

pISSN 2073-1477
eISSN 2311-8733

Устойчивое развитие регионов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РАНДОМИЗИРОВАННЫХ СВОДНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫБОРА ПРИОРИТЕТОВ КЛАСТЕРНОГО РАЗВИТИЯ

Дмитрий Владимирович КОЛОДКО ^{a,*},
Тамара Николаевна СЕЛЕНТЬЕВА ^b,
Андрей Александрович ЗАЙЦЕВ ^c

^a кандидат экономических наук,
доцент кафедры бизнес-информатики,
Северо-Западный институт управления, филиал Российской академии народного
хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (СЗИУ РАНХиГС),
Санкт-Петербург, Российская Федерация
dvkolodko2019@gmail.com
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 2079-6082

^b старший преподаватель,
Высшая инженерно-экономическая школа,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),
Санкт-Петербург, Российская Федерация
selentieva_tn@spbstu.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 1664-5995

^c доктор экономических наук, профессор,
Высшая инженерно-экономическая школа,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),
Санкт-Петербург, Российская Федерация
andrey_z7@mail.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 6011-8893

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 102/2021
Получена 01.03.2021
Получена в
доработанном виде
20.03.2021
Одобрена 03.04.2021
Доступна онлайн
14.05.2021

УДК 332.14

JEL: D23, L52, R58

Ключевые слова:

метод
рандомизированных

Аннотация

Предмет. Инновационная деятельность предприятий – участников кластеров.

Цели. Обоснование выбора объектов государственной поддержки инновационной деятельности предприятий – участников кластеров.

Методология. Иерархический метод рандомизированных сводных показателей. Метод Монте-Карло.

Результаты. Массив данных был получен в ходе проведения исследования кластерного строительства в Санкт-Петербурге. На основе расчетов продемонстрирован выбор двух предприятий, наилучших по оценке вероятности доминирования. Обоснована возможность использования в качестве критерия выбора такой характеристики рандомизированных сводных показателей, как величина математического ожидания.

Выводы. Разработанный в ходе исследования алгоритм

сводных показателей, применения метода рандомизированных сводных показателей метод Монте-Карло, развивает инструментальное обеспечение институционального инновационная подхода к анализу деятельности региональных кластеров.

кооперация, кластер,

государственная

поддержка

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2021

Для цитирования: Колодко Д.В., Селентьева Т.Н., Зайцев А.А. Использование метода рандомизированных сводных показателей для выбора приоритетов кластерного развития // Региональная экономика: теория и практика. – 2021. – Т. 19, № 5. – С. 880 – 906.

<https://doi.org/10.24891/re.19.5.880>

Введение

В экономической практике часто возникают задачи многокритериального выбора, когда на основе нескольких характеристик $x_1, x_2, \dots, x_n$ требуется выбрать наилучший объект из нескольких возможных. Лицу, принимающему решение (ЛПР), могут быть достаточно точно известны его предпочтения и бюджетное ограничение, чтобы выбрать единственный объект и быть абсолютно уверенным в оптимальности своего выбора.

Однако ЛПР может и не знать, как именно та или иная характеристика влияет на общее качество. Например, это относится к случаям, когда сравниваются объекты, близкие друг к другу по своим характеристикам.

Метод рандомизированных сводных показателей

Для решения задачи многокритериального выбора может быть использован метод сводных показателей [1–4], суть которого заключается в свертке критериев – в построении сводного (интегрального) показателя с помощью некоторой функции n переменных:

$$Q = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Широко используется линейная свертка:

$$Q = w_1 q_1 + w_2 q_2 + \dots + w_n q_n \quad (2)$$

При этом безразмерные отдельные показатели (критерии) $q_1, q_2, \dots, q_n$ рассчитываются на основе характеристик $x_1, x_2, \dots, x_n$ либо по формуле (3):

$$q_i = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i > \max x_i \\ \frac{x_i - \min x_i}{\max x_i - \min x_i}, & \text{если } \min x_i \leq x_i \leq \max x_i \\ 0, & \text{если } x_i < \min x_i \end{cases}, \quad (3)$$

если влияние характеристики на общее качество объекта положительное (то есть, чем больше значение характеристики, тем выше качество), либо по формуле (4):

$$q_i = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i > \max x_i \\ \frac{\max x_i - x_i}{\max x_i - \min x_i}, & \text{если } \min x_i \leq x_i \leq \max x_i \\ 1, & \text{если } x_i < \min x_i \end{cases}, \quad (4)$$

если влияние характеристики на качество отрицательное (то есть, чем меньше значение характеристики, тем выше качество). При этом минимальные и максимальные значения характеристики могут быть априорно заданными константами или выбираться как наибольшие и наименьшие значения характеристик, реально наблюдаемых у сравниваемых объектов.

Коэффициенты $w_1, w_2, \dots, w_n$ называются весовыми коэффициентами и характеризуют относительную важность критериев. Сводный показатель для конкретного объекта рассчитывается как скалярное произведение вектора весовых коэффициентов и вектора отдельных показателей, характеризующих этот объект:

$$Q = (w_1, w_2, \dots, w_n) \cdot (q_1, q_2, \dots, q_n) = w \cdot q. \quad (5)$$

Вектор q любого из сравниваемых объектов представляет собой известный числовой вектор. Однако точные значения весовых коэффициентов на практике неизвестны. Как правило, ЛПР обладает лишь нечисловой, неточной и неполной информацией (ННН-информация) о весовых коэффициентах, которую можно записать как некоторую систему неравенств, ограничивающую значения $w_1, w_2, \dots, w_n$, но не позволяющую получить единственный возможный числовой вектор w^1 [5].

¹ Колесов Д.Н., Михайлов М.В., Хованов Н.В. Оценка сложных финансово-экономических объектов с использованием системы поддержки принятия решений АСПИД-3W. СПб.: Образовательный центр экономики и менеджмента, 2004. 64 с.

Метод рандомизированных сводных показателей (МРСП) основан на замене точно определенного числового вектора w на случайный вектор весовых коэффициентов $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$.

Множеством возможных значений случайного вектора $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$ является $(n-1)$ -мерный элементарный симплекс W в n -мерном пространстве:

$$W: \{(w_1, w_2, \dots, w_n) : w_i \geq 0, w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1\}. \quad (6)$$

Если у ЛПР имеется некоторая ННН-информация I о значениях весовых коэффициентов, то множеством допустимых значений будет некоторое подмножество $W(I)$ симплекса W . В данной статье будем предполагать, что подмножество $W(I)$ не пустое, то есть информация I не содержит противоречий, и, более того, имеет ненулевой $(n-1)$ -мерный объем, то есть информация I является достаточно «неточной». В частности, ЛПР неизвестно точное значение ни одной линейной комбинации весов, разумеется, кроме условия нормировки $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ и следующих из него равенств вида $cw_1 + cw_2 + \dots + cw_n = c$. Это касается и равенств вида

$$w_i = w_j, \text{ вместо которых будем использовать приблизительные равенства } |w_i - w_j| < c.$$

Распределение случайного весового вектора $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$ можно считать равномерным на $W(I)$. Множества W и $W(I)$ трехмерных векторов весовых коэффициентов, где $I: w_1 < 0,5$, представлены на *рис. 1*.

Сводный показатель также заменяется на случайную величину – на рандомизированный сводный показатель:

$$\tilde{Q} = \tilde{w} \cdot q = \tilde{w}_1 q_1 + \tilde{w}_2 q_2 + \dots + \tilde{w}_n q_n. \quad (7)$$

Если случайный вектор $\tilde{w}$ принимает некоторое значение $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, то случайная величина $\tilde{Q}$ принимает значение $Q = w_1 q_1 + w_2 q_2 + \dots + w_n q_n$. График функции $Q(w, q)$ для трехмерного случая представлен на *рис. 2*, где рандомизированный сводный показатель некоторого объекта, характеризующегося вектором отдельных показателей $q = (q_1, q_2, q_3)$, принимает значения, соответствующие аппликатам точек трапеции $B_1 C_1 E_1 D_1$.

Пусть сравниваются два объекта, характеризующиеся векторами критериев q_1 и q_2 . Их рандомизированные сводные показатели будем обозначать как

$\tilde{Q}(1) = \tilde{w} \cdot q_1$ и $\tilde{Q}(2) = \tilde{w} \cdot q_2$. Для трехмерного случая эти показатели принимают значения, соответствующие аппликатам точек трапеций $B_1C_1E_1D_1$ и $B_2C_2E_2D_2$, что наглядно изображено на *рис. 2*.

Для выбора наилучшего объекта можно использовать математические ожидания их рандомизированных сводных показателей $E\tilde{Q}$. О надежности сделанных выводов можно судить по вероятностям доминирования объектов, которые и сами могут служить основой для выбора.

Пусть $W(I, \tilde{Q}(1) > \tilde{Q}(2))$ – подмножество $W(I)$, на котором выполняется соответствующее неравенство. Поскольку случайный вектор $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$ имеет равномерное распределение на $W(I)$, то можно найти вероятность выполнения неравенства $\tilde{Q}(1) > \tilde{Q}(2)$, используя геометрическое определение вероятности:

$$p(1, 2) = P(\tilde{Q}(1) > \tilde{Q}(2)) = \frac{\text{mes}(W(I, \tilde{Q}(1) > \tilde{Q}(2)))}{\text{mes}(W(I))}, \quad (8)$$

где *mes* – мера соответствующего $(n-1)$ -мерного множества.

Например, для ситуации, изображенной на *рис. 2*, вероятность доминирования можно найти как отношение площадей $p(1, 2) = S_{BHGD}/S_{BCED}$.

При сравнении M объектов для каждого из них можно определить вероятность абсолютного доминирования:

$$p(i) = P(\tilde{Q}(i) > \tilde{Q}(1, \dots, i-1, i+1, \dots, M)) = \frac{\text{mes}(W(I, \tilde{Q}(i) > \tilde{Q}(1, \dots, i-1, i+1, \dots, M)))}{\text{mes}(W(I))}, \quad (9)$$

где i – номер объекта от 1 до M , $W(I, \tilde{Q}(i) > \tilde{Q}(1, \dots, i-1, i+1, \dots, M))$ – подмножество $W(I)$, на котором сводный показатель i -го объекта превышает сводные показатели всех остальных сравниваемых объектов.

Вероятность абсолютного доминирования $p(i)$ можно интерпретировать как степень уверенности в том, что i -й объект является наиболее предпочтительным. Следовательно, можно рекомендовать ЛПР выбирать объект с наибольшей вероятностью абсолютного доминирования или вовсе рандомизировать процедуру выбора: решение в пользу того или иного объекта принимать случайно, причем i -й объект выбирать с вероятностью $p(i)$.

Если объекты сравнения характеризуются большим числом отдельных показателей, у экспертов могут возникнуть трудности с оценкой весовых коэффициентов. Обычно в таких случаях используют иерархическую систему синтеза сводных показателей [5]:

- выделяются группы отдельных показателей, обычно однородных, то есть характеризующих объект с какой-то одной стороны;
- оценивается относительная важность показателей в каждой группе, строятся сводные показатели первого иерархического уровня.
- на следующем иерархическом уровне роль отдельных показателей играют сводные показатели предыдущего уровня; при необходимости их также разделяют на группы;
- процесс завершается построением единственного сводного показателя Q_g высшего иерархического уровня.

Схема двухуровневой иерархии сводных показателей представлена на *рис. 3*. Вариант МРСП для этого случая – иерархический метод рандомизированных сводных показателей (ИМРСП). Итоговый рандомизированный сводный показатель в общем случае представляет собой случайную величину:

$$\tilde{Q}_g = \tilde{w}_{g1} \tilde{Q}_1 + \dots + \tilde{w}_{gn_g} \tilde{Q}_{n_g} = \tilde{w}_{g1} (\tilde{w}_{11} \tilde{Q}_{11} + \dots + \tilde{w}_{1n_1} \tilde{Q}_{1n_1}) + \dots + \tilde{w}_{gn_g} (\tilde{w}_{g1} \tilde{Q}_{g1} + \dots + \tilde{w}_{g n_{ng}} \tilde{Q}_{g n_{ng}}) = \dots, \quad (10)$$

где $\tilde{Q}_1, \dots, \tilde{Q}_{n_g}, \tilde{Q}_{11}, \dots, \tilde{Q}_{n_g n_{ng}}, \dots$ – рандомизированные сводные показатели нижних иерархических уровней, которые можно продолжить выражать через сводные показатели более низких уровней, пока $\tilde{Q}_g$ не будет записан как функция всех случайных векторов весовых коэффициентов и вектора отдельных характеристик $\tilde{Q}_g(\tilde{w}_g, \tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_{n_g}, \dots, q)$.

Назовем вектор всех весовых коэффициентов вектором весов иерархии:

$$h \tilde{w} = (\tilde{w}_g, \tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_k, \dots) = (\tilde{w}_{g1}, \dots, \tilde{w}_{gn_g}; \tilde{w}_{11}, \dots, \tilde{w}_{1n_1}; \dots; \tilde{w}_{k1}, \dots, \tilde{w}_{kn_k}; \dots). \quad (11)$$

Если предположить, что случайные векторы весовых коэффициентов $\tilde{w}_g, \tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_k, \dots$ независимы, то вектор весов иерархии будет иметь равномерное распределение на декартовом произведении множеств допустимых значений векторов весовых коэффициентов $W(I_g) \times W(I_1) \times \dots \times W(I_k) \times \dots$.

Таким образом, итоговый рандомизированный сводный показатель представляет собой известную функцию $\tilde{Q}_g(h\tilde{w}, q)$ известной многомерной случайной величины $h\tilde{w}$ и вектора отдельных показателей q объекта. Как и в неирерархическом случае, для выбора наилучшего из M объектов могут использоваться математические ожидания $E\tilde{Q}_g(i)$ и/или вероятности доминирования $p(i)$.

Оценка параметров методом Монте-Карло

Для оценки математических ожиданий рандомизированных сводных показателей, вероятностей доминирования и, при необходимости, других величин можно использовать следующий способ, реализованный в ASPID-3W и APIS. Предполагается, что весовые коэффициенты отсчитываются с некоторым шагом отсчета $h=1/k$, то есть непрерывное множество W заменяется на дискретное множество WD (рис. 4), которое состоит из числа элементов, равного:

$$N(WD) = \frac{(k+n-1)!}{k!(n-1)!} . \quad (12)$$

Из этого множества затем выбираются все векторы весовых коэффициентов, удовлетворяющие системе ограничений I , то есть вместо непрерывного множества $W(I)$ рассматривается дискретное множество $WD(I)$. Поскольку W и $WD(I)$ содержат конечное число элементов (весовых векторов), это позволяет рассчитать математические ожидания рандомизированных сводных показателей и вероятности доминирования.

Заметим, что при таком подходе дискретное множество WD отождествляется с W , а не считается его приближенной моделью (например, выборкой из него). Соответственно, результаты расчетов считаются не оценками характеристик, а их истинными значениями. Если же не отождествлять W и WD , а результаты расчетов принимать не за точные значения, а только за оценки, то возникнет вопрос об их точности.

WD есть множество узлов регулярной сетки на W , с чем связаны некоторые проблемы. Например, при некотором шаге отсчета и произвольных ограничениях I множество $WD(I)$ может содержать слишком малое число элементов. Для его увеличения потребуется уменьшить шаг отсчета h (увеличить k), что не всегда возможно, так как число $N(WD)$ от этого может увеличиться настолько, что перебор всех его элементов будет практически неосуществимым. Также система ограничений I , как правило, содержит простые неравенства вида $w_i > w_j$ или $w_k > c$, поэтому на границу множества

$W(I)$ будет попадать много узлов сетки и, значит, будет иметь значение, строгими или нестрогими являются неравенства, входящие в I .

Оценить все необходимые величины можно с помощью метода Монте-Карло. В этом случае вместо регулярной сетки $WD(I)$ используется набор реализаций случайного вектора $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$ – выборка $S(I)$, состоящая из N элементов (рис. 4). Поскольку распределение $\tilde{w}$ считается равномерным на $W(I)$, выборку размера N можно сформировать следующим образом.

На первом этапе следует получить K реализаций многомерной случайной величины, имеющей распределение Дирихле $Dir(w_1, \dots, w_n; \alpha_1, \dots, \alpha_n)$ с параметрами $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 1$, которое, как известно, и является равномерным распределением на элементарном симплексе W . Для получения одной реализации $(w_1, w_2, \dots, w_n)$ нужно получить n независимых реализаций $v_1, v_2, \dots, v_n$ случайных величин, имеющих гамма-распределение $\Gamma(1, 1)$, после чего найти:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{j=1}^n v_j} . \quad (13)$$

На втором этапе следует добавить в выборку $S(I)$ те реализации $(w_1, w_2, \dots, w_n)$, которые удовлетворяют системе ограничений I , то есть те, которые принадлежат множеству $W(I)$. Если после этого размер $S(I)$ меньше N , то необходимо вернуться к первому этапу.

Программный код на языке R для случая $n=3$ приведен на рис. 5.

На основе выборки $S(I)$ получаются M выборок значений рандомизированных сводных показателей каждого из M сравниваемых объектов. По каждой из этих выборок можно оценить математическое ожидание $E\tilde{Q}(i)$, $i=1, \dots, M$. Точечную оценку можно найти как среднее арифметическое:

$$\bar{Q}(i) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Q(i)[t] ,$$

где $Q(i)[t]$ – t -е наблюдение в выборке сводного показателя i -го объекта; наблюдения для разных i , но с одинаковым t соответствуют одному и тому же весовому вектору из $S(I)$.

Рассчитанное среднее арифметическое можно считать реализацией случайной величины

$$\bar{Q}(i) = \frac{1}{N} \left(\underbrace{\tilde{Q}(i) + \dots + \tilde{Q}(i)}_{N \text{ слагаемых}} \right), \quad (14)$$

которая характеризуется математическим ожиданием $E\bar{Q}(i) = E\tilde{Q}(i)$ и дисперсией $D\bar{Q}(i) = \frac{1}{N} D\tilde{Q}(i)$. Рандомизированный сводный показатель любого i -го объекта – это случайная величина, распределенная на отрезке $[0, 1]$. Если случайная величина X распределена на отрезке $[0, 1]$, то ее дисперсия $DX \leq \frac{1}{4}$, поэтому для $\bar{Q}(i)$ можно записать неравенство Чебышева [1] в виде:

$$P(|\bar{Q}(i) - E\tilde{Q}(i)| \geq d) \leq \frac{D\tilde{Q}(i)}{Nd^2} < \frac{1}{4Nd^2},$$

откуда следует, что в качестве доверительного интервала с уровнем надежности не меньше $(1-\alpha)$ для этой оценки можно использовать:

$$\bar{Q}(i) - \sqrt{\frac{1}{4N\alpha}} < E\tilde{Q}(i) < \bar{Q}(i) + \sqrt{\frac{1}{4N\alpha}}. \quad (15)$$

Хотя полученные оценки и грубые, сформировав выборку большого размера, можно получить достаточно узкие доверительные интервалы. По полученным выборкам можно оценить и дисперсии $D\tilde{Q}(i)$, $i=1, \dots, M$ рандомизированных сводных показателей каждого из M сравниваемых объектов. Точечную оценку можно рассчитать по формуле несмещенной выборочной дисперсии:

$$s^2(i) = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (Q(i)[t] - \bar{Q}(i))^2. \quad (16)$$

Рассчитанную выборочную дисперсию можно считать реализацией случайной величины

$$D\tilde{s}^2(i) = \left(\frac{N}{N-1} \right)^2 \left(\frac{\mu_4 \tilde{Q}(i) - (D\tilde{Q}(i))^2}{N} - \frac{2(\mu_4 \tilde{Q}(i) - 2(D\tilde{Q}(i))^2)}{N^2} + \frac{\mu_4 \tilde{Q}(i) - 3(D\tilde{Q}(i))^2}{N^3} \right), \quad (17)$$

которая характеризуется математическим ожиданием $E\tilde{s}^2(i) = D\tilde{Q}(i)$ и дисперсией [5]:

$$D\tilde{s}^2(i) = \left(\frac{N}{N-1} \right)^2 \left(\frac{\mu_4 \tilde{Q}(i) - (D\tilde{Q}(i))^2}{N} - \frac{2(\mu_4 \tilde{Q}(i) - 2(D\tilde{Q}(i))^2)}{N^2} + \frac{\mu_4 \tilde{Q}(i) - 3(D\tilde{Q}(i))^2}{N^3} \right),$$

где $\mu_4 \tilde{Q}(i)$ – центральный момент четвертого порядка. Для случайной величины X , распределенной на $[0, 1]$:

$$\mu_4 X = \int_0^1 (x - EX)^4 dF(x) < \int_0^1 1 f(x) dF(x) = 1.$$

При больших N дисперсия $D\tilde{s}^2(i)$ примерно равна

$$D\tilde{s}^2(i) \approx \frac{\mu_4 \tilde{Q}(i) - (D\tilde{Q}(i))^2}{N} < \frac{\mu_4 \tilde{Q}(i)}{N} < \frac{1}{N}.$$

Тогда можно записать неравенство Чебышева:

$$P(|\tilde{s}^2(i) - D\tilde{Q}(i)| \geq d) \leq \frac{D\tilde{s}^2(i)}{d^2} < \frac{1}{Nd^2},$$

откуда следует, что в качестве доверительного интервала с уровнем надежности не меньше $(1-\alpha)$ для дисперсии рандомизированного сводного показателя можно использовать:

$$s^2(i) - \sqrt{\frac{1}{N\alpha}} < D\tilde{Q}(i) < s^2(i) + \sqrt{\frac{1}{N\alpha}}. \quad (19)$$

По совокупности выборок можно оценить вероятности доминирования $p(i, j)$ и $p(i)$. Точечными оценками являются относительные частоты:

$$\omega(i, j) = \frac{N(Q(i) > Q(j))}{N}, \quad (20)$$

$$\omega(i) = \frac{N(Q(i) > Q(1, \dots, i-1, i+1, \dots, M))}{N}. \quad (21)$$

Доверительный интервал с уровнем надежности $(1-\alpha)$ имеет вид:

$$\omega + \Phi^{-1}(\alpha/2) \sqrt{\frac{\omega(1-\omega)}{N}} \leq p \leq \omega + \Phi^{-1}(1-\alpha/2) \sqrt{\frac{\omega(1-\omega)}{N}}, \quad (22)$$

где p – вероятность $p(i, j)$ или $p(i)$, а ω – соответствующая ей относительная частота $\omega(i, j)$ или $\omega(i)$.

Если же относительная частота ω равна нулю, то доверительный интервал с уровнем надежности $1-\alpha$ имеет вид:

$$0 \leq p \leq 1 - \frac{N}{\sqrt{\pi}} \quad (23)$$

Применение иерархического метода рандомизированных сводных показателей требует формирования выборки N значений вектора весов иерархии $h\tilde{w}$, имеющих равномерное распределение на декартовом произведении $W(I_g) \times W(I_1) \times \dots \times W(I_k) \times \dots$.

Можно предложить следующую процедуру, аналогичную предложенной в работе [3]. Первый шаг – получить выборки $S(I_g), S(I_1), \dots, S(I_k), \dots$ указанным способом. Размеры этих выборок могут быть как одинаковыми, так и различными.

На втором шаге случайно с равной вероятностью выбирается один элемент (вектор) из $S(I_g)$. Независимо от него выбирается один элемент из $S(I_1)$ и т.д. Совокупность выбранных элементов и представляет собой одно выборочное значение вектора весов иерархии. Второй шаг повторяется N раз, пока не будет сформирована выборка нужного размера.

На основе полученной выборки рассчитываются выборочные значения сводных показателей сравниваемых объектов. Оценка математических ожиданий и вероятностей доминирования проводится по формулам (13–23).

Результаты

Предложенный вариант метода рандомизированных сводных показателей был применен в рамках второго этапа исследования деятельности региональных инновационных кластеров Санкт-Петербурга, целью которого стало моделирование выбора лиц, принимающих решение, предприятий – участников кластеров, приоритетных с точки зрения государственной поддержки инновационной деятельности. В данной статье представлены результаты, полученные для кластера станкоинструментальной промышленности.

Показатели, по которым проводилось сравнение, были разделены на три группы. Первая группа – общие характеристики.

Год регистрации (x_{11}). Чем дольше существует предприятие (то есть чем раньше оно зарегистрировано), тем оно предпочтительнее. При этом будем

считать, что предприятия, зарегистрированные ранее 2010 г., являются с точки зрения этого показателя одинаково предпочтительными ($\min x_{11} = 2010$).

Выручка (x_{12}). В целях сглаживания случайных отклонений будем использовать среднюю выручку за последние четыре года. Чем больше значение данного показателя, тем предпочтительнее предприятие.

Чистая прибыль (x_{13}). Как и в случае с выручкой, будем использовать среднее значение за последние четыре года. Чем больше значение, тем лучше. При этом будем считать, что все убыточные предприятия, независимо от величины убытка, являются одинаково предпочтительными ($\min x_{13} = 0$).

Вторая группа – стоимостные характеристики инновационной деятельности.

Затраты на осуществление инноваций в рамках инновационной кооперации (взаимодействия предприятий в рамках совместных проектов) (x_{21}). Используется средняя величина за последние четыре года. Чем больше значение показателя, тем предприятие предпочтительнее.

Затраты на осуществление собственных инноваций в среднем за последние четыре года (x_{22}). Чем больше значение показателя, тем предприятие предпочтительнее.

Доход от реализации совместных (кластерных) инновационных проектов в среднем за последние четыре года (x_{23}). Предпочтительнее те предприятия, у которых этот показатель больше.

Доход от реализации собственных инновационных проектов в среднем за последние четыре года (x_{24}). Предпочтительнее те предприятия, у которых этот показатель больше.

Государственная поддержка инновационной деятельности (субсидии и др.) (x_{25}). Положительным будет считаться только сам факт получения субсидий хотя бы раз за последние четыре года.

Третья группа – временные характеристики деятельности предприятия.

Время поиска контрагентов (или субъектов государственной помощи) (x_{31}). Используется значение показателя за 2019 г., выраженное в неделях. Предпочтительным является предприятие с меньшим значением данного показателя.

Время заключения контрактов с контрагентами (или время получения государственной помощи) (x_{32}). Используется значение показателя за 2019 г., выраженное в неделях. Предпочтительным является предприятие с меньшим значением данного показателя.

Число дней просрочки исполнения по действующим контрактам в 2019 г. (x_{33}). Чем меньше этот показатель, тем лучше работает предприятие.

В табл. 1 приведены значения всех 11 показателей для предприятий кластера станкоинструментальной промышленности. Данные получены из открытых информационных ресурсов, а также в рамках проведения экспертного опроса представителей кластерной среды Санкт-Петербурга за период с 2017 г., что позволило сформировать базу данных для оценки транзакционных издержек участниками кластерного строительства. Публикуемые результаты исследования имеют особую научно-практическую значимость в контексте развития институционального подхода, предложенного в работах [6–8] и применяемого в настоящее время к анализу кластерных структур. Институциональный подход предлагает необходимый математический инструментарий, что, как отмечается в работах [9, 10], являет собой одну из наиболее актуальных задач.

Основу оценки и классификации временных характеристик деятельности предприятия в данном исследовании составили положения институционального подхода, предполагающего выделение различных видов транзакционных издержек в деятельности хозяйствующих субъектов. Исходя из принятого в данном исследовании приоритета изучения внутрикластерной инновационной кооперации, группы показателей по степени важности были упорядочены следующим образом: стоимостные, временные, общие характеристики. Весовые коэффициенты, используемые при построении сводных показателей всех уровней, удовлетворяют ограничениям, приведенным на рис. 6.

Для оценки вероятностных характеристик рандомизированных сводных показателей были сформированы выборки $S(I_1)$, $S(I_2)$ и $S(I_3)$ размером 10 000 элементов (векторов) каждая. На их основе была получена выборка значений вектора весов иерархии размером 10 000 000 элементов, по которой и производилась оценка вероятностных характеристик. Точечные и интервальные оценки вероятностных характеристик рандомизированных сводных показателей предприятий кластера станкоинструментальной промышленности приведены в табл. 2. Оценки и доверительные интервалы для вероятностей доминирования $p(i)$ сводных показателей предприятий кластера станкоинструментальной промышленности приведены в табл. 3.

Таким образом, наибольшие сводные показатели получились у двух компаний: Би Питрон СП и СЗПК. Вероятности доминирования указывают на то, что каждая из этих компаний примерно с равной вероятностью может быть рассмотрена как «наилучшая» или наиболее эффективная с точки зрения совокупного результата деятельности, а значит, может претендовать на получение государственной поддержки. С математической точки зрения, остальные компании с нулевой вероятностью являются наилучшими. Подобное выделение двух элементов в рассматриваемой выборке является следствием специфики применяемого математического аппарата, в силу чего, независимо от количества предприятий – участников кластера, всегда будет фиксированным.

Выводы

Как отмечают исследователи² [11–18], природа кластерного образования как многомерной формы коллаборации между предприятиями и организациями разных направлений деятельности (от научно-образовательной до производственной) предполагает возможность изменения численного состава участников с течением времени, наличие отраслевых особенностей кластерного строительства, а также иных факторов, обуславливающих необходимость обоснованного расширения границ выбора предприятий для государственной поддержки. По этой причине критерием выбора в данном случае может служить такая оценка характеристик рандомизированных сводных показателей, как величина математического ожидания, полученные значения которой иллюстрирует *табл. 2*.

Наряду с развитием математического обеспечения институционального подхода к анализу кластерной среды, описанный в рамках данной статьи алгоритм применения метода рандомизированных сводных показателей обеспечивает формирование инструментария для решения частной задачи определения приоритетов государственной поддержки кластерного строительства в условиях многокритериального выбора.

² Куценко Е.С. Условия формирования эффективной коммуникации в кластере // Шумпетеровские чтения. 2014. Т. 1. С. 100–105.

Таблица 1**Характеристики предприятий кластера станкоинструментальной промышленности****Table 1****Characteristics of the enterprises of the machine tool industry cluster**

Предприятие	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{21}
АВА «Гидросистемы»	1994	372	-6,7	37
Би Питрон СП	2014	187	3	126
Внити ЭМ	2011	237	3,1	41
КСМ СПБ	2015	91	12,9	18
Полимет-Сервис	2005	47	0,5	9
ПФ «НЕВО»	2009	186	2,3	55
СЗПК	2005	610	54	33
СКБ ТУС	2014	3	-0,1	2
СПБ ЗПС	2005	67	6,7	15
Станкозавод «ТБС»	2010	461	5,3	65
Тахтех Рус	2012	59	1,9	7

Продолжение

Предприятие	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}
АВА «Гидросистемы»	1,3	32,5	0,9	нет
Би Питрон СП	20,8	127	21,2	да
Внити ЭМ	0	43,3	0	нет
КСМ СПБ	0	32,4	0	да
Полимет-Сервис	0	8,6	0	нет
ПФ «НЕВО»	0	49,4	0	нет
СЗПК	8,4	84,1	8,5	да
СКБ ТУС	0	2	0	да
СПБ ЗПС	0	21,3	0	да
Станкозавод «ТБС»	0	69,3	0	да
Тахтех Рус	1,9	8,9	2,4	да

Продолжение

Предприятие	x_{31}	x_{32}	x_{33}
АВА «Гидросистемы»	2	1	30
Би Питрон СП	2	1	15
Внити ЭМ	1	2	15
КСМ СПБ	1	2	15
Полимет-Сервис	1	0	15
ПФ «НЕВО»	1	1	15
СЗПК	1	0	0
СКБ ТУС	1	1	0
СПБ ЗПС	1	1	0
Станкозавод «ТБС»	2	0	0
Тахтех Рус	1	0	0

Источник: авторская разработка*Source:* Authoring

Таблица 2**Оценки характеристик рандомизированных сводных показателей****Table 2****Estimation of the characteristics of randomized aggregated indices**

Предприятие	Оценка математического ожидания	Доверительный интервал (>95%)	
АВА «Гидросистемы»	0,23577	0,23506	0,23648
Би Питрон СП	0,70601	0,7053	0,70672
Внити ЭМ	0,2934	0,29269	0,2941
КСМ СПБ	0,2671	0,26639	0,26781
Полимет-Сервис	0,30471	0,30401	0,30542
ПФ «НЕВО»	0,38555	0,38484	0,38625
СЗПК	0,68828	0,68758	0,68899
СКБ ТУС	0,2543	0,25359	0,25501
СПБ ЗПС	0,34039	0,33968	0,3411
Станкозавод «ТБС»	0,44592	0,44522	0,44663
Тахтех Рус	0,36035	0,35964	0,36106

Продолжение

Предприятие	Оценка дисперсии	Доверительный интервал (>95%)	
АВА «Гидросистемы»	0,00363	0,00221	0,00504
Би Питрон СП	0,01201	0,01059	0,01342
Внити ЭМ	0,00158	0,00017	0,003
КСМ СПБ	0,00161	0,0002	0,00303
Полимет-Сервис	0,01007	0,00865	0,01148
ПФ «НЕВО»	0,00316	0,00174	0,00457
СЗПК	0,00701	0,0056	0,00843
СКБ ТУС	0,00648	0,00507	0,0079
СПБ ЗПС	0,00608	0,00466	0,00749
Станкозавод «ТБС»	0,0016	0,00018	0,00301
Тахтех Рус	0,00916	0,00774	0,01057

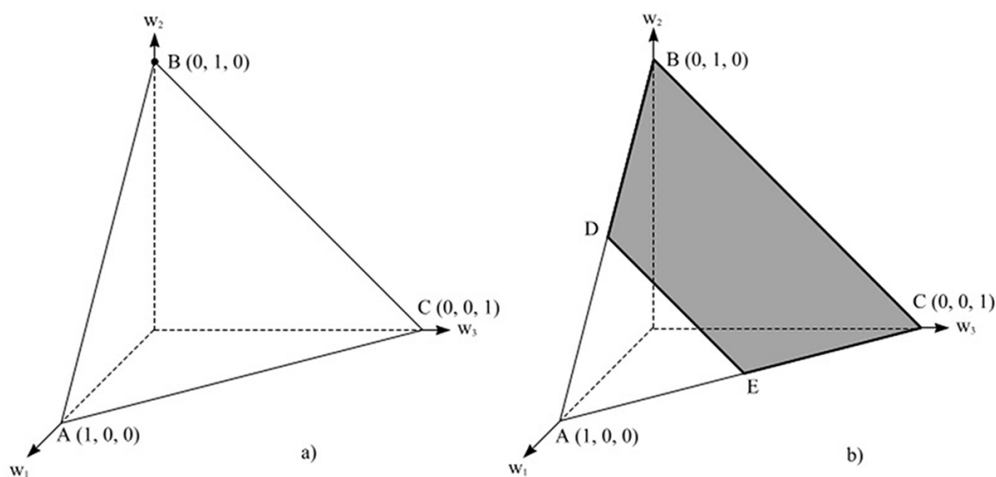
Источник: авторская разработка*Source:* Authoring

Таблица 3**Вероятности доминирования сводных показателей сравниваемых предприятий****Table 3****Probability of dominance of aggregated indices of the compared enterprises**

Предприятие	Оценка вероятности доминирования	Доверительный интервал (95%)	
АВА «Гидросистемы»	0	0	0
Би Питрон СП	0,49607	0,49566	0,49648
Внити ЭМ	0	0	0
КСМ СПБ	0	0	0
Полимет-Сервис	0	0	0
ПФ «НЕВО»	0	0	0
СЗПК	0,50393	0,50352	0,50434
СКБ ТУС	0	0	0
СПБ ЗПС	0	0	0
Станкозавод «ТБС»	0	0	0
Тахтех Рус	0	0	0

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 1**Трехмерный вектор весовых коэффициентов****Figure 1****A 3D weight vector**

Примечание. Множество возможных значений W трехмерного вектора весовых коэффициентов – треугольник ABC . Множество допустимых значений $W(I)$ при наличии информации о весовых коэффициентах ($I: w_1 < 0,5$) – трапеция $DBCE$.

Источник: авторская разработка

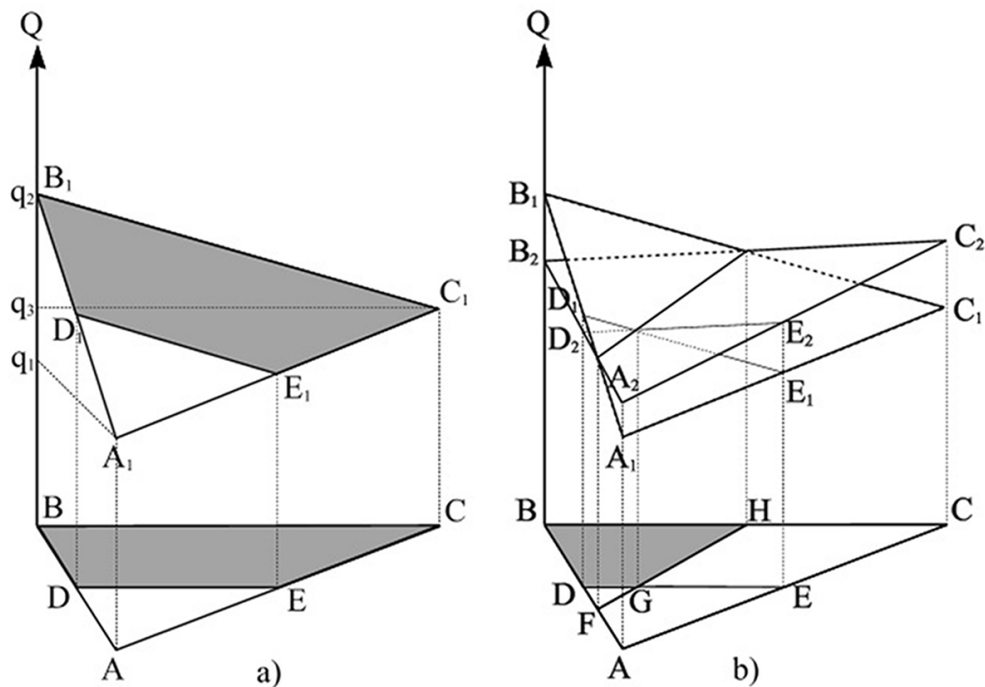
Source: Authoring

Рисунок 2

Рандомизированный сводный показатель

Figure 2

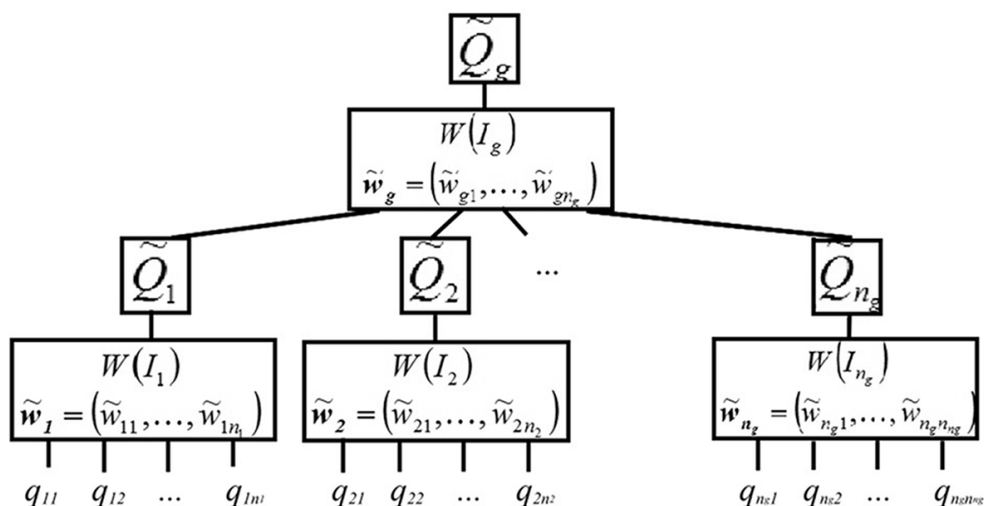
A randomized aggregated index



Примечание. Слева – значения сводного показателя на множестве $W(I)$. Справа – множество доминирования одного объекта над другим.

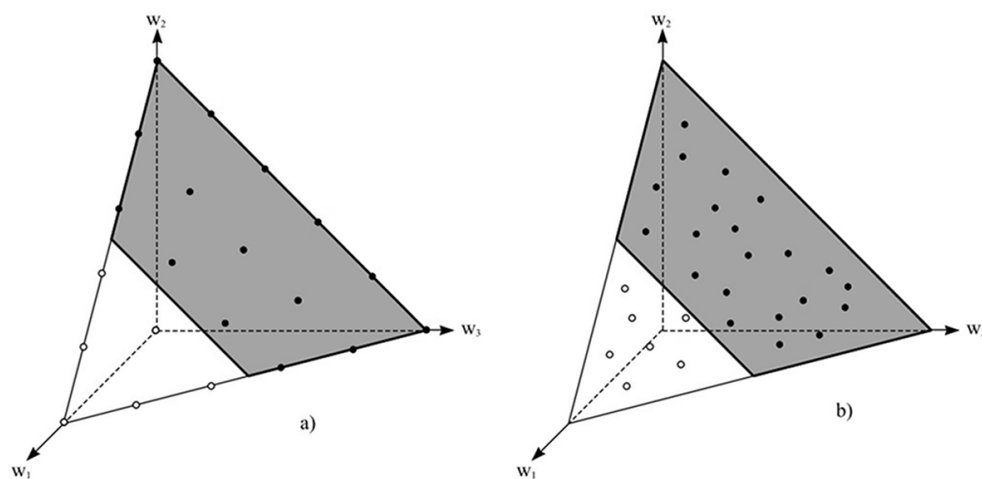
Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 3**Двухуровневая иерархия сводных показателей****Figure 3****Two-tier hierarchy of aggregated indices**

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 4**Оценка математических ожиданий. Использование метода Монте-Карло****Figure 4****Estimation of expectation: Using the Monte Carlo method**

Примечание. Слева – дискретное множество векторов весовых коэффициентов $WD(I)$.
 Справа – реализации случайного вектора весовых коэффициентов – выборка $S(I)$.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 5**Пример программного кода на языке R****Figure 5****R code: An example**

1	# Формирование выборки S(I)
2	w1 <- vector(); w2 <- vector(); w3 <- vector()
3	K <- 100000; N <- 10000
4	while(length(w1)<N) {
5	weight1 <- rgamma(K, shape=1, scale=1); weight2 <- rgamma(K, shape=1, scale=1)
6	weight3 <- rgamma(K, shape=1, scale=1)
7	wsum <- weight1+weight2+weight3
8	weight1 <- weight1/wsum; weight2 <- weight2/wsum; weight3 <- weight3/wsum
9	# Задаются ограничения
10	Restrictions <- (weight1 > weight2) & (weight2 > weight3) & (weight3 > 0.1)
11	w1 <- c(w1, weight1[Restrictions]); w2 <- c(w2, weight2[Restrictions])
12	w3 <- c(w3, weight3[Restrictions])
13	print(length(w1))
14	}
15	rm(weight1, weight2, weight3, wsum, Restrictions)

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 6**Нечисловая, неполная и неточная информация о весовых коэффициентах****Figure 6****Non-numeric, non-complete and non-exact information on weight coefficients**

Сводный показатель	Система ограничений
Сводный показатель общих характеристик $Q_1 = w_{11}q_{11} + w_{12}q_{12} + w_{13}q_{13}$	$I_1: \begin{cases} w_{13} > w_{12} \\ w_{12} > w_{11} \end{cases}$
Сводный показатель стоимостных характеристик $Q_2 = w_{21}q_{21} + w_{22}q_{22} + w_{23}q_{23} + w_{24}q_{24} + w_{25}q_{25}$	$I_2: \begin{cases} w_{21} - w_{23} < 0,1 \\ w_{22} - w_{24} < 0,1 \\ w_{21} > w_{22}, w_{21} > w_{24} \\ w_{23} > w_{22}, w_{23} > w_{24} \\ w_{22} > w_{25}, w_{24} > w_{25} \end{cases}$
Сводный показатель временных характеристик $Q_3 = w_{31}q_{31} + w_{32}q_{32} + w_{33}q_{33}$	$I_3: \begin{cases} w_{31} - w_{32} < 0,1 \\ w_{31} > w_{33}, w_{32} > w_{33} \end{cases}$
Итоговый сводный показатель $Q_g = w_{g1}Q_1 + w_{g2}Q_2 + w_{g3}Q_3$	$I_g: \begin{cases} w_{g2} > w_{g3} \\ w_{g3} > w_{g1} \end{cases}$

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников: монография. М.: Физматлит, 2012. 816 с.
2. Колодко Д.В. Многокритериальный выбор инвестиционного проекта с помощью метода рандомизированных сводных показателей // Управление экономическими системами. 2019. № 3. URL: <http://uecs.ru/instrumentalnii-metody-ekonomiki/item/5423-2019-03-16-08-01-31>
3. Колодко Д.В. Иерархический метод рандомизированных сводных показателей и его применение для сравнения инвестиционной привлекательности проектов // Теоретическая и прикладная экономика. 2020. № 1. С. 111–131. URL: <https://doi.org/10.25136/2409-8647.2020.1.32328>
4. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 643 с.
5. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците: монография. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 1996. 196 с.
6. Коуз Р. Фирма, рынок и право. М.: Дело, 1993. 192 с.
7. Ульямсон О.И. Экономические институты капитализма: фирмы, рынки, «отношенческая» контракция. СПб.: Лениздат, 1996. 702 с.
8. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: Начала, 1997. 180 с.
9. Родионов Д.Г., Кичигин О.Э., Селентьева Т.Н. К вопросу об условиях возникновения кластеров на рынке монополистической конкуренции: институциональный подход // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2018. Т. 11. № 6. С. 54–68. URL: <https://doi.org/10.18721/JE.11605>
10. Родионов Д.Г., Кичигин О.Э., Селентьева Т.Н. Особенности оценки конкурентоспособности инновационного регионального кластера: институциональный подход // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического

- университета. Экономические науки. 2019. Т. 12. № 1. С. 43–58.
URL: <https://doi.org/10.18721/JE.12104>
11. Kudryavtseva T., Olaniyi E.O. Identification and Analysis of the Cluster Structure of a Territory and its Impact on Regional Development: An example of Russia. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 2019, vol. 10, iss. 4, pp. 1322–1337.
URL: [https://doi.org/10.14505/jarle.v10.4\(42\).33](https://doi.org/10.14505/jarle.v10.4(42).33)
 12. Родионов Д.Г., Кудрявцева Т.Ю. Механизм и принципы формирования кластерной промышленной политики // Инновации. 2018. № 10. С. 81–87. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mechanizm-i-printsipy-formirovaniya-klasternoy-promyshlennoy-politiki/viewer>
 13. Кудрявцева Т.Ю. Кластер как институциональная форма организации рынка // Общество. Среда. Развитие. 2018. № 3. С. 3–9.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klaster-kak-institutsionalnaya-forma-organizatsii-rynka/viewer>
 14. Схведиани А.Е., Кудрявцева Т.Ю. Анализ взаимосвязи между кластерной специализацией и валовым региональным продуктом // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2018. Т. 11. № 5. С. 66–73. URL: <https://doi.org/10.18721/JE.11506>
 15. Кудрявцева Т.Ю., Схведиани А.Е. Исследование региональных кластеров с использованием информационно-аналитических систем (на примере биофармацевтического кластера) // Регионология. 2020. Т. 28. № 1. С. 48–79.
URL: <https://doi.org/10.15507/2413-1407.110.028.202001.048-079>
 16. Kutsenko E., Islankina E., Abashkin V. The Evolution of Cluster Initiatives in Russia: The Impacts of Policy, Life-Time, Proximity and Innovative Environment. *Foresight*, 2017, vol. 19, iss. 2, pp. 87–120.
URL: <https://doi.org/10.1108/FS-07-2016-0030>
 17. Земцов С.П., Баринаева В.А., Панкратов А.А., Куценко Е.С. Потенциальные высокотехнологичные кластеры в российских регионах: от текущей политики к новым точкам роста // Форсайт. 2016. Т. 10. № 3. С. 34–52. URL: <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2016.3.34.52>

18. Куценко Е.С. Пилотные инновационные территориальные кластеры России: модель устойчивого развития // Форсайт. 2015. Т. 9. № 1. С. 32–55. URL: <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2015.1.32.55>

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

pISSN 2073-1477
eISSN 2311-8733

Sustainable Development of Regions

APPLYING THE AGGREGATED INDICES RANDOMIZATION METHOD TO PRIORITIZE CLUSTER DEVELOPMENT

Dmitrii V. KOLODKO ^{a,*},
Tamara N. SELENT'eva ^b,
Andrei A. ZAITSEV ^c

^a North-West Institute of Management (NWIM), Branch of RANEPa,
St. Petersburg, Russian Federation
dvkolodko2019@gmail.com
ORCID: not available

^b Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation
selentieva_tn@spbstu.ru
ORCID: not available

^c Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation
andrey_z7@mail.ru
ORCID: not available

* Corresponding author

Article history:

Article No. 102/2021
Received 1 Mar 2021
Received in revised
form 20 Mar 2021
Accepted 3 Apr 2021
Available online
14 May 2021

JEL classification:

D23, L52, R58

Keywords: aggregated
indices randomization
method, AIRM, Monte
Carlo method,
innovation cooperation,
cluster, State support

Abstract

Subject. This article discusses the innovation activities of companies participating in clusters.

Objectives. The article aims to justify a choice of State support facilities for the innovation activities of enterprises participating in clusters.

Methods. For the study, we used the hierarchical aggregated indices randomization method and Monte Carlo method.

Results. During the study of cluster construction in St. Petersburg, an array of data was obtained. Based on calculations, we show the choice of two enterprises, the best ones in terms of assessing the probability of dominance. We justify the possibility of using such a characteristic of randomized aggregated indices as the value of mathematical expectation, as a choice criterion.

Conclusions. The algorithm developed to apply the aggregated indices randomization method develops an institutional approach to the analysis of regional clusters.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2021

Please cite this article as: Kolodko D.V., Selent'eva T.N., Zaitsev A.A. Applying the Aggregated Indices Randomization Method to Prioritize Cluster Development. *Regional Economics: Theory and Practice*, 2021, vol. 19, iss. 5, pp. 880–906.
<https://doi.org/10.24891/re.19.5.880>

References

1. Kobzar' A.I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov: monografiya* [Applied mathematical statistics. For engineers and scientists: a monograph]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2012, 816 p.
2. Kolodko D.V. [Multi-criteria selection of an investment project using the randomized general indices method]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami*, 2019, no. 3. (In Russ.) URL: <http://uecs.ru/instrumentalnii-metody-ekonomiki/item/5423-2019-03-16-08-01-31>
3. Kolodko D.V. [Hierarchical method of randomized composite indicators and its application for comparison of investment attractiveness of the projects]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekonomika = Theoretical and Applied Economics*, 2020, no. 1, pp. 111–131. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.25136/2409-8647.2020.1.32328>
4. Cramér H. *Matematicheskie metody statistiki* [Mathematical Methods of Statistics]. Moscow, Mir Publ., 1975, 643 p.
5. Khovanov N.V. *Analiz i sintez pokazatelei pri informatsionnom defitsite: monografiya* [Analysis and synthesis of indicators in information deficit: a monograph]. St. Petersburg, Saint Petersburg State University Publ., 1996, 196 p.
6. Coase R.H. *Firma, rynek i pravo* [The Firm, the Market and the Law]. Moscow, Delo Publ., 1993, 192 p.
7. Williamson O.E. *Ekonomicheskie instituty kapitalizma: firmy, rynki, "otnoshencheskaya" kontraktatsiya* [The Economic Institutions of Capitalism. Firms, Markets, Relational Contracting]. St. Petersburg, Lenizdat Publ., 1996, 702 p.
8. North D.C. *Instituty, institutsional'nye izmeneniya i funktsionirovanie ekonomiki* [Institutions, Institutional Change and Economic Performance]. Moscow, Nachala Publ., 1997, 180 p.
9. Rodionov D.G., Kichigin O.E., Selentieva T.N. [Conditions for emergence of clusters in the market of monopolistic competition: an institutional approach]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki = St. Petersburg State Polytechnic University Journal. Economics*, 2018, vol. 11, iss. 6, pp. 54–68. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.18721/JE.11605>

10. Rodionov D.G., Kichigin O.E., Selentieva T.N. [Features of assessing the competitiveness of innovative regional clusters: an institutional approach]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki = St. Petersburg State Polytechnic University Journal. Economics*, 2019, vol. 12, iss. 1, pp. 43–58. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.18721/JE.12104>
11. Kudryavtseva T., Olaniyi E.O. Identification and Analysis of the Cluster Structure of a Territory and its Impact on Regional Development: An example of Russia. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 2019, vol. 10, iss. 4, pp. 1322–1337. URL: [https://doi.org/10.14505/jarle.v10.4\(42\).33](https://doi.org/10.14505/jarle.v10.4(42).33)
12. Rodionov D.G., Kudryavtseva T.Yu. [Mechanism and principles of cluster industrial policy formation]. *Innovatsii = Innovations*, 2018, no. 10, pp. 81–87. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizm-i-printsipy-formirovaniya-klasternoy-promyshlennoy-politiki/viewer> (In Russ.)
13. Kudryavtseva T.Yu. [Cluster as institutional form of market organization]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie = Society. Environment. Development*, 2018, no. 3, pp. 3–9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klasternaya-forma-organizatsii-rynka/viewer> (In Russ.)
14. Skhvediani A.E., Kudryavtseva T.Yu. [Analysis of the relationship between cluster specialization and gross regional product]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki = St. Petersburg State Polytechnic University Journal. Economics*, 2018, vol. 11, iss. 5, pp. 66–73. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.18721/JE.11506>
15. Kudryavtseva T.Yu., Skhvediani A.E. [Studying regional clusters with the use of data processing systems: The case of the biopharmaceutical cluster]. *Regionologiya = Russian Journal of Regional Studies*, 2020, vol. 28, iss. 1, pp. 48–79. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.15507/2413-1407.110.028.202001.048-079>
16. Kutsenko E., Islankina E., Abashkin V. The Evolution of Cluster Initiatives in Russia: The Impacts of Policy, Life-Time, Proximity and Innovative Environment. *Foresight*, 2017, vol. 19, iss. 2, pp. 87–120. URL: <https://doi.org/10.1108/FS-07-2016-0030>
17. Zemtsov S.P., Barinova V.A., Pankratov A.A., Kutsenko E.S. [Potential high-tech clusters in Russian regions: from current policy to new growth areas].

Forsait = Foresight and STI Governance, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 34–52.
(In Russ.) URL: <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2016.3.34.52>

18. Kutsenko E.S. [Pilot innovative territorial clusters in Russia: A sustainable development mode]. *Forsait = Foresight and STI Governance*, 2015, vol. 9, no. 1, pp. 32–55. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2015.1.32.55>

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.