

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРОЕКТОВ

**С.А. Баркалов, А.Ю. Глушков, С.И. Мусеев**

*Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия,*

**Введение.** Управление предприятиями и организациями при помощи проектов – это современный подход в менеджменте, который позволит современным предприятиям эффективно развиваться. В результате проектной деятельности предприятия одним из основных этапов является оценка и отбор лучших проектов из имеющихся. **Цель исследования.** Описание математических моделей и способов их реализации для получения интегральных оценок привлекательности проектов. **Материалы и методы.** В работе описаны методы многокритериального оценивания проектов. Рассмотрен традиционный аддитивный метод, который широко распространен при оценке привлекательности проектов. Альтернативно аддитивному методу представлены два оригинальных метода. Один из них основан на теориях латентных переменных, другой основан на теории нечетких множеств. Метод оценивания привлекательности проектов, основанный на теории нечетких множеств, применяется при невозможности оценить проекты по критериям, использующим натуральные шкалы. Множество проектов с точки зрения привлекательности проектов по каждому критерию рассматривается как нечеткое множество с заданной функцией принадлежности. **Результаты.** Приведена методика получения оценок, проанализированы их свойства. Показано, что метод, основанный на теории латентных переменных, имеет ряд преимуществ перед аддитивным методом: линейность полученных оценок, их независимость от множества проектов и набора критериев. Приведена методика получения численного решения оптимизационной задачи, необходимой при использовании метода, основанного на теории латентных переменных. Проведены вычислительные эксперименты, которые показали, что метод, основанный на теории латентных переменных, дает адекватные оценки привлекательности проектов. Для практической реализации методик приведен пример организации вычислений в MS Excel. **Заключение.** Предложенные методы позволят более объективно оценивать и отбирать проекты, позволяя эффективно развиваться хозяйствующим субъектам.

*Ключевые слова:* проекты, оценивание, латентные переменные, нечеткие множества.

### **Введение**

Управление предприятиями и организациями при помощи проектов – это современный подход в менеджменте, который позволит современным предприятиям эффективно развиваться. На любом предприятии постоянно необходимы инновации: запуск новых изделий в производство, внедрение новых технологий как производственных, так и управленческих. Все это требует разработки и внедрения новых проектов в различных сферах функционирования предприятия.

В результате проектной деятельности предприятия одним из основных этапов является оценка и отбор лучших проектов из имеющихся альтернатив. Целью данной работы является описание математических моделей и способов их реализации для получения интегральных оценок привлекательности проектов, а именно, традиционного метода оценивания и двух оригинальных, основанных на математическом аппарате теории латентных переменных, и теории нечетких множеств. Также задачей данного исследования является анализ полученных оценок и сравнение результатов оценивания с результатами, полученными традиционным методом.

### **Многокритериальное оценивание проектов**

Для оценивания проектов обычно используют многокритериальный подход, когда качество проекта определяется путем сравнения данного проекта с остальными по множеству разработанных критериев.

Выбор критериев обусловлен деятельностью предприятия и типом проекта. Наиболее типичными критериями оценки проектов являются:

- новизна и актуальность проекта;
- техническая и практическая значимость;
- сложность реализации;
- инвестиционная привлекательность;
- наличие квалифицированных исполнителей проекта;
- время реализации проекта;
- уровень коммерциализации;
- социально-экономическое значение результатов проекта;
- потенциал импортозамещения и другие.

Критерии могут быть как количественными, так и качественными. Оценки проектов по количественным критериям выставляются в натуральных шкалах, по качественным критериям оценки получаются на основании экспертного оценивания. По каждому критерию проводится оценивание каждого проекта и на основании частных оценок формируется интегральная оценка каждого проекта.

Рассмотрим некоторые методы получения интегральных оценок привлекательности проектов.

### Математическая модель получения интегральных оценок по аддитивному методу

Рассмотрим сначала классический метод оценивания проектов, а потом опишем метод, основанный на латентных переменных, проведем сравнение полученных оценок.

Пусть имеется  $n$  проектов  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ , которые оцениваются по  $m$  критериям  $K_1, K_2, \dots, K_m$ . Обозначим через  $X_{ij}$  частную оценку  $i$ -го проекта по критерию  $K_j$ . Также, в случае разной важности критериев для итоговой оценки проектов, необходимо задать веса критериев  $w_j$ .

Шкалы измерения проектов по критериям могут быть разного вида: дихотомические, полиномические, непрерывные интервальные и полуинтервальные. Кроме того, критерии могут иметь разную направленность по степени привлекательности проектов: прямую, когда чем больше оценка по критерию, тем более привлекателен проект, и обратную, когда проекты привлекательнее с меньшей оценкой по критерию. Чтобы адекватно получать интегральные оценки проектов, частные оценки по разным шкалам необходимо нормализовать на единую шкалу.

В качестве процедуры нормализации можно использовать приведение частных оценок на прямую единичную шкалу [1]. Для критериев с прямой шкалой нормализованные частные оценки проектов по критериям  $x_{ij}$  можно получить по формуле

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - \min_i(X_{ij})}{\max_i(X_{ij}) - \min_i(X_{ij})}, \quad (1)$$

а для критериев с обратной шкалой – по формуле

$$x_{ij} = \frac{\max_i(X_{ij}) - X_{ij}}{\max_i(X_{ij}) - \min_i(X_{ij})}. \quad (2)$$

В традиционном подходе интегральная оценка качества проекта проводится по аддитивному методу [1], когда интегральная оценка  $AP_i$  проекта  $\Pi_i$  будет определяться как сумма частных оценок, умноженных на веса:

$$AP_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij}. \quad (3)$$

Перейдем теперь к описанию модели получения интегральных оценок проектов, которая базируется на теории латентных переменных.

### Математическая модель получения оценок по методу, основанному на латентных переменных (МЛП)

Данный метод основан на математическом аппарате модели Раша оценки латентных переменных, основанных на методе наименьших квадратов [2–4].

Для использования метода допустим, что интегральная оценка  $AP_i$  проекта является некоторой векторной латентной переменной. МЛП предполагает наличие еще одной векторной латентной переменной  $AK_j$ , которая характеризует оценочные критерии. Переменные  $AK_j$  имеют смысл

выполнимости или строгости критерия  $K_j$  на всем множестве оцениваемых проектов. Чем больше оценка  $AK_j$ , тем меньше удовлетворяют все проекты в совокупности указанному критерию.

В соответствии с [4] для получения оценок латентных переменных  $AP_i$  и  $AK_j$  необходимо решать оптимизационную задачу вида

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_j \cdot \left( x_{ij} - \frac{e^{AP_i - AK_j}}{1 + e^{AP_i - AK_j}} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

которую можно дополнить условием неотрицательности латентных переменных:

$$AP_i \geq 0; \quad AK_j \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Метод, основанный на латентных переменных, имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным аддитивным методом. Перечислим основные преимущества этого метода [5].

1. Интегральные оценки проектов являются их уникальными характеристиками и не зависят от множества проектов и набора критериев.

2. Интегральные оценки проектов измеряются по линейной безразмерной шкале, которую можно легко перевести в любую другую, например, вероятностную оценочную шкалу.

3. Кроме интегральных оценок проектов удастся получить оценки влияния критериев  $AK_j$ , которые также линейны. Эти оценки позволяют проводить анализ критериев по различным группам проектов, выделяя наиболее важные из них.

Основным недостатком оценки по МЛП является невозможность аналитического решения задачи нелинейного программирования (4) и (5). Однако ее можно решить численно, например, в табличном процессоре MS Excel с использованием надстройки «Поиск решений».

Далее приведем методику численного решения оптимизационной задачи (4), (5) в среде Excel на некотором примере.

#### Методика получения численных оценок проектов по МЛП

Приведенный ниже пример (данные сгенерированы случайно) позволит описать методику численного решения оптимизационной задачи, необходимой для получения интегральных оценок проектов по МЛП. Кроме этого, проанализируем полученные результаты и сравним их с оценками, полученными по традиционному аддитивному методу.

Предположим, что имеется 10 проектов, которые оцениваются по 8 критериям. В табл. 1 приведены нормализованные по формулам (1) и (2) на единичную шкалу частные оценки проектов по критериям.

Частные оценки проектов по критериям для примера

Таблица 1

Private project evaluations by example criteria

Table 1

Проект	Критерий							
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$
П <sub>1</sub>	0,29	0,19	0,22	0,68	0,14	0,38	0,61	0,04
П <sub>2</sub>	0,01	0,76	0,09	0,05	0,31	0,41	0,10	0,15
П <sub>3</sub>	0,41	0,10	0,55	0,44	0,77	0,31	0,78	0,42
П <sub>4</sub>	0,44	0,79	0,80	0,09	0,73	0,87	0,25	0,06
П <sub>5</sub>	0,71	0,33	0,34	0,07	0,88	0,94	0,04	0,41
П <sub>6</sub>	0,91	0,10	0,52	0,66	0,33	0,45	0,56	0,19
П <sub>7</sub>	0,47	0,48	0,99	0,65	0,85	0,54	0,08	0,61
П <sub>8</sub>	0,68	0,48	0,94	0,41	0,41	0,23	0,82	0,65
П <sub>9</sub>	0,90	0,60	0,16	0,96	0,47	0,38	0,67	0,27
П <sub>10</sub>	0,92	0,33	0,18	0,83	0,47	0,25	0,38	0,96
Вес $W_j$	0,61	0,31	0,34	0,88	0,82	0,47	0,98	0,59

На рабочем листе MS EXCEL вводим данные из табл. 1 в диапазон ячеек А2–П14, как это показано на рис. 1. Под латентные переменные  $AP_i$  выделяем диапазон ячеек А17–А26, а под

## Управление в социально-экономических системах

латентные переменные  $AK_j$  диапазон ячеек B16–I16. В эти ячейки вводим начальное приближение значений переменных, например, в виде нулей. В диапазон B17–I26 вводим формулы, позволяющие рассчитывать слагаемые целевой функции (4). Вводим в B17 формулу  $=B\$14*(B4-EXP(\$A17-B\$16))/(1+EXP(\$A17-B\$16))^2$  и с помощью автоматического заполнения распространяем ее на весь диапазон ячеек. В ячейку E27 вводим сумму (4) в виде формулы  $=СУММ(B17:I26)$ . Результат показан на рис. 1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		<b>Интегральная оценка проектов по МЛП</b>							
2		<b>Критерий</b>							
3	<b>Проект</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>	<b>K6</b>	<b>K7</b>	<b>K8</b>
4	<b>П1</b>	0,29	0,19	0,22	0,68	0,14	0,38	0,61	0,04
5	<b>П2</b>	0,01	0,76	0,09	0,05	0,31	0,41	0,10	0,15
6	<b>П3</b>	0,41	0,10	0,55	0,44	0,77	0,31	0,78	0,42
7	<b>П4</b>	0,44	0,79	0,80	0,09	0,73	0,87	0,25	0,06
8	<b>П5</b>	0,71	0,33	0,34	0,07	0,88	0,94	0,04	0,41
9	<b>П6</b>	0,91	0,10	0,52	0,66	0,33	0,45	0,56	0,19
10	<b>П7</b>	0,47	0,48	0,99	0,65	0,85	0,54	0,08	0,61
11	<b>П8</b>	0,68	0,48	0,94	0,41	0,41	0,23	0,82	0,65
12	<b>П9</b>	0,90	0,60	0,16	0,96	0,47	0,38	0,67	0,27
13	<b>П10</b>	0,92	0,33	0,18	0,83	0,47	0,25	0,38	0,96
14	<b>Вес W</b>	<b>0,61</b>	<b>0,31</b>	<b>0,34</b>	<b>0,88</b>	<b>0,82</b>	<b>0,47</b>	<b>0,98</b>	<b>0,59</b>
15		<b>Латентные переменные</b>							
16	<b>AP<sub>i</sub>/AK<sub>j</sub></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
17	<b>0</b>	0,026	0,030	0,027	0,029	0,106	0,006	0,012	0,126
18	<b>0</b>	0,144	0,021	0,055	0,177	0,028	0,003	0,154	0,073
19	<b>0</b>	0,005	0,048	0,001	0,003	0,059	0,018	0,076	0,004
20	<b>0</b>	0,002	0,027	0,030	0,144	0,042	0,063	0,062	0,117
21	<b>0</b>	0,028	0,009	0,009	0,159	0,119	0,092	0,205	0,005
22	<b>0</b>	0,101	0,048	0,000	0,024	0,023	0,001	0,003	0,056
23	<b>0</b>	0,001	0,000	0,079	0,020	0,101	0,001	0,172	0,008
24	<b>0</b>	0,019	0,000	0,065	0,006	0,006	0,033	0,098	0,013
25	<b>0</b>	0,098	0,003	0,038	0,186	0,001	0,007	0,028	0,033
26	<b>0</b>	0,109	0,009	0,034	0,097	0,001	0,028	0,014	0,125
27		<b>Целевая функция (4)</b>			<b>4,032</b>				

Рис. 1. Исходные данные в MS Excel для получения оценок по МЛП  
Fig. 1. Source data in MS Excel for latent variable ratings

Запускаем надстройку «Поиск решений» (Solver), устанавливаем ссылку оптимизации целевой функции на E27, в качестве изменяемых переменных указываем:  $\$A\$17:\$A\$26$ ;  $\$B\$16:\$I\$16$ , дополнительные ограничения не вводим, устанавливаем неотрицательность переменных без ограничений. В диапазоне A17–A26 получаем значения латентных переменных  $AP_i$ , а в диапазоне B16–I16 значения переменных  $AK_j$ .

Результаты оценивания интегральных показателей привлекательности проектов для данных из табл. 1 представлены в табл. 2.

Оценки проектов  $AP_i$ , полученные по данным из табл. 1 разными методами

Таблица 2

$AP_i$  project evaluations obtained from Table 1 using different methods

Table 2

Проект	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
Аддитивный метод	1,821	0,959	2,632	2,141	2,161	2,484	2,728	2,869	3,006	2,896
МЛП	0,997	0,001	1,692	1,288	1,307	1,566	1,761	1,898	1,989	1,898

Для сравнения интегральных оценок проектов по традиционному аддитивному методу и МЛП нормируем их так, чтобы сумма оценок всех проектов равнялась единице. Графики нормированных оценок, полученных разными методами, приведены на рис. 2.



Рис. 2. Нормированные оценки проектов, полученные по данным из табл. 1 разными методами  
Fig. 2. Normalized project estimates obtained from Table 1 using different methods

Из рис. 2 видна высокая согласованность оценок, коэффициент парной корреляции Пирсона для этого примера равен 0,995. Согласованность оценок, полученных по МЛП, с оценками по апробированному аддитивному методу говорит об адекватности оценок, полученных по МЛП.

### Математическая модель получения оценок по методу, основанному на нечетких множествах (МНМ)

Данный метод основан на несколько ином подходе многокритериального оценивания проектов. Здесь множество проектов рассматривается как нечеткое с точки зрения привлекательности проектов по каждому критерию. Предполагается, что каждому критерию соответствует некоторый показатель  $y$ , индивидуальный для каждого проекта. Каждому показателю критерия  $K_j$  будет соответствовать нечеткое множество с функцией принадлежности  $\mu_j(x)$ . Если для проекта  $\Pi_i$  значение этого показателя равно  $y_i$ , то для частных оценок проектов по критериям можно использовать формулу

$$x_{ij} = \mu_j(y_i). \tag{6}$$

Тогда для оценивания интегральной привлекательности проекта  $AP_i$  можно использовать формулу

$$AP_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij} = \sum_{j=1}^m w_j \mu_j(y_i). \tag{7}$$

Рассмотрим основные виды функций принадлежности, которые можно использовать при оценивании для разных видов показателя  $y$ . Попробуем рассмотреть основные типы таких критериев и подобрать функции принадлежности для них в общем виде.

*Дихотомический показатель* – представитель четкого множества, когда проект может либо соответствовать критерию, либо не соответствовать. Функция принадлежности при соответствии признака значению  $s$  есть

$$\mu(y) = \begin{cases} 1, & \text{если проект соответствует критерию;} \\ 0, & \text{если проект не соответствует критерию.} \end{cases}$$

*Политомический показатель* отличается от дихотомического тем, что показатель  $y$  может содержать несколько градаций из единичного отрезка, а критерий содержит несколько атрибутов с разными привлекательностями.

Пример такого критерия – «Сложность проекта» (1 – низкая, 0,5 – средняя и 0 – высокая).

*Равномерно распределенный* показатель в некотором интервале. Критерий выполняется, если показатель  $y$  попадает в интервал от  $a$  до  $b$ . Например, если требуется, чтобы время выполнения проекта было не менее  $a$  дней и не более  $b$  дней. Функция принадлежности есть

$$\mu(y) = \begin{cases} 1, & \text{при } y \in [a; b]; \\ 0, & \text{при } y \notin [a; b]. \end{cases}$$

*Линейно возрастающий* на интервале показатель. Используется, если показатель  $y$  был в идеале более  $b$ , но не менее  $a$ . Например, рентабельность проекта должна быть  $b$  рублей и более, если меньше – хуже, но не менее  $a$  рублей. Функция принадлежности будет

$$\mu(y) = \begin{cases} 0, & \text{при } y < a; \\ \frac{y-a}{b-a}, & \text{при } y \in [a; b]; \\ 1, & \text{при } y > b. \end{cases}$$

*Линейно убывающий* на интервале показатель. Аналогичный предыдущему, но для обратных (минимизирующих) критериев с функцией принадлежности вида

$$\mu(y) = \begin{cases} 1, & \text{при } y < a; \\ \frac{b-y}{b-a}, & \text{при } y \in [a; b]; \\ 0, & \text{при } y > b. \end{cases}$$

*Экспоненциально возрастающий* показатель применяется, когда необходимо, чтобы значение  $y$  было максимально большим, не менее  $a$ . Например, инвестиционная привлекательность проекта должна быть не менее  $a$ . Тогда функция принадлежности равна

$$\mu(y) = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\frac{y-a}{a}\right), & \text{при } y > a; \\ 0, & \text{при } y \leq a. \end{cases}$$

*Экспоненциально убывающий* показатель аналогичен предыдущему и применяется, когда необходимо, чтобы значение  $y$  было не более  $b$ , например, затраты на проект не должны превышать  $b$ . Тогда функция принадлежности будет

$$\mu(y) = \begin{cases} 1 - \exp\left(\frac{y-b}{\sqrt{b}}\right), & \text{при } y \leq b; \\ 0, & \text{при } y > b. \end{cases}$$

*Треугольный* показатель используется, когда значение  $y$  должно быть из интервала от  $a$  до  $b$ , но наилучшее его значение – в середине интервала. Функция принадлежности равна

$$\mu(y) = \begin{cases} 1 - 2 \frac{|(a+b)/2 - y|}{b-a}, & \text{при } y \in [a; b]; \\ 0, & \text{при } y \notin [a; b]. \end{cases}$$

*Нормально распределенный* показатель аналогичен предыдущему, но используется в случае, когда  $y$  представляет собой случайную величину, распределенную закону Гаусса. Функция принадлежности будет

$$\mu(y) = \exp\left[-8 \frac{(y - (a+b)/2)^2}{(b-a)^2}\right].$$

Следует отметить, что для вычисления интегральных показателей привлекательности проектов вместо аддитивного подхода (7) можно использовать подход, основанный на МЛП (4), (5), но с исходными данными, полученными по (6).

### Заключение

Таким образом, были рассмотрены некоторые методы.

Аддитивный метод является традиционным, его основным достоинством является простота в вычислительном плане.

Метод, основанный на модели Раша оценки латентных переменных, имеет ряд преимуществ перед аддитивным: линейность полученных оценок, их независимость от множества проектов и набора критериев. Его недостаток – невозможность аналитического решения при практическом применении метода. В работе приведено описание методика получения численного решения в среде MS Excel.

Следует также отметить то, что оценивание на основе теории латентных переменных по модели Раша, основанной на МНК, прошло апробацию и в иных сферах научной и практической деятельности. В частности, по этому методу проводилась оценка объектов недвижимости [6], качества программного обеспечения [7] и профпригодности сотрудников организаций [8].

Метод, основанный на теории нечетких множеств, отличается тем, что множество проектов рассматривается как нечеткое с точки зрения привлекательности проектов по каждому критерию и характеризуется некоторой функцией принадлежности.

Какой метод следует применять при оценивании проектов, зависит от специфики проектов, а также вида критериев и типа оценочных шкал.

### **Литература**

1. Баркалов С.А. *Математические методы и модели в управлении и их реализация в MS Excel* / С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, В.Л. Порядина. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2015. – 265 с.
2. Маслак А.А. *Модель Раша оценки латентных переменных и ее свойства: моногр.* / А.А. Маслак, С.И. Моисеев. – Воронеж: НПЦ «Научная книга», 2016. – 177 с.
3. Баркалов С.А. *Применение метода наименьших квадратов при оценке латентных переменных методом Раша* / С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, Е.В. Соловьева // *Научный вестник Воронежского ГАСУ. Серия «Управление строительством»*. – 2014. – № 1 (6). – С. 112–115.
4. Моисеев С.И. *Модель Раша оценки латентных переменных, основанная на методе наименьших квадратов* / С.И. Моисеев. – *Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал*. – 2015. – № 2.1 (16). – С. 166–172.
5. Маслак А.А. *Сравнительный анализ оценок параметров модели Раша, полученных методами максимального правдоподобия и наименьших квадратов* / А.А. Маслак, С.И. Моисеев, С.А. Осипов // *Проблемы управления*. – 2015. – № 5. – С. 58–66.
6. Смотровая, Т.И. *Маркетинговая модель оценки привлекательности торговых центров* / Т.И. Смотровая, С.И. Моисеев // *Интернет-журнал «Наукоедение»*. – 2015. – Т. 7, № 6. – <http://naukovedenie.ru/PDF/21EVN615.pdf>. DOI: 10.15862/21EVN615
7. Моисеев, С.И. *Модель оценки качества программного обеспечения, основанная на методе Раша оценки латентных переменных* / С.И. Моисеев, Ю.В. Черная, Е.В. Паришина // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. – 2016. – № 1. – С. 102–109.
8. *Модель оценивания профессиональной пригодности работников, основанная на теории латентных переменных* / С.А. Баркалов, Н.Ю. Калинина, С.И. Моисеев, Т.В. Насонова // *Экономика и менеджмент систем управления*. – 2017. – № 1.1 (23). – С. 140–150.

**Баркалов Сергей Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой управления строительством, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж; barkalov@vgasu.vrn.ru.

**Глушков Александр Юрьевич**, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж; alex-maslovra@mail.ru.

**Моисеев Сергей Игоревич**, канд. физ-мат. наук, доцент кафедры управления строительством, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж; moiseev@nxt.ru.

*Поступила в редакцию 1 октября 2019 г.*

## MATHEMATICAL METHODS OF MULTICRITERIA EVALUATION OF ATTRACTIVENESS OF PROJECTS

S.A. Barkalov, barkalov@vgasu.vrn.ru,  
A.Yu. Glushkov, alex-maslovra@mail.ru,  
S.I. Moiseev, moiseev@nxt.ru

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

**Introduction.** Management of enterprises and organizations with the help of projects is a modern approach in management, which allows modern enterprises to develop effectively. As a result of the project activity of the enterprise, one of the main stages is the evaluation and selection of the best projects available. **Aim.** Description of mathematical models and methods of their implementation to obtain integral estimates of the attractiveness of projects. **Materials and methods.** The paper describes the methods of projects multi-criteria evaluation. The traditional additive method, which is widely used in assessing the attractiveness of projects, is considered. Two original methods are presented as an alternative to the additive method. One is based on the theories of latent variables, the other is based on the theory of fuzzy sets. The method of evaluating the attractiveness of projects, based on the theory of fuzzy sets, is used when it is impossible to evaluate projects by criteria using natural scales. The set of projects from the point of view of the attractiveness of projects for each criterion is considered as a fuzzy set with a given membership function. **Results.** The technique of obtaining estimates, the analysis of the properties of estimates. It is shown that the method based on the theory of latent variables has a number of advantages over the additive method: the linearity of the estimates obtained, their independence from the set of projects and a set of criteria. A technique for obtaining a numerical solution of the optimization problem required when using a method based on the theory of latent variables is presented. Computational experiments were carried out, which showed that the method based on the theory of latent variables gives adequate estimates of the attractiveness of projects. For the practical implementation of the methods, an example of the organization of calculations in MS Excel. **Conclusion.** The proposed methods will allow for a more objective assessment and selection of projects, allowing economic entities to develop effectively.

*Keywords:* projects, estimation, latent variables, fuzzy sets.

### References

1. Barkalov S.A., Moiseev, V.L., Poryadina S.I. *Matematicheskie metody i modeli v upravlenii i ikh realizatsiya v MS Excel* [Mathematical Methods and Models in Management and Their Implementation in MS Excel]. Voronezh, GASU Publ., 2015, 265 p.
2. Maslak A.A., Moiseev S.I. *Model' Rasha otsenki latentnykh peremennykh i ee svoystva. Monografiya* [The Rush Model Estimates Latent Variables and its Properties. Monograph]. Voronezh, SPC "Scientific Book" Publ., 2016, 177 p.
3. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Solov'yova E.V. [The Use of the Least Squares Method in Assessing Latent Variables by the Rush Method]. *Scientific Bulletin of the Voronezh State Technical University. Ser. "Construction Management"*, 2014, no. 1 (6), pp. 112–115. (in Russ.)
4. Moiseev S.I. [The Rush Model for Estimating Latent Variables Based on the Least Squares Method]. *Economics and Management of Control Systems. Scientific and Practical Journal*, 2015, no. 2.1 (16), pp. 166–172. (in Russ.)
5. Maslak A.A., Moiseev S.I., Osipov S.A. [Comparative Analysis of Estimates of the Parameters of the Rush Model Obtained by the Methods of Maximum Likelihood and Least Squares]. *Problems of Management*, 2015, no. 5, pp. 58–66. (in Russ.)
6. Smotrova T.I., Moiseev S.I. [Marketing Model for Assessing the Attractiveness of Shopping Centers]. *Internet journal "Science"*, 2015, vol. 7, no. 6. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/>

21EVN615.pdf (free access). (in Russ.) DOI: 10.15862/21EVN615

7. Moiseev S.I., Chernaya Yu.V., Parshina E.V. [Software Quality Assessment Model Based on the Rush Method for Evaluating Latent Variables]. *Bulletin of Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technologies*, 2016, no. 1, pp. 102–109. (in Russ.)

8. Barkalov S.A., Kalinina N.Yu., Moiseev S.I., Nasonova T.V. [Model for Assessing the Professional Suitability of Employees Based on the Theory of Latent Variables]. *Economics and Management of Control Systems. Scientific and Practical Journal*, 2017, no. 1.1 (23), pp. 140–150. (in Russ.)

*Received 1 October 2019*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Баркалов, С.А. Математические методы многокритериального оценивания привлекательности проектов / С.А. Баркалов, А.Ю. Глушков, С.И. Моисеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 111–119. DOI: 10.14529/ctr200111

**FOR CITATION**

Barkalov S.A., Glushkov A.Yu., Moiseev S.I. Mathematical Methods of Multicriteria Evaluation of Attractiveness of Projects. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 111–119. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctr200111

---