся подходом, достаточно часто используемым в теории расписаний. В терминах теории расписания задача формулируется следующим образом. Имеется одностадийная система с одним прибором. Требуется указать расписание $\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ запуска проектов, при котором NPV достигает максимального значения [13].

Рассмотрим два варианта расписания, которые отличаются порядком запуска только двух проектов:

Задача формирования графика реализации инвестиционного мультипроекта

расписание 1 – $\sigma_1 = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \sigma_{i+1}, \dots, \sigma_n)$;

расписание 2 – $\sigma_2 = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i, \pi_{i+1}, \dots, \pi_n)$,

где $\pi_l = \sigma_l$, $l = 1, \dots, i-1, i+2, \dots, n$; $\pi_i = \sigma_{i+1}$; $\pi_{i+1} = \sigma_i$.

Определим, при каких условиях $NPV(\sigma_1) \geq NPV(\sigma_2)$.

Поскольку σ_1 и σ_2 совпадают на первых $(i-1)$ -м проектах, то слагаемые, входящие в формулу для чистого дисконтированного дохода, соответствующие периоду времени $[0, T_1]$, приведенному на рис. 1 совпадают для обоих расписаний проектов.

Отличие проектов с расписаниями $\sigma_1 = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i)$ и $\sigma_2 = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i, \pi_{i+1}, \dots, \pi_n)$ соответствует периоду времени $[T_1, T_3]$. Это отражено на рис. 2.

Для проекта с расписанием $\sigma_1 = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \sigma_{i+1}, \dots, \sigma_n)$ на промежутке времени $[T_2, T_3]$ к ежемесячному потоку доходов добавится доход D_{σ_i} , который будет направляться в дополнительный фонд, а для проекта с расписанием $\sigma_2 = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i, \pi_{i+1}, \dots, \pi_n)$ на промежутке времени $[T_2, T_3]$ к ежемесячному потоку доходов добавится доход $D_{\sigma_{i+1}}$, который будет также направляться в дополнительный фонд.

Таким образом, чистый дисконтированный доход для расписаний σ_1 и σ_2 отличаются слагаемыми:

$$D_{\sigma_i} \frac{(1+\alpha)^{t_{\sigma_{i+1}}} - 1}{\alpha} (1+\alpha)^{-(t_{\sigma_i} + t_{\sigma_{i+1}})}, \quad (1)$$

$$D_{\sigma_{i+1}} \frac{(1+\alpha)^{t_{\sigma_{i+1}}} - 1}{\alpha} (1+\alpha)^{-(t_{\sigma_i} + t_{\sigma_{i+1}})}. \quad (2)$$

Так как необходимо найти условие, при котором $NPV(\sigma_1) \geq NPV(\sigma_2)$, то из формул (1), (2), имеем:

$$D_{\sigma_i} \frac{(1+\alpha)^{t_{\sigma_{i+1}}} - 1}{\alpha} \geq D_{\sigma_{i+1}} \frac{(1+\alpha)^{t_{\sigma_i}} - 1}{\alpha} \quad (3).$$

Обозначим через $s_{n\alpha} = \frac{(1+\alpha)^n - 1}{\alpha}$ – коэффициент наращивания (при использовании процентной ставки α) потока одинаковых поступлений денежных средств в дополнительный фонд на промежутке времени длиной n . Тогда полученное неравенство (3) перепишется в виде:

$$D_{\sigma_i} s_{t_{\sigma_{i+1}}\alpha} \geq D_{\sigma_{i+1}} s_{t_{\sigma_i}\alpha}. \quad (4)$$

Или, что тоже:

$$\frac{D_{\sigma_i}}{s_{t_{\sigma_i}\alpha}} \geq \frac{D_{\sigma_{i+1}}}{s_{t_{\sigma_{i+1}}\alpha}}. \quad (5)$$

Таким образом, для того, чтобы найти порядок запуска проектов, при котором показатель NPV будет максимален, требуется упорядочить проекты в порядке убывания коэффициента

$$k_1 = \frac{D_k}{s_{t_k\alpha}}. \quad (6)$$

Назовем k_1 коэффициентом приоритета выбора (КПВ).

Рассмотрим случай, когда процентная ставка $\alpha \rightarrow 0$, тогда если $s_{t_k\alpha} = \frac{(1+\alpha)^{t_k} - 1}{\alpha}$, то

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{t_k (1+\alpha)^{t_k-1}}{1} = t_k = \lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{t_k (1+\alpha)^{t_k-1}}{1} = t_k.$$

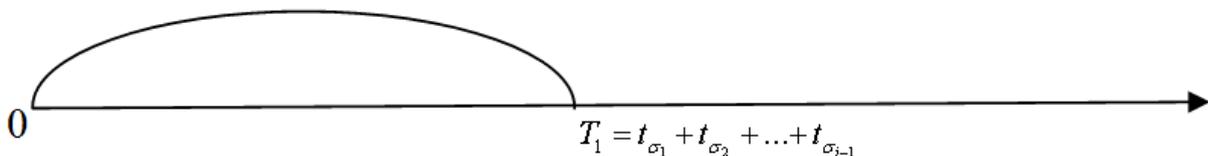


Рис. 1. Период времени с одинаковым участком расписаний σ_1 и σ_2

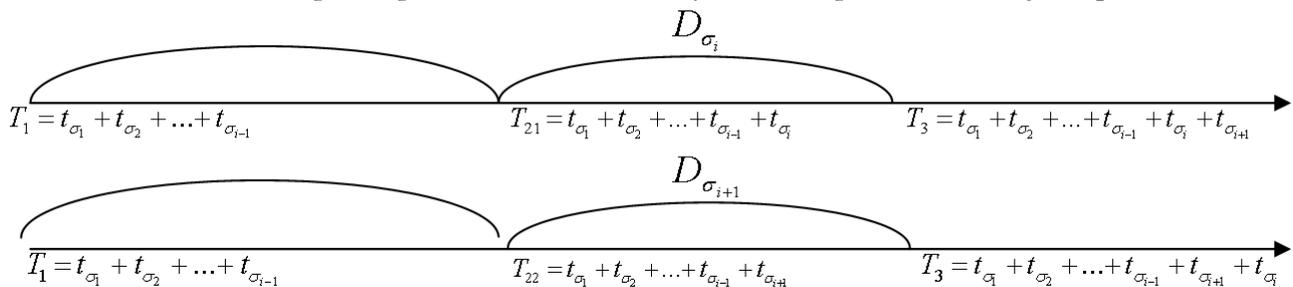


Рис. 2. Отличие проектов с расписаниями σ_1 и σ_2

Таким образом, если процентная ставка небольшая, то упорядочивать проекты в расписании можно по убыванию величины

$$k'_1 = \frac{D_k}{t_k}. \quad (7)$$

1.2. Задача максимизации прибыли мультипроекта при инвестировании средств в моменты запуска проектов

Рассмотрим задачу, аналогичную задаче из предыдущего пункта статьи, с тем отличием, что инвестиции c_k , необходимые для выполнения k -го проекта вносятся не в нулевой период времени, а в момент начала его реализации.

Определим, для данного случая, при каких условиях $NPV(\sigma_1) \geq NPV(\sigma_2)$. Отличие расписаний $\sigma_1 = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \sigma_{i+1}, \dots, \sigma_n)$ и $\sigma_2 = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i, \pi_{i+1}, \dots, \pi_n)$ можно наглядно представить в виде рис. 3.

При такой постановке проблемы чистый дисконтированный денежный доход мультипроектов с расписаниями $\sigma_1 = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \sigma_{i+1}, \dots, \sigma_n)$ и $\sigma_2 = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i, \pi_{i+1}, \dots, \pi_n)$ отличается слагаемыми:

$$-c_{\sigma_i} (1 - (1 + \alpha)^{-t_{\sigma_{i+1}}}) + \frac{D_{\sigma_i} ((1 + \alpha)^{t_{\sigma_{i+1}}} - 1)}{\alpha} (1 + \alpha)^{-(t_{\sigma_i} + t_{\sigma_{i+1}})}, \quad (8)$$

$$-c_{\sigma_{i+1}} (1 - (1 + \alpha)^{-t_{\sigma_i}}) + \frac{D_{\sigma_{i+1}} ((1 + \alpha)^{t_{\sigma_i}} - 1)}{\alpha} (1 + \alpha)^{-(t_{\sigma_i} + t_{\sigma_{i+1}})}, \quad (9)$$

Тогда условие $NPV(\sigma_1) \geq NPV(\sigma_2)$ переписывается в виде:

$$-c_{\sigma_i} (1 - (1 + \alpha)^{-t_{\sigma_{i+1}}}) + \frac{D_{\sigma_i} ((1 + \alpha)^{t_{\sigma_{i+1}}} - 1)}{\alpha} (1 + \alpha)^{-(t_{\sigma_i} + t_{\sigma_{i+1}})} \geq -c_{\sigma_{i+1}} (1 - (1 + \alpha)^{-t_{\sigma_i}}) + \frac{D_{\sigma_{i+1}} ((1 + \alpha)^{t_{\sigma_i}} - 1)}{\alpha} (1 + \alpha)^{-(t_{\sigma_i} + t_{\sigma_{i+1}})}. \quad (10)$$

После преобразования неравенства (10), получим:

$$(D_{\sigma_i} (1 + \alpha)^{-t_{\sigma_i}} - c_{\sigma_i} \alpha) \frac{1 - (1 + \alpha)^{-t_{\sigma_{i+1}}}}{\alpha} \geq (D_{\sigma_{i+1}} (1 + \alpha)^{-t_{\sigma_{i+1}}} - c_{\sigma_{i+1}} \alpha) \frac{1 - (1 + \alpha)^{-t_{\sigma_i}}}{\alpha}. \quad (11)$$

Введем обозначение: $a_{i\alpha} = \frac{1 - (1 + \alpha)^{-t}}{\alpha}$, тогда неравенство (11) переписывается в виде:

$$\frac{D_{\sigma_i} (1 + \alpha)^{-t_{\sigma_i}} - c_{\sigma_i} \alpha}{a_{t_{\sigma_i} \alpha}} \geq \frac{D_{\sigma_{i+1}} (1 + \alpha)^{-t_{\sigma_{i+1}}} - c_{\sigma_{i+1}} \alpha}{a_{t_{\sigma_{i+1}} \alpha}}, \quad (12)$$

или, с учетом введенного в предыдущем пункте обозначения $s_{n\alpha} = \frac{(1 + \alpha)^n - 1}{\alpha}$:

$$\frac{D_{\sigma_i} - c_{\sigma_i} \alpha (1 + \alpha)^{t_{\sigma_i}}}{s_{t_{\sigma_i} \alpha}} \geq \frac{D_{\sigma_{i+1}} - c_{\sigma_{i+1}} \alpha (1 + \alpha)^{t_{\sigma_{i+1}}}}{s_{t_{\sigma_{i+1}} \alpha}}. \quad (13)$$

Для того, чтобы найти порядок запуска проектов, при котором показатель NPV будет максимален, необходимо упорядочить проекты в порядке убывания коэффициентов:

$$k_2 = \frac{D_k - c_k \alpha (1 + \alpha)^{t_k}}{s_{t_k \alpha}}. \quad (14)$$

Заметим, что коэффициент $k_2 = \frac{D_k - c_k \alpha (1 + \alpha)^{t_k}}{s_{t_k \alpha}}$ может быть отрицательным. Выясним, какой экономический смысл

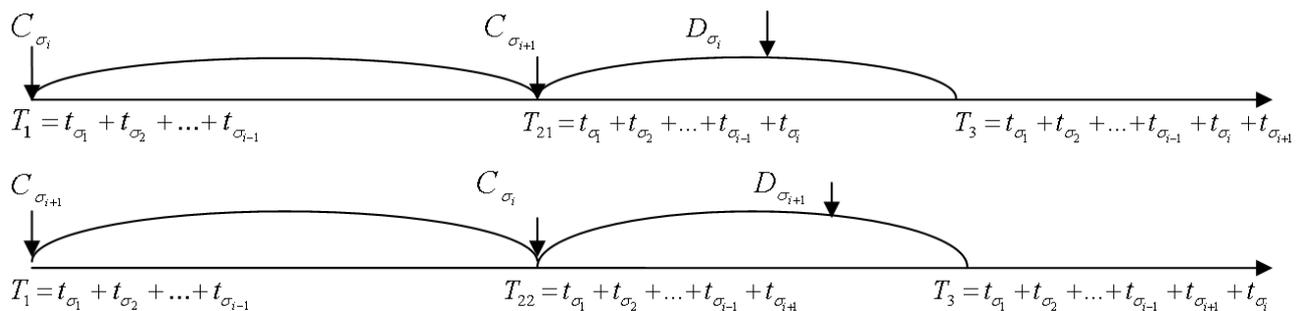


Рис. 3. Отличие потока инвестиций и потока доходов для проектов с расписаниями σ_1 и σ_2

имеет $k_2 < 0$. Обратим внимание на то, что при определении порядка выполнения проектов нас интересует не абсолютная величина коэффициентов (7) и (14), а только их соотношение для различных проектов, поэтому мы можем эти коэффициенты умножить на какое-то положительное число, не меняя формулы с их помощью порядок выполнения проектов. Следовательно, в качестве коэффициента k_2 можно взять, например, $\hat{k}_2 = k_2 \frac{1}{\alpha}$, тогда из (14) имеем:

$$\hat{k}_2 = \frac{\frac{D_k}{\alpha} - c_k(1+\alpha)^{t_k}}{s_{t_k \alpha}}. \quad (15)$$

Рассмотрим теперь подробнее числовой коэффициент \hat{k}_2 . Величина $\frac{D_k}{\alpha}$ представляет собой современную величину бесконечного потока платежей с доходом D_k , а множитель $c_k(1+\alpha)^{t_k}$ – инвестиции, приведенные к моменту начала получения дохода.

Таким образом, если $\frac{D_k}{\alpha} - c_k(1+\alpha)^{t_k} < 0$, то это означает, что k -й проект не окупится никогда за счет своих средств, поэтому если этот проект исключить из рассмотрения, NPV всего мультипроекта увеличится. Если мультипроект ориентирован не только на получение доходности, но и имеет социальную составляющую, то, возможно, подобный проект все же необходимо будет реализовать при условии, что NPV всего мультипроекта будет положительным (отрицательный эффект компенсируется за счет более доходных проектов).

1.3. Задача минимизации затрат некоммерческих мультипроектов

Существуют социальные мультипроекты, которые носят некоммерческий характер, при выполнении данных проектов реализующая их организация не получает непосредственного дохода. Примером таких проектов могут служить проекты в области здравоохранения, образования, культуры.

Рассмотрим задачу выполнения инвестиционного мультипроекта, содержащего n

проектов, с точки зрения минимизации затрат. Для реализации i -го проекта необходимы инвестиции в размере c_i , которые вносятся в момент его реализации.

Суммарное время выполнения всех проектов:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i,$$

суммарные инвестиции равны:

$$C = \sum_{i=1}^n c_i.$$

Требуется определить такой порядок запуска проектов, при котором затраты $C(N)$ всего проекта минимальны:

$$C(N) = \sum_{i=1}^n c_i(1+\alpha)^{-\sum_{l=1}^{i-1} t_l} \rightarrow \min. \quad (16)$$

Рассмотрим 2 расписания, которые отличаются порядком запуска двух проектов: $\sigma_1 = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \sigma_{i+1}, \dots, \sigma_n)$ и $\sigma_2 = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i, \pi_{i+1}, \dots, \pi_n)$.

Определим, при каких условиях $C(\sigma_1) \leq C(\sigma_2)$.

Необходимым условием выполнения этого неравенства для расписаний σ_1 и σ_2 является:

$$c_{\sigma_i}(1+\alpha)^{-(t_{\sigma_1} + \dots + t_{\sigma_i})} + c_{\sigma_{i+1}}(1+\alpha)^{-(t_{\sigma_1} + \dots + t_{\sigma_i} + t_{\sigma_{i+1}})} \leq c_{\sigma_{i+1}}(1+\alpha)^{-(t_{\sigma_1} + \dots + t_{\sigma_{i+1}})} + c_{\sigma_i}(1+\alpha)^{-(t_{\sigma_1} + \dots + t_{\sigma_i} + t_{\sigma_{i+1}})}. \quad (17)$$

Умножив обе части неравенства (17) на $(1+\alpha)^{t_{\sigma_1} + \dots + t_{\sigma_i}}$ и разделив на α , получим выражение:

$$c_{\sigma_i} \frac{(1-(1+\alpha)^{t_{\sigma_{i+1}}})}{\alpha} \leq c_{\sigma_{i+1}} \frac{(1-(1+\alpha)^{t_{\sigma_i}})}{\alpha}. \quad (18)$$

Введем обозначение $a_{i\alpha} = \frac{1-(1+\alpha)^{-t}}{\alpha}$ – коэффициент дисконтирования потока инвестиций, тогда неравенство (18) примет вид:

$$c_{\sigma_i} a_{i\sigma_{i+1}} \leq c_{\sigma_{i+1}} a_{i\sigma_i}. \quad (19)$$

Разделив обе части (19) на $(a_{i\sigma_i} a_{i\sigma_{i+1}})$, получим:

$$\frac{c_{\sigma_i}}{a_{i\sigma_i}} \leq \frac{c_{\sigma_{i+1}}}{a_{i\sigma_{i+1}}}. \quad (20)$$

То есть для того, чтобы найти порядок запуска проектов, при котором затраты будут минимальны, необходимо упорядочить проекты по неубыванию этого коэффициента

$$k_3 = \frac{c_k}{a_{t_k}}. \quad (21)$$

Рассмотрим случай, когда процентная ставка $\alpha \rightarrow 0$, тогда

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} a_{n\alpha} = \frac{1 - (1 + \alpha)^{-n}}{\alpha} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

По правилу Лопиталя $\lim_{\alpha \rightarrow 0} a_{n\alpha} = \frac{n(1 + \alpha)^{-n-1}}{1} = n \Rightarrow a_{t_i, \alpha} = t_i$, таким образом:

$$k'_3 = \frac{c_k}{t_k}. \quad (22)$$

Для того, чтобы найти порядок запуска проектов, при котором затраты будут минимальны, необходимо упорядочить проекты по неубыванию этого показателя.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

2.1. Вычислительный эксперимент для задачи максимизации прибыли мультипроекта при одномоментном вложении инвестиций и инвестировании средств в моменты запуска проектов

Проведем вычислительный эксперимент для задачи со следующими исходными данными: мультипроект состоит из 5 проектов. Процентная ставка $\alpha = 0,02$ (табл.1).

Таблица 1

Исходные данные для мультипроекта

k	1	2	3	4	5
t_k	9	1	6	4	3
D_k	1	3	8	5	3
C_k	50	40	25	15	10

Для того, чтобы определить порядок запуска проектов, вычислим по формулам (14)–(15) коэффициент приоритета выбора k_2 и \hat{k}_2 (табл.2):

Таблица 2

Значения коэффициентов k_2 и \hat{k}_2

k	1	2	3	4	5
k_2	-0,02	2,184	1,179	1,134	0,919
\hat{k}_2	-1	109,2	58,95	56,72	45,55

Упорядочим проекты по убыванию k_2 и \hat{k}_2 , получим расписание запуска проектов (табл. 3).

Таблица 3

Расписание запуска проектов

k	2	3	4	5	1
t_k	1	6	4	3	9
D_k	3	8	5	3	1
C_k	40	25	15	10	50
k_2	2,184	1,179	1,134	0,919	-0,02
\hat{k}_2	109,2	58,95	56,72	45,55	-1

Теперь определим величины R_i (доход от проекта в момент времени i) для всего инвестиционного мультипроекта, не исключая из рассмотрения проекты с отрицательным коэффициентом k_2 или \hat{k}_2 (табл. 4):

Вычислим остальные экономические показатели мультипроекта (табл. 5).

Определим величины R_i для всего времени реализации инвестиционного мультипроекта, исключая при этом из рассмотрения проекты с отрицательным коэффициентом (табл. 6).

Вычислим остальные экономические показатели мультипроекта (табл. 7).

Расчеты показывают, что экономические показатели мультипроекта увеличились.

2.2. Вычислительный эксперимент для задачи минимизации затрат некоммерческих мультипроектов

Проведем вычислительный эксперимент для задачи на следующем примере со следующими исходными данными (табл. 8).

Процентная ставка $\alpha = 0,02$.

Для того, чтобы определить порядок запуска проектов, вычислим коэффициент приоритета выбора $k'_3 = \frac{C_i}{t_i}$ (табл. 9).

Упорядочим проекты по неубыванию k'_3 , получим расписание запуска проектов (табл.10).

Теперь определим величины R_i для всего инвестиционного мультипроекта. Обозначим R_i^k – затраты от k -го проекта в момент времени i .

Таблица 4

Значения величин R_i

<i>i</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	-40	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	0	-25	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
4	0	0	0	0	0	0	-15	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-10	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>R</i>	-40	-25	3	3	3	3	3	-12	11	11	11	1	16	16	-34	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20

Таблица 5

Экономические показатели мультипроекта

Чистый дисконтированный доход, <i>NPV</i>	Рентабельность, <i>PI</i>	Модифицированная норма доходности, <i>MIRR</i>	Доходность, <i>D</i>	Срок окупаемости, <i>Nok</i>
96,51	1,958	4,869 %	8,015 %	17

Таблица 6

Значения величины R_i

<i>i</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	-40	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	0	-25	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
4	0	0	0	0	0	0	-15	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-10	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>R</i>	-40	-25	3	3	3	3	3	-12	11	11	11	1	16	16	16	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

Таблица 7

Экономические показатели мультипроекта

Чистый дисконтированный доход, <i>NPV</i>	Рентабельность, <i>PI</i>	Модифицированная норма доходности, <i>MIRR</i>	Доходность, <i>D</i>	Срок окупаемости, <i>Nok</i>
133,8	2,785	6,44 %	10 %	14

Таблица 8

Исходные данные

<i>k</i>	1	2	3	4	5
<i>t_k</i>	2	1	6	4	3
<i>C_k</i>	15	40	25	15	10

Таблица 9

Значения коэффициента k'_3

<i>k</i>	1	2	3	4	5
<i>k'₃</i>	7,5	40	4,166	3,75	3,333

Таблица 10

Расписание запуска проектов

<i>k</i>	5	4	3	1	2
<i>k'₃</i>	3,333	3,75	4,166	7,5	40

Для 1 проекта в расписании (проект под номером 5) в момент 0 объем инвестиции равен c_5 . Аналогично для всех остальных проектов. После чего находится сумма, для каждого момента t , которая и является окончательным значением, т. е. $R_i = \sum_{k=1}^n R_i^k$.

Для нашего примера эти значения, а так же значения ЧДЗ (чистых дисконтированных затрат) представлены в табл. 11.

Для сравнения возьмем случайный порядок запуска проектов (табл. 12).

Получим значения R_i , а так же значения ЧДЗ (чистых дисконтированных затрат) (табл. 13).

Таблица 11

Величины R_i

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	15	16
5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0
4	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	...	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	40	0
R_i	10	0	0	15	0	0	0	25	0	0	0	...	40	0
$(1+\alpha)^{-i}$	1	1,0	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,84	0,82	...	0,74	0,73
$R_i(1+\alpha)^{-i}$	10	0	0,00	14,14	0,00	0,00	0,00	21,76	0,00	0,00	0,00	...	29,72	0,00
ЧДЗ	10	10	10	24,1	24,1	24,1	24,1	45,9	45,9	45,9	45,9	...	87,2	87,2

ЧДЗ – чистые дисконтированные затраты = **87,215**.

Таблица 12

Расписание запуска проектов

k	1	2	5	4	3
k'_3	7,5	40	3,333	3,75	4,166

Таблица 13

Величины R_i и ЧДЗ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	15	16	16
1	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0
2	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0
5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	...	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0
R_i	15	0	40	10	0	0	15	0	0	0	...	0	0	0
$(1+\alpha)^{-i}$	1	0,98	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,84	...	0,74	0,73	0,73
$R_i(1+\alpha)^{-i}$	15	0,00	38,45	9,42	0,00	0,00	13,32	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00
ЧДЗ	15	15,00	53,45	62,87	62,87	62,87	76,19	76,19	76,19	76,19	...	96,70	96,70	96,70

ЧДЗ – чистые дисконтированные затраты составляют **96,698**, что существенно выше, чем у проекта выполненного по расписанию построенному в соответствии с разработанным правилом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена и решена проблема определения последовательности выполнения проектов инвестиционного мультипроекта позволяющая получить максимально возможную прибыль от его реализации или гарантировать минимальность затрат для некоммерческих мультипроектов. В качестве основного инструмента исследования выбра-

ны модели и методы теории расписаний. Для каждого типа анализируемых задач разработаны специальные коэффициенты (КПВ), на основе которых предложены правила построения расписания запуска проектов в рамках одного мультипроекта. Построенные по данным правилам расписания полностью удовлетворяют сформулированным выше условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аньшин, В. М.* Инвестиционный анализ: учебное пособие / В. М. Аньшин; Академия н / х при. Правительстве РФ. – М. : Дело, 2017. – 280 с.
2. *Акинфиев, В. К.* Постановка и решение задач планирования инвестиционных программ / В. К. Акинфеев, А. Г. Мамиконов, М. М. Соловьёв, А. Д. Цвиркун // Автоматика и телемеханика. – 1976. – № 1. – С. 127–135.
3. *Балдин, К. В.* Инвестиционное проектирование: учебник / К. В. Балдин, А. В. Рукоусев, И. И. Передерлев, Р. С. Голов. – М. : Дашков и К, 2010. – 368 с.
4. *Богатырев, В. Д.* Модель и методика решения задачи оптимизации графика финансирования инвестиционного проекта на графах работ / В. Д. Богатырев, С. А. Морозова // Управление большими системами. – 2011. – № 34. – С. 130–145.
5. *Бронштейн, Е. М.* Задача календарного планирования портфеля инвестиционных проектов / Е. М. Бронштейн, Т. Н. Олейник // Информационные технологии. – 2007. – № 3. – С. 70–73.
6. *Вайсблат, В. И.* Модели прогнозирования показателей эффективности и показателей риска инвестиционного проекта на основе теории сложных систем / В. И. Вайсблат, Е. Н. Шилова // Экономический анализ: теория и практика. – 2009. – № 131. – С. 13–17.
7. *Ивашкина, О. О.* Анализ эффективности инвестиционных проектов: информационная технология и средства автоматизации / О. О. Ивашкина, А. В. Карибский, Ю. Р. Шишорин // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 9. – С. 156–168.
8. *Карибский А. В.* Финансово-экономический анализ и оценка эффективности инвестиционных проектов и программ / А. В. Карибский, Ю. Р. Шишорин, С. С. Юрченко // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 6. – С. 40–59.
9. *Лазарев, А. А.* Некоторые проблемы составления и оценки инвестиционного проекта в России / А. А. Лазарев // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2012. – № 122. – С. 34–40.
10. *Липсиц, И. В.* Инвестиционный проект: методы подготовки и анализа: Учеб.-справ. пособие / И. В. Липсиц, В. В. Косов. – Москва : Издательство БЕК, 1999. – 293с.
11. *Михалева, М. Ю.* Многокритериальная модель формирования оптимального портфеля инвестиционных проектов / М. Ю. Михалева // Экономические науки. – 2008. – № 3. – С. 378–384.
12. *Мошкова, Т. А.* Динамические модели оптимального отбора инвестиционных проектов / Т. А. Мошкова // Экономические науки. – 2011. – № 77. – С. 280–283.
13. *Аснина, Н. Г.* Модель последовательности мероприятий проекта с целью максимизации дисконтированного дохода / Н. Г. Аснина, А. Я. Аснина, Р. В. Ещенко, О. С. Нильга // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 4, № 11. – С. 120–123.
14. *Аснина А. Я.* Задача упорядочения мероприятий проекта / А. Я. Аснина, Н. Г. Аснина, О. С. Нильга // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 7, № 7. – С.171–172.

Аснина Н. Г. – канд. техн. наук, доцент кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве, факультет ЭМИИТ, Воронежский государственный технический университет. E-mail: andrey050569@yandex.ru

Азарнова Т. В. – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой ММИО ф-та ПММ, Воронежский государственный университет.

THE PROBLEM OF FORMING THE GRAPHICS OF THE IMPLEMENTATION OF THE INVESTMENT MULTIPROJECT

N. G. Asnina^{*}, T. V. Azarnova^{}**

^{}Voronezh State Technical University*

*^{**}Voronezh State University*

Annotation. Investment projects are a typical tool for the development of modern business, aimed at expansion, organizational change and modernization. Depending on the scale of the proposed changes, monoprosjects are used, which are a tool for solving one problem and multiprosjects that include several monoprosjects. The mechanisms for the implementation of monoprosjects are fairly well studied in the works of Russian and foreign authors. The process of implementing multiprosjects in comparison with monoprosjects has a much more complex structure and, despite the large number of works in this area, is an actual area of research. The effectiveness of the implementation of investment multiprosjects largely depends on their financing technologies and the implementation schedule. The paper investigates the problem of the formation of an optimal sequence of independent investment multiprosject projects. Several problem statements are analyzed that differ in the specifics of the projects and the rules for their financing: a multi-project involving investment in the initial (zero) point in time for the entire project (one-time investment); multi-project involving investment at the start of each project included in it; non-profit, socially significant projects not aimed at generating income. As criteria for optimality, depending on the specifics of the multiprosject, criteria for maximizing profit and minimizing costs are considered. The proposed rules for determining the optimal sequence of project execution in all the problem statements under consideration are based on the so-called selection priority coefficients, the rationale of which is constructed using scheduling theory approaches. The selection priority coefficients depend on the key parameters of the problem statement (the time the project takes to the stage of operational profitability, the monthly income after the transition to the stage of the current operating profitability, project implementation costs) and the discount rate used in the project..

Keywords: investment multiprosject, scheduling theory, economic performance indicators of an investment project.

Asnina N. G. – Ph.D., associate professor of the Department of Control Systems and Information Technologies in Construction, Faculty of EM & Engineering, Voronezh State Technical University. E-mail: andrey050569@yandex.ru

Azarnova T. V. – doctor of technical Sciences, prof., head of the Department of MMIO faculty of PMM, Voronezh State University