Автоматика и телемеханика, № 12, 2023

© 2023 г. **А.В. ЩЕПКИН, д-р техн. наук (av_shch@mail.ru)**
(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

СРАВНЕНИЕ ПРОЦЕДУР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В МЕХАНИЗМЕ СМЕШАННОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ

Анализируется механизм смешанного финансирования мегапроекта, состоящего из нескольких проектов. Одна часть средств на выполнение проекта поступает от руководителя мегапроекта, другая часть от исполнителя проекта. При распределении средств на выполнение проектов руководитель мегапроекта учитывает информацию о размере собственных средств исполнителя на выполнение проекта. Исполнители проектов стремятся получить больше средств от руководителя мегапроекта, в свою очередь, руководитель мегапроекта заинтересован в привлечении большего размера средств от исполнителей проекта. Для достижения этой цели руководитель мегапроекта использует различные процедуры распределения финансовых средств. Соответственно, исполнители проекта для увеличения выделяемых для них средств используют информацию, сообщаемую руководителю мегапроекта. Анализируются процедуры прямых и обратных приоритетов распределения в механизме смешанного финансирования. В ситуации равновесия по Нэшу определяется процедура распределения финансовых средств, которая стимулирует исполнителей проекта выделять больший объем собственных средств на выполнение проекта.

Ключевые слова: смешанное финансирование, прямые приоритеты, обратные приоритеты, плановая прибыль, фактическая прибыль.

DOI: 10.31857/S0005231023120097, **EDN:** NGLOEU

1. Введение

Для финансирования мегапроектов часто привлекаются несколько источников поступления финансовых средств. При этом достаточно типичной является ситуация, когда одним из источников финансирования выступает руководитель мегапроекта, а другим источником являются сами исполнители отдельных проектов, составляющих мегапроект. Другими словами реализуется механизм смешанного финансирования [1–3]. Бюджет всего мегапроекта, как правило, ограничен и зачастую недостаточен для реализации необходимого числа проектов. В [4] отмечается, что идея смешанного финансирования состоит в том, что средства из бюджета мегапроекта выделяются при условии, что исполнитель каждого проекта обязуется выделить на свой проект собственное финансирование.

Применение механизма смешанного финансирования подразумевает, что самим исполнителям проектов выгодно вкладывать свои средства в их реализацию. Но при этом перед руководителем мегапроекта стоит задача распределения финансовых средств среди исполнителей проектов. Традиционно в теории активных систем [5, 6] для реализации соответствующих механизмов распределения руководитель мегапроекта запрашивает информацию о требуемых финансах у исполнителей проектов. Размер получаемых исполнителями проектов средств существенным образом зависит от сообщенной ими информации, размера распределяемых средств и процедуры распределения этих средств, причем размер средств каждого исполнителя зависит не только от его информации, но и от информации всех исполнителей проектов.

В работах зарубежных ученых рассмотрение механизмов смешанного финансирования связано с оцениванием конкретных инструментов, таких как акционерный капитал, гарантии, займы и т.д. [7, 8]. При этом смешанное финансирование рассматривается как использование капитала из государственных или благотворительных источников для увеличения инвестиций частного сектора [9]. Особое внимание уделяется вопросом инвестирования, при котором смешанное финансирование повышает потенциальную доходность инвестиций или снижает факторы риска, делая их более привлекательными для инвесторов [10, 11].

В настоящей статье проводится анализ процедур прямых и обратных приоритетов распределения, которые использует руководитель мегапроекта в механизме смешанного финансирования. Определяется процедура, которая в ситуации равновесия по Нэшу [5] стимулирует исполнителей проекта выделять больший объем собственных средств на выполнение проекта.

2. Финансирование агентов при полной информированности центра

Рассматривается двухуровневая система, состоящая из Центра — руководителя мегапроекта (верхний уровень), распределяющего средства на выполнение проектов, и агентов (нижний уровень) — исполнителей проектов. Мегапроект состоит из n проектов и выполняется n исполнителями (агентами). Каждому агенту известны фактические затраты на выполнение проекта z_i, $i = 1, \dots, n$. Центр располагает средствами в размере R, которые распределяются между исполнителями проектов. Полная информированность Центра предполагает, что Центру известны фактические затраты на выполнение каждого проекта.

Рассмотрим теоретико-игровую постановку задачи.

1. Каждый агент сообщает в Центр значение w — часть фактических затрат на выполнение проекта, которую агент финансирует из собственных средств. Таким образом, планируемый размер собственных средств $u_i^{(\text{п})}$ на выполнение проекта i-го агента определяется следующим выражением:

$$u_i^{(\text{п})} = w_i z_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Отсюда следует, что заявка на финансирование i-го агента определяется как

$$s_i = (1 - w_i) z_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

2. Центр определяет размер средств c_i, $i = 1, \ldots, n$ для всех проектов на основе полученной информации. Если $c_i < s_i$, то для выполнения проекта фактический размер собственных средств агента $u_i^{(\text{ф})}$, $i = 1, \ldots, n$ будет определяться как

$$u_i^{(\text{ф})} = z_i - c_i, \quad i = 1, \ldots, n.$$

3. Агенты и Центр определяют выигрыши. Выигрышем агента является его прибыль. Функция выигрыша Центра может быть различной. В данном случае это не важно, так как цель настоящей статьи — определение условий, обеспечивающих выделение большего объема собственных средств агентов на выполнение проекта.

Здесь будем предполагать, что i-й агент получает эффект от выполненного проекта в размере Э_i. Также предполагается, что проект будет выполнен, и эффект будет получен агентом, только если $c_i + u_i^{(\text{ф})} \geqslant z_i$. В этом случае прибыль i-го агента может быть представлена в виде

$$f_i = \text{Э}_i + c_i - u_i^{(\text{ф})}, \quad i = 1, \ldots, n. \tag{1}$$

Рассмотрим сначала случай, когда Центр в состоянии выделить всем агентам запрашиваемые средства в полном объеме. Тогда, очевидно, $c_i = s_i$, $i = 1, \ldots, n$, и, соответственно,

$$f_i = \text{Э}_i + (1 - 2w_i)z_i, \quad i = 1, \ldots, n. \tag{2}$$

Из (2) следует, что для увеличения своей прибыли агенты заинтересованы уменьшать свои собственные средства на выполнение проекта и максимально увеличивать свою заявку на финансирование. Для того, чтобы подобную заинтересованность устранить, Центр вводит дополнительное условие. Для получения средств от Центра агенты должны выделить собственные средства в размере не менее, чем dz_i, где d — установленная Центром доля от фактических затрат. Очевидно, что в этом случае заявка агентов будет определяться как

$$s_i = (1 - d)z_i, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Прибыль i-го агента в этой ситуации определяется как

$$f_i = \text{Э}_i + (1 - 2d)z_i \geqslant 0, \quad i = 1, \ldots, n.$$

При этом, как следует из последнего выражения, агент может влиять на размер прибыли, только если он установит $w_i > d$. Но, как было отмечено выше, агенты заинтересованы уменьшать свои собственные средства на выполнение проекта, а это соответствует тому, что $w_i = d$.

В случае, когда средства Центра ограничены, то для определения размера финансирования c_i i-го проекта, $i = 1, \ldots, n$, используются приоритетные процедуры распределения [6].

Процедура прямых приоритетов

$$c_i^{(\text{пп})} = \min\left\{s_i;\ \frac{A_i s_i}{\sum\limits_{q=1}^{n} A_q s_q} R\right\}, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Процедура обратных приоритетов

$$c_i^{(\text{оп})} = \min\left\{s_i;\ \frac{A_i}{s_i \sum\limits_{q \in N} A_q / s_q} R\right\}, \quad i = 1, \ldots, n. \tag{3}$$

Здесь A_i — приоритет проекта, установленный Центром для i-го агента.

Рассмотрим сначала процедуру прямых приоритетов. Так как финансирование агентов осуществляется при полной информированности Центра, объем средств, который выделяется на выполнение i-го проекта, определяется как

$$c_i^{(\text{пп})} = \frac{A_i(1 - w_i) z_i}{\sum\limits_{q=1}^{n} A_q (1 - w_q) z_q} R, \quad i = 1, \ldots, n. \tag{4}$$

Для того чтобы i-й агент получил эффект $Э_i$, должно выполняться условие $c_i^{(\text{пп})} + u_i^{(\text{ф})} \geqslant z_i$. Отсюда следует

$$\sum_{q=1}^{n} u_q^{(\text{ф})} \geqslant \sum_{q=1}^{n} z_q - R. \tag{5}$$

Этот вывод достаточно очевиден. Если для выполнения всех проектов требуется финансирование в размере $\sum\limits_{q=1}^{n} z_q$, а Центр выделяет средства в размере R, то объем собственных средств, выделяемых агентами, как раз определяется выражением (5).

Целевая функция i-го агента (1) при выполнении (4) принимает вид

$$f_i = Э_i + \frac{2A_i(1 - w_i) z_i}{\sum\limits_{q=1}^{n} A_q (1 - w_q) z_q} R - z_i, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Легко видеть, что

$$\frac{\partial f_i}{\partial w_i} = -2A_i z_i \frac{\sum\limits_{q=1}^{n} A_q (1 - w_q) z_q - A_i z_i (1 - w_i)}{\left(\sum\limits_{q=1}^{n} A_q (1 - w_q) z_q\right)^2} R < 0.$$

Отсюда следует: агенты заинтересованы уменьшать свои собственные средства на выполнение проекта и максимально увеличивать свою заявку на финансирование.

Так как Центр стремится заинтересовать агентов выделять больший объем собственных средств на выполнение проекта, то для этого Центр формирует приоритет i-го агента таким образом, чтобы он увеличивался с ростом объема собственных средств на выполнение проекта. Например, Центр может установить приоритет в виде

$$A_i = \frac{a_i}{1 - w_i}. \tag{6}$$

Особенность этого приоритета следующая. Чем больше собственных средств выделяет агент на выполнение проекта, тем выше его приоритет.

В этом случае (4) можно записать в виде

$$c_i^{(\text{пп})} = \frac{a_i z_i}{\sum\limits_{q=1}^{n} a_q z_q} R, \quad i = 1, \ldots, n. \tag{7}$$

Соответственно, фактический объем собственных средств i-го агента, $i = 1, \ldots, n$, на выполнение проекта равен

$$u_i^{(\text{ф,пп})} = z_i - c_i^{(\text{пп})}, \quad i = 1, \ldots, n.$$

В дальнейшем будем считать, что для всех выполняемых проектов справедливо следующее условие.

Условие 1. Все проекты разделены на две группы. Проекты первой группы имеют номера $i = 1, \ldots, m$ и являются наиболее приоритетными, для них установлены приоритеты $a_i = b^3 > 1$, соответственно, проекты второй группы — менее приоритетные имеют номера $i = m + 1, \ldots, n$, для них установлены приоритеты $a_i = 1$.

В этом случае (7) можно записать в виде

$$c_i^{(\text{пп})} = \begin{cases} \dfrac{b^3 z_i}{b^3 \sum\limits_{q=1}^{m} z_q + \sum\limits_{q=m+1}^{n} z_q} R, & i = 1, \ldots, m, \\[2ex] \dfrac{z_i}{b^3 \sum\limits_{q=1}^{m} z_q + \sum\limits_{q=m+1}^{n} z_q} R, & i = m + 1, \ldots, n. \end{cases} \tag{8}$$

Пусть $z_1 = z_n$, т.е. затраты на проект № 1 с высоким приоритетом совпадают с затратами на проект № n с низким приоритетом. В этом случае из (8) можно заключить, что агент, проект которого имеет меньший приоритет, получает меньше средств из Центра и, соответственно, выделяет больше собственных средств на выполнение проекта.

Кроме того, из (7) следует, что объем финансирования агентов не зависит от информации, сообщаемой агентами.

Рассмотрим теперь процедуру обратных приоритетов. Процедуру (3) можно переписать в виде

$$c_i^{(\text{оп})} = \min\left\{(1-w_i)z_i;\ \frac{A_i}{(1-w_i)z_i \sum\limits_{q\in N} A_q \Big/ [(1-w_q)z_q]} R\right\}, \quad i = 1,\ldots,n.$$

Агент получает максимальное финансирование, если выполняется условие

$$(1-w_i)z_i = \frac{A_i}{(1-w_i)z_i \sum\limits_{q\in N} A_q \Big/ [(1-w_q)z_q]} R, \quad i = 1,\ldots,n.$$

Отсюда легко получить

$$(1-w_i)z_i = \frac{\sqrt{A_i}}{\sum\limits_{q\in N} \sqrt{A_q}} R, \quad i = 1,\ldots,n. \tag{9}$$

Если Центр установил приоритеты (6), то (9) можно переписать как

$$c_i^{(\text{оп})} = (1-w_i)z_i = \frac{\sqrt[3]{a_i z_i}}{\sum\limits_{q\in N} \sqrt[3]{a_q z_q}} R, \quad i = 1,\ldots,n. \tag{10}$$

И, соответственно,

$$u_i^{(\text{ф,оп})} = z_i - c_i^{(\text{оп})}, \quad i = 1,\ldots,n.$$

В случае выполнения условия 1, (10) можно записать в виде

$$c_i^{(\text{оп})} = \begin{cases} \dfrac{b\sqrt[3]{z_i}}{b\sum\limits_{q=1}^{m} \sqrt[3]{z_q} + \sum\limits_{q=m+1}^{n} \sqrt[3]{z_q}} R, & i = 1,\ldots,m, \\[3ex] \dfrac{\sqrt[3]{z_i}}{b\sum\limits_{q=1}^{m} \sqrt[3]{z_q} + \sum\limits_{q=m+1}^{n} \sqrt[3]{z_q}} R, & i = m+1,\ldots,n. \end{cases} \tag{11}$$

Здесь также предполагая, что $z_1 = z_n$, и учитывая (11), получаем $u_1^{(\text{ф,оп})} = z_1 - c_1^{(\text{оп})}$ и $u_n^{(\text{ф,оп})} = z_n - c_n^{(\text{оп})}$. Сравнивая $u_1^{(\text{ф,оп})}$ и $u_n^{(\text{ф,оп})}$, получаем результат, аналогичный результату, полученному для принципа прямых приоритетов.

3. Финансирование агентов при неполной информированности центра

Неполная информированность Центра предполагает, что Центру не известны фактические затраты на выполнение каждого проекта z_i, $i = 1, \ldots, n$, а информацию о планируемых затратах на выполнение проектов Z_i, $i = 1, \ldots, n$ Центр получает от агентов.

В этом случае каждый агент сообщает в Центр значение планируемых затрат Z_i, $i = 1, \ldots, n$ и значение w_i — часть планируемых затрат, которую агент финансирует из собственных средств. Отсюда получаем

$$u_i = w_i Z_i, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Соответственно, заявка на финансирование i-го агента определяется как

$$s_i = (1 - w_i) Z_i, \quad i = 1, \ldots, n. \tag{12}$$

Фактическая прибыль i-го агента определяется как

$$f_i^{(\text{ф})} = Э_i + c_i - z_i, \quad i = 1, \ldots, n, \tag{13}$$

в то время как плановая прибыль может быть записана в виде

$$f_i^{(\text{пл})} = Э_i + c_i - Z_i, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Перепишем (13) в виде

$$f_i^{(\text{ф})} = Э_i + c_i - z_i = Э_i + c_i - (z_i - Z_i + Z_i) = f_i^{(\text{пл})} + Z_i - z_i, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Учитывая, что фактические затраты z_i известны агентам и агент не может получить от Центра больше средств, чем он планирует потратить, естественно предполагать, что планируемые затраты Z_i больше фактических, и в этом случае разницу $Z_i - z_i > 0$ можно считать сверхплановой прибылью $f_i^{(\text{сп})} = Z_i - z_i$. В дальнейшем будем считать, что фактическая прибыль i-го агента рассчитывается как

$$\begin{aligned} f_i^{(\text{ф})} &= f_i^{(\text{пл})} + q f_i^{(\text{сп})} = Э_i + c_i - Z_i + q(Z_i - z_i) = \\ &= Э_i + c_i - (1 - q) Z_i - q z_i, \quad i = 1, \ldots, n, \end{aligned} \tag{14}$$

где $q \leqslant 1$. Если $q \in (0; 1]$, то это означает, что Центр оставляет в распоряжении агента часть сверхплановой прибыли. Соответственно, q — норматив, определяющий величину сверхплановой прибыли, остающейся у агента. Если же $q \leqslant 0$, то q — коэффициент штрафа за искажение информации агента о затратах на выполнение проекта [12].

Здесь также сначала рассмотрим случай, когда Центр в состоянии выделить всем агентам запрашиваемые средства в полном объеме. Тогда, очевидно, $c_i = s_i$, $i = 1, \ldots, n$ и, соответственно,

$$f_i^{(\text{ф})} = Э_i + s_i - (1 - q) Z_i - q z_i, \quad i = 1, \ldots, n. \tag{15}$$

Учитывая (12), выражение (15) можно переписать в виде

$$f_i^{(\text{ф})} = Э_i + (1 - w_i + q) Z_i - q z_i, \quad i = 1, \ldots, n. \tag{16}$$

Из (16) легко видеть, что агентам всегда выгодно завышать планируемые затраты, так как для $q \in (0; 1]$ всегда справедливо неравенство

$$1 - w_i + q > 0.$$

Если средства Центра ограничены, то, как и в случае полной информированности для определения размера финансирования c_i i-го проекта, $i = 1, \ldots, n$, Центр использует приоритетные процедуры распределения [6], а целевая функция агента записывается в виде (14).

Рассмотрим сначала процедуру прямых приоритетов. Объем средств, который выделяет Центр на выполнение i-го проекта, при этом определяется как

$$c_i^{(\text{пп})} = \frac{A_i (1 - w_i) Z_i}{\sum\limits_{q=1}^{n} A_q (1 - w_q) Z_q} R, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Если Центр установил приоритеты как (6), то

$$c_i^{(\text{пп})} = \frac{a_i Z_i}{\sum\limits_{q=1}^{n} a_q Z_q} R, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Целевая функция (14) в этом случае записывается в виде

$$f_i^{(\text{ф})} = Э_i + \frac{a_i Z_i}{\sum\limits_{q=1}^{n} a_q Z_q} R - (1 - q) Z_i - q z_i, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Для определения плановых значений затрат Z_i^* в ситуации равновесия по Нэшу необходимо решить систему уравнений

$$\frac{\partial f_i^{(\text{ф})}}{\partial Z_i} = a_i \frac{\sum\limits_{q=1}^{n} a_q Z_q - a_i Z_i}{\left(\sum\limits_{q=1}^{n} a_q Z_q \right)^2} R - (1 - q) = 0, \quad i = 1, \ldots, n. \tag{17}$$

Решая систему (17) получаем

$$Z_i^* = \frac{n - 1}{(1 - q) a_i \sum\limits_{q=1}^{n} \frac{1}{a_q}} R \left(1 - \frac{n - 1}{a_i \sum\limits_{q=1}^{n} \frac{1}{a_q}} \right), \quad i = 1, \ldots, n. \tag{18}$$

Отсюда легко получить размер финансирования агентов в ситуации равновесия по Нэшу

$$(19)\qquad c_i^{*(\text{пп})} = \left(1 - \frac{n-1}{a_i \sum\limits_{q=1}^{n} \dfrac{1}{a_q}}\right) R, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Соответственно, можем записать $u_i^{*(\text{пп})} = z_i - c_i^{*(\text{пп})}$, $i = 1, \ldots, n$.

Пусть выполнено условие 1, тогда (18) можно записать в виде

$$(20)\qquad Z_i^{*(\text{пп})} = \begin{cases} \dfrac{(n-1)[(b^3-1)(n-m)+1]}{(1-q)[m+b^3(n-m)]^2} R, & i = 1, \ldots, m, \\[2ex] \dfrac{(n-1)b^3[b^3 - m(b^3-1)]}{(1-q)[m+b^3(n-m)]^2} R, & i = m+1, \ldots, n. \end{cases}$$

Размер финансирования агентов в ситуации равновесия по Нэшу определяется как

$$c_i^{*(\text{пп})} = \begin{cases} \dfrac{(b^3-1)(n-m)+1}{m+b^3(n-m)} R, & i = 1, \ldots, m, \\[2ex] \dfrac{b^3 - m(b^3-1)}{m+b^3(n-m)} R, & i = m+1, \ldots, n. \end{cases}$$

Требование положительного значения финансирования проектов приводит к необходимости выполнения следующего неравенства:

$$(21)\qquad b^3 - (b^3-1)m > 0.$$

Из (21) получаем

$$(22)\qquad m < \frac{b^3}{b^3-1}.$$

Неравенство (22) означает, что чем больше отношение максимального приоритета к минимальному, тем меньше должно быть проектов с максимальным приоритетом.

В случае, когда $m = n$, т.е. все проекты одинаково важны для Центра, выражения (18) и (19) записываются в виде

$$(23)\qquad \begin{cases} \hat{Z}_i^{*} = \dfrac{n-1}{(1-q)n^2} R, \\[2ex] \hat{c}_i^{*(\text{пп})} = R/n, \end{cases} \qquad i = 1, \ldots, n.$$

Учитывая (23) можем выразить размер собственных средств агентов в ситуации равновесия по Нэшу, направляемых на выполнение проектов $\hat{u}_i^{*(\text{пп})} = z_i - \hat{c}_i^{*(\text{пп})}$, $i = 1, \ldots, n$.

Если предположить, что $z_1 = z_n$, то сравнивая $\hat{u}_1^{*(\text{пп})}$ и $\hat{u}_n^{*(\text{пп})}$, можно утверждать, что агент, проект которого имеет меньший приоритет, выделяет больше собственных средств на его выполнение.

Действительно, это легко видеть из неравенства

$$z_n - \frac{b^3 - m(b^3-1)}{m + b^3(n-m)} R > z_1 - \frac{(b^3-1)(n-m)+1}{m+b^3(n-m)} R.$$

Рассмотрим теперь процедуру обратных приоритетов. Объем средств, который выделяет Центр на выполнение i-го проекта, в этом случае определяется как

$$c_i^{(\text{оп})} = \min \left\{ (1-w_i)Z_i;\ \frac{A_i}{(1-w_i)Z_i \sum\limits_{q \in N} A_q \Big/ [(1-w_q)Z_q]} R \right\}, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Агент получает максимальное финансирование, если выполняется условие

$$(1-w_i)Z_i = \frac{A_i}{(1-w_i)Z_i \sum\limits_{q \in N} A_q \Big/ [(1-w_q)Z_q]} R, \quad i = 1, \ldots, n.$$

Отсюда легко получить

$$c_i^{(\text{оп})} = \frac{\sqrt[3]{a_i Z_i}}{\sum\limits_{q \in N} \sqrt[3]{a_q Z_q}} R, \quad i = 1, \ldots, n. \tag{24}$$

Пусть выполнено условие 1, тогда (24) можно записать в виде

$$c_i^{(\text{оп})} = \begin{cases} \dfrac{b\sqrt[3]{Z_i}}{b\sum\limits_{q=1}^{m} \sqrt[3]{Z_q} + \sum\limits_{q=m+1}^{n} \sqrt[3]{Z_q}} R, & i = 1, \ldots, m, \\[2ex] \dfrac{\sqrt[3]{Z_i}}{b\sum\limits_{q=1}^{m} \sqrt[3]{Z_q} + \sum\limits_{q=m+1}^{n} \sqrt[3]{Z_q}} R, & i = m+1, \ldots, n. \end{cases} \tag{25}$$

Целевая функция (14) в этом случае записывается в виде

$$f_i^{(\text{ф})} = \begin{cases} Э_i + \dfrac{b\sqrt[3]{Z_i}}{b\sum\limits_{q=1}^{m}\sqrt[3]{Z_q} + \sum\limits_{q=m+1}^{n}\sqrt[3]{Z_q}} R - (1-q)Z_i - qz_i, & i = 1, \ldots, m, \\ Э_i + \dfrac{\sqrt[3]{Z_i}}{b\sum\limits_{q=1}^{m}\sqrt[3]{Z_q} + \sum\limits_{q=m+1}^{n}\sqrt[3]{Z_q}} R(1-q)Z_i - qz_i, & i = m+1, \ldots, n. \end{cases}$$

При выполнении условия слабого влияния [5]

$$\frac{\partial}{\partial Z_i} \frac{1}{b\sum\limits_{q=1}^{m}\sqrt[3]{Z_q} + \sum\limits_{q=m+1}^{n}\sqrt[3]{Z_q}} = 0$$

для определения плановых значений затрат Z_i^* в ситуации равновесия по Нэшу необходимо решить систему уравнений

$$\frac{\partial f_i^{(\text{ф})}}{\partial Z_i} = \tag{26}$$

$$= \begin{cases} \dfrac{b}{3Z_i^{2/3}\left[be\sum\limits_{q=1}^{m}\sqrt[3]{Z_q} + \sum\limits_{q=m+1}^{n}\sqrt[3]{Z_q}\right]} R - (1-q) = 0, & i = 1, \ldots, m, \\ \dfrac{1}{3Z_i^{2/3}\left[be\sum\limits_{q=1}^{m}\sqrt[3]{Z_q} + \sum\limits_{q=m+1}^{n}\sqrt[3]{Z_q}\right]} R - (1-q) = 0, & i = m+1, \ldots, n. \end{cases}$$

Из (26) получаем

$$Z_i^* = \begin{cases} \dfrac{b\sqrt{b}}{3(1-q)\left[mb\sqrt{b} + (n-m)\right]} R, & i = 1, \ldots, m, \\ \dfrac{1}{3(1-q)\left[mb\sqrt{b} + (n-m)\right]} R, & i = m+1, \ldots, n. \end{cases} \tag{27}$$

Выражение (27) означает, что плановые затраты агента, который имеет более высокий приоритет в ситуации равновесия по Нэшу, всегда оказывается выше плановых затрат агента с более низким приоритетом.

Учитывая (25), легко получить размер финансирования агентов в ситуации равновесия по Нэшу

$$c_i^{*(\text{оп})} = \begin{cases} \dfrac{b^{3/2}}{b^{3/2}m + (n-m)} R, & i = 1, \ldots, m, \\ \dfrac{1}{b^{3/2}m + (n-m)} R, & i = m+1, \ldots, n. \end{cases} \tag{28}$$

Выражение (28) означает, что финансирование агента, который имеет более высокий приоритет в ситуации равновесия по Нэшу, всегда оказывается выше финансирования агента с более низким приоритетом.

Учитывая (28), можем выразить размер собственных средств агентов в ситуации равновесия по Нэшу, направляемых на выполнение проектов $u_i^{*(\text{оп})} = z_i - c_i^{*(\text{оп})}$.

Если предположить, что $z_1 = z_n$, то, сравнивая $u_1^{*(\text{пп})}$ и $u_n^{*(\text{пп})}$, можно утверждать, что агент, проект которого имеет меньший приоритет, выделяет больше собственных средств на его выполнение.

Действительно, это легко видеть из неравенства

$$z_n - \frac{1}{b^{3/2}m + (n-m)}R > z_1 - \frac{b^{3/2}}{b^{3/2}m + (n-m)}R.$$

В случае, когда $m = n$, т.е. все проекты одинаково важны для Центра, выражения (27) и (28) записываются в виде

$$Z_i^* = \frac{R}{3(1-q)}, \quad i = 1, \ldots, n$$

и $c_i^{*(\text{оп})} = R/n$, $i = 1, \ldots, n$.

Покажем, что

$$c_i^{*(\text{пп})} < c_i^{*(\text{оп})}, \quad i = m+1, \ldots, n. \tag{29}$$

Перепишем (29) в виде

$$\frac{b^3 - m(b^3-1)}{m + b^3(n-m)}R < \frac{1}{b^{3/2}m + (n-m)}R.$$

После несложных преобразований получаем

$$\left[b^3 - m(b^3-1)\right]\left(b^{3/2} - 1\right) - (n-1)(b^3-1) < 0. \tag{30}$$

Так как $m \geqslant 1$, то неравенство (30) будет выполняться всегда, если справедливо неравенство

$$\left(b^{3/2} - 1\right) - (n-1)(b^3-1) < 0.$$

Переписав это неравенство в виде

$$1 - (n-1)\left(b^{3/2} + 1\right) < 0.$$

Легко убедиться, что неравенство (29) справедливо. Фактически здесь показано, что в ситуации равновесия по Нэшу распределение Центром средств на основе принципа обратных приоритетов обеспечивает агентам с более низким приоритетом получение большего объема финансирования, чем при распределении средств на основе принципа прямых приоритетов. Отсюда следует, что $u_i^{*(\text{ф,оп})} < u_i^{*(\text{ф,пп})}$, $i = m+1, \ldots, n$.

4. Заключение

Анализ функционирования модели механизма смешанного финансирования позволяет сделать следующие выводы. Агенты выделяют разный объем собственных средств на выполнение проектов, имеющих разные приоритеты, но требующих одинаковых фактических затрат в случае, когда финансирование осуществляются при полной информированности Центра и применяется или принцип прямых приоритетов, или принцип обратных приоритетов. При этом агент, проект которого имеет низкий приоритет, получает меньше средств из Центра и, соответственно, выделяет больше собственных средств на выполнение проекта.

В случае финансирования агентов при неполной информированности Центра и применения или принципа прямых приоритетов, или принципа обратных приоритетов агент, который имеет более высокий приоритет в ситуации равновесия по Нэшу, всегда получает больше средств, чем агент с более низким приоритетом. И при совпадении фактических затрат, агент, проект которого имеет низкий приоритет, выделяет больше собственных средств на выполнение проекта. Кроме того, следует отметить, что в ситуации равновесия по Нэшу распределение Центром средств на основе принципа обратных приоритетов обеспечивает агентам с более низким приоритетом получение большего объема финансирования, чем при распределении средств на основе принципа прямых приоритетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бурков В.Н., Новиков Д.А.* Как управлять проектами. М.: Синтег, 1997.
2. *Новиков Д.А., Пузырев С.А., Хорохордина Н.В.* Механизмы смешанного финансирования // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 2 (20). С. 71–72.
3. *Бурков В.Н., Буркова И.В., Губко М.В. и др.* Механизмы управления: Мультифункциональное учебное пособие; под ред. Д.А. Новикова. Изд. 2-е переработанное и доп. М.: ЛЕНАНД, 2013.
4. *Иващенко А.А., Колобов Д.В., Новиков Д.А.* Механизмы финансирования инновационного развития фирмы. М.: ИПУ РАН, 2005.
5. *Бурков В.Н.* Основы математической теории активных систем. М.: Наука, 1977.
6. *Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А.* Введение в теорию управления организационными системами: учебник; под ред. Д.А. Новикова. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.
7. *Habbel V., Jackson E., Orth M. et al.* Evaluating blended finance instruments and mechanisms: Approaches and methods // OECD Development Co-operation Working Papers, Paris, No 101, OECD Publishing, 2021, 65 p.
8. *Andersen W.O., Basile I., Gotz G. et al.* Blended Finance Evaluation: Governance and Methodological Challenges, OECD Development Co-operation Working Papers, Paris, 2019, No 51, OECD Publishing, https://dx.doi.org/10.1787/4c1fc76e-en.
9. *Javier Pereira.* Blended Finance: What is it, how it works and how it is used // Oxfam International, Feb. 13 2017, https://www.oxfam.org/en/research/blended-finance-what-it-how-it-works-and-how-it-used.

10. *Chainz Christina, Hendrik Hakenes.* The politician and his banker — How to efficiently grant state aid // Journal of Public Economics. 2012. V. 96. P. 218–225.
11. *Chen J.* Risk-Adjusted Return, Investopedia, Dec. 20 2018, https://www.investopedia.com/terms/r/riskadjustedreturn.asp.
12. *Бурков В.Н., Щепкин А.В.* Противозатратные механизмы ценообразования при ограничении на сумму цен // Проблемы управления. 2021. № 3. С. 42–49.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.И. Михальским.

Поступила в редакцию 31.05.2023

После доработки 14.09.2023

Принята к публикации 30.09.2023