

УДК 51-77

А.О. Алексеев, И.Е. Алексеева, А.В. Вычегжанин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

О ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СУБЪЕКТОВ (АГЕНТОВ)

Описана процедура верификации моделей предпочтений экономических субъектов (агентов), которые предлагается формализовывать с помощью матричных механизмов комплексного оценивания в виде последовательного набора бинарных матриц свертки факторов, влияющих на выбор и принятие управленческих решений носителями предпочтений. Идентификация параметров математической модели предпочтений осуществляется во время поведенческого эксперимента, а верификация моделей предпочтений проводится путем сравнения результатов вычислительного эксперимента с результатами поведенческого эксперимента. Приведена информация о созданных авторами программных средствах, с помощью которых могут быть осуществлены сбор, хранение и обработка данных о результатах поведенческих и вычислительных экспериментов, а также данные о программе, используя которую можно осуществлять вычисления с моделями предпочтений экономических субъектов (агентов). Процедура верификации иллюстрируется на примере задачи, где носитель предпочтений выступает в роли инвестора и должен выбрать из альтернативных коммерческих предприятий, каждая из которых рассматривается с позиции риска и доходности, перспективные, на его взгляд, компании для инвестирования в них денежных средств.

Ключевые слова: поведенческие эксперименты, вычислительные эксперименты, моделирование предпочтений, моделирование поведения людей, матричные механизмы комплексного оценивания.

A.O. Alekseev, I.E. Alekseeva, A.V. Vychegzhanin

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

ABOUT THE ECONOMIC AGENT'S PREFERENCES MODELS VERIFICATION

The procedures of verification of models of preferences of economic agents, formalized by a comprehensive evaluation matrix mechanism in the form of a consistent set of binary matrix convolution factors influencing management decisions. Identification of the parameters of the mathematical model of preferences made during a behavioral experiment, and verification of models of preferences is carried out by comparing their results with the results of a computational experiment behavioral experiment. The information about the software tools created by the authors provides. Using these software tools can be carried out the collection, storage and processing of the results of behavioral and computational experiments. Also the information about the program provides, using which can perform computations with economic agent's preferences models. Verification procedure is illustrated by the example where

the agent or preferences carrier acts as an investor and he has to choose perspective companies to invest in alternative businesses, each of which is considered a risk and profitability.

Keywords: behavioral experiments, computational experiments, modeling preferences, behavior modeling, integrated assessment mechanisms.

Для имитационного моделирования мультиагентных систем существенной проблемой является разработка достоверных моделей поведения людей. В работе [1] предложен подход к моделированию предпочтений экономических субъектов (агентов), основанный на использовании матричных механизмов комплексного оценивания [2], для описания процедуры выбора лица, принимающего решения. Верификацию моделей предпочтений предлагается осуществлять путем сравнения результатов вычислительного эксперимента с итогами поведенческого эксперимента в виде тестирования носителей предпочтений [3].

В ходе поведенческих экспериментов формируется эмпирический базис о поведении экономических субъектов (агентов), являющихся носителями уникальных предпочтений, индивидуальных только по отношению к себе. В ходе данных экспериментов участники выступают в некоторой функциональной роли, например инвесторов с ограниченным бюджетом, и их задача заключается в выборе из числа предложенных альтернатив привлекательных для свершения инвестиционной сделки. Поскольку эксперимент, по сути, осуществляется в виде тестирования, далее альтернативы, предлагаемые в качестве набора альтернатив, будем называть тестовыми.

Результаты вычислительного эксперимента представляются в виде ранжированного списка альтернатив по значению комплексной оценки, отражающей степень готовности совершения носителем предпочтений некоторого действия, предусмотренного экспериментом. Существование кривой безразличия, разделяющей множество тестовых альтернатив на привлекательные и непривлекательные для совершения действий, по мнению носителя предпочтений, является условием того, что составленная модель комплексного оценивания может служить моделью реальных предпочтений участника эксперимента. Такая кривая безразличия является индивидуальной границей допустимых действий экономического субъекта (агента).

На основании процентного соотношения совпадения результатов вычислительных и поведенческих экспериментов делается вывод о степени достоверности результатов моделирования предпочтений участников сделки. При совпадении результатов поведенческого и вычислительного экспериментов меньше требуемого значения точности

параметры модели предпочтений корректируются и вычислительный эксперимент повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто требуемое значение точности моделирования.

Для хранения результатов поведенческих и вычислительных экспериментов по проверке адекватности моделей предпочтений экономических субъектов (агентов) была создана одноименная база данных для ЭВМ [4]. В данной базе хранится информация об объектах (таблица Objects), в отношении которых участники поведенческого эксперимента (таблица Users) должны дать свои ответы (таблица Answers), подтверждающие или отрицающие согласие участника на определенное условиями эксперимента действие, а также описание свойств объекта (таблица Properties) и их значения в квалиметрическом пространстве (таблица Propertiesvalues). Поскольку в разных экспериментах могут использоваться разные объекты, то в базе данных предусмотрена таблица Objectstype. По аналогичной причине была создана таблица Gametype, так как эксперименты могут быть посвящены различным предметным областям.

Участники эксперимента могут осуществлять различные функциональные обязанности, для чего была создана таблица Roles, в которой указывается, в какой роли выступает участник эксперимента. В базе данных хранятся сами ответы участников поведенческого эксперимента, формирующие эмпирический базис исследования, и результаты вычислительных экспериментов (таблица Modeling), полученные при различных параметрах моделей предпочтений участников эксперимента (таблица Models): учитываемые критерии в свертке (таблица Nodes), функции приведения в критериальное пространство (описываются в строке Function в таблице Nodes), граф свертки (определяются по данным таблицы Nodes), элементы матриц свертки (таблица Nodesmatrix), пороговое значение комплексной оценки (таблица Goals), а также разных требованиях точности моделирования (Accuracy задается в таблице Modeling). При этом в базе данных хранятся не только результаты вычислительных экспериментов, но и сами параметры модели, при которых эти результаты были получены.

Поскольку вычислительный эксперимент может многократно повторяться при разных параметрах моделей, то в базе данных предусмотрена таблица Steps, хранящая информацию о шаге вычислительного эксперимента. Схема метаданных хранилища представляет собой отображение объектного понятия наследования на реляционную схему и представлена ниже (рис. 1).

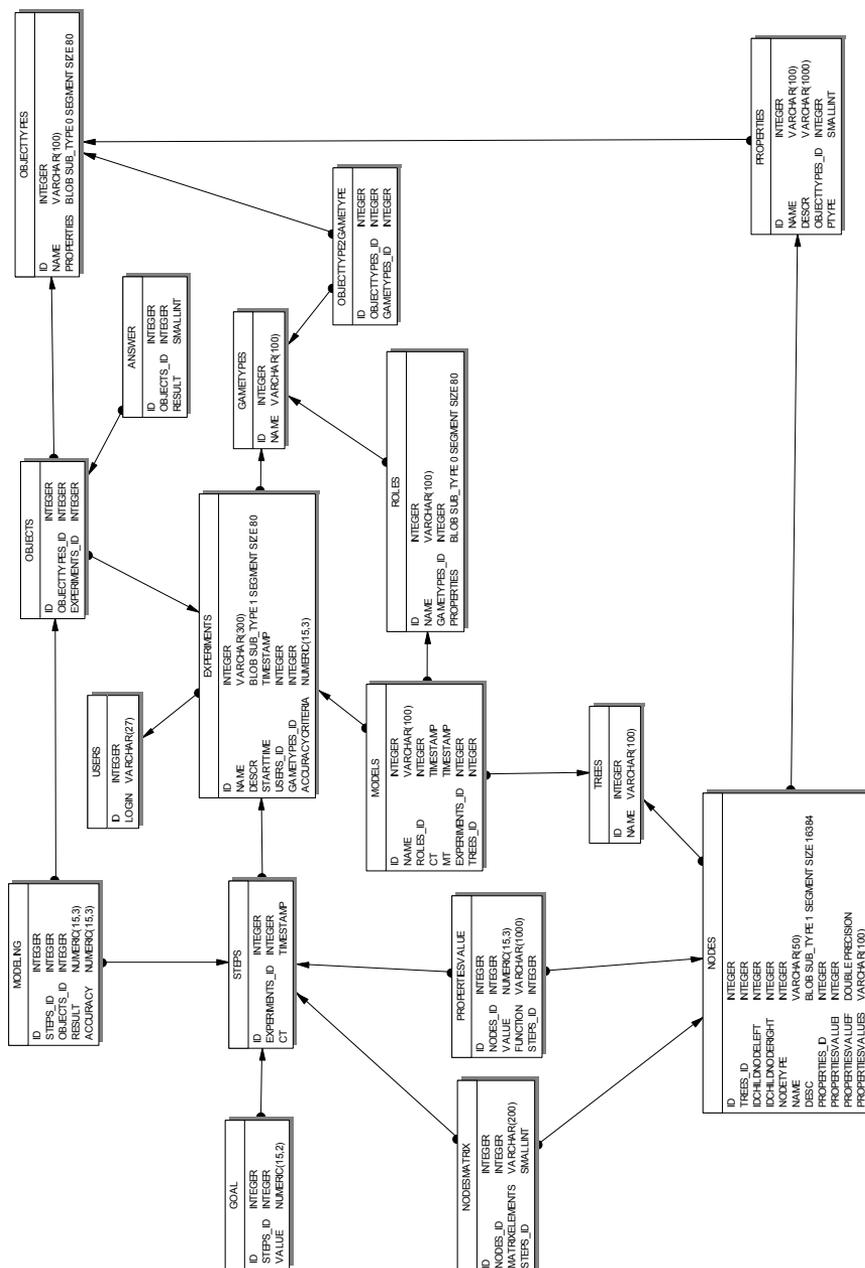


Рис. 1. Физическая модель базы данных [4]

С целью повышения восприимчивости материала проиллюстрируем предложенный подход верификации моделей предпочтений экономических субъектов на примере задачи моделирования предпочтений инвесторов, участвующих в сделках слияния и поглощения [5]. В данном примере в качестве альтернатив выступают предприятия. Для формирования перечня тестовых предприятий данные были взяты из числа предприятий, загруженных в автоматизированную систему «ФинЭкАнализ», доступную для бесплатного скачивания по ссылке: <http://1fin.ru/?id=124>. Данная автоматизированная система предназначена для проведения полноценного финансового анализа деятельности предприятий, любой организационно-правовой формы. Доступность этой информации позволяет, во-первых, воспроизвести этот эксперимент любыми специалистами, во-вторых, у участников поведенческого эксперимента появляется возможность самостоятельно провести дополнительный финансовый анализ тестовых предприятий.

Для целей поведенческого эксперимента был составлен набор тестовых компаний, краткий вариант которого представлен в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные о предприятиях, взятых
для формирования перечня тестовых вопросов

| Наименование предприятия | Юридический адрес предприятия | Вид деятельности по ОКВЭД | Идентификатор предприятия |
|------------------------------|--|---------------------------|---------------------------|
| ГУП «Алексеевское» | г. Пенза, ул. Володарского, 10 | 60.21 | ТП1 |
| ЗАО «Арсенал» | г. Краснодар, ул. Ленина, 16 | 18.22 | ТП2 |
| ЗАО СХП «Победа» | Краснодарский край, Павловский район, ст. Новоластуновская, ул. Калинина, 46 | 01.11 | ТП3 |
| ОАО «АгроТек» | Нет данных | 15.51 | ТП4 |
| ООО «Агрофирма "Приморская"» | Нет данных | 01.11 | ТП5 |

Каждое тестовое предприятие характеризуется показателями доходности (например, рентабельностью) и риска (например, вероятностью банкротства).

Для оценки уровня риска использовалась оценка вероятности банкротства. Для этих целей были выбраны шесть широкопризнанных

моделей (табл. 2), в частности три модели Альтмана (двухфакторная, пятифакторная и модифицированная), модель Стингейта, модель Лиса и модель Таффлера.

Таблица 2

Результаты анализа вероятности банкротства предприятий

| № п/п | Модели оценки вероятности банкротства предприятий | Идентификатор предприятия | | | | |
|-------|---|---------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | ТП1 | ТП2 | ТП3 | ТП4 | ТП5 |
| 1 | Двухфакторная модель Альтмана | Н | Н | Н | Н | Н |
| 2 | Пятифакторная модель Альтмана | Н | Н | В | Н | В |
| 3 | Модифицированная модель Альтмана | Н | Н | Н | Н | Н |
| 4 | Модель Стингейта | В | Н | В | Н | В |
| 5 | Модель Лиса | В | Н | В | Н | В |
| 6 | Модель Таффлера | В | Н | В | Н | В |

Примечание: Н – низкая; С – средняя; В – высокая вероятность банкротства предприятия.

В связи с тем что для комплексного оценивания была выбрана шкала от 1 до 4, а категорий оценки вероятности – 3, то при взвешивании использовалось следующее правило: производится смешение оценок вероятности на один балл в сторону оценок большего количества моделей. Например, тестовые предприятия № 3 и 5 имеют две низкие оценки вероятности банкротства и четыре высокие, тогда оценке низкой вероятности банкротство в соответствии со шкалой ставим 2 балла, а высокой – 4. Подобное взвешивание даст результат 3,33 (табл. 3).

Таблица 3

Анкета для тестирования участников поведенческого эксперимента

| Идентификатор предприятия | Ставка доходности R_r , % | Уровень доходности X_{R_r} (шкала МКО) | Уровень риска R (шкала МКО) | Уровень безопасности S (шкала МКО) |
|---------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------------|
| ТП1 | 8,64 | 2,10 | 2,5 | 2,5 |
| ТП2 | 8,75 | 2,15 | 1 | 4 |
| ТП3 | 7,58 | 1,60 | 3,33 | 1,67 |
| ТП4 | 1,57 | 1 | 1 | 4 |
| ТП5 | 10,13 | 2,81 | 3,33 | 1,67 |

В иллюстрируемом примере для оценки уровня доходности X_{R_r} использовались значения средневзвешенной стоимости капитала предприятия: $WACC \equiv R_r$ (табл. 3). При построении функции приведения

к шкале комплексного оценивания X_{Rr} было принято допущение, что функция имеет линейный характер.левой границей была взята безрисковая ставка, принятая по ставке доходности облигаций федерального займа на момент проведения эксперимента, в размере 6,32 %, а правой границей – двойное значение безрисковой ставки – 12,64 %.

$$X_{Rr} = \max \left[\min \left[3 \cdot (Rr - 6,32) / (12,64 - 6,32) + 1; 4 \right]; 1 \right]. \quad (1)$$

Особенность предлагаемого подхода к построению моделей предпочтений заключается в том, что матрицы свертки, являющиеся прообразом предпочтений агента, не могут убывать, в связи с чем необходим переход от оценки «Уровень риска» к противоположной оценке – «Уровень безопасности» (см. табл. 3). Данный переход предлагается осуществлять, используя выражение

$$S = R - 5. \quad (2)$$

Таким образом, компании, показатели доходности и риска которых приведены к качественным шкалам (X_{Rr} – уровень доходности, S – уровень безопасности), могут быть представлены на области определения матрицы свертки (рис. 2, а), являющейся способом формализации отношения экономического субъекта (агента) к безопасности вложения денежных средств и ожидаемой доходности. Респонденты дают свои ответы в виде списка компаний, которые, на их взгляд, являются инвестиционно-привлекательными для совершения сделки (рис. 2, б, черным цветом закрашены непривлекательные компании).

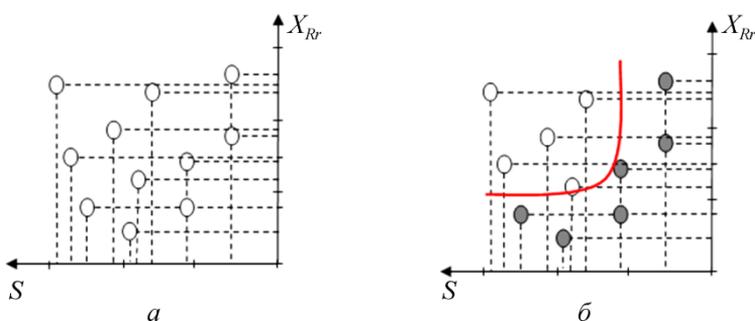


Рис. 2. Примеры расположения тестовых компаний на области определения матрицы свертки: а – тестовых компаний; б – ответов респондентов

Вычислительный эксперимент проводился с помощью составленной модели предпочтений, под которой понимаем механизм комплексного оценивания в виде дерева критериев (рис. 3) и матриц свертки (рис. 4).



Рис. 3. Структура модели предпочтений участника сделки слияния и поглощения

Используя выражение (2), перейдем от уровня риска к уровню безопасности. В данном примере модель предпочтений представляет собой единственную бинарную матричную свертку уровней доходности и безопасности (рис. 4).

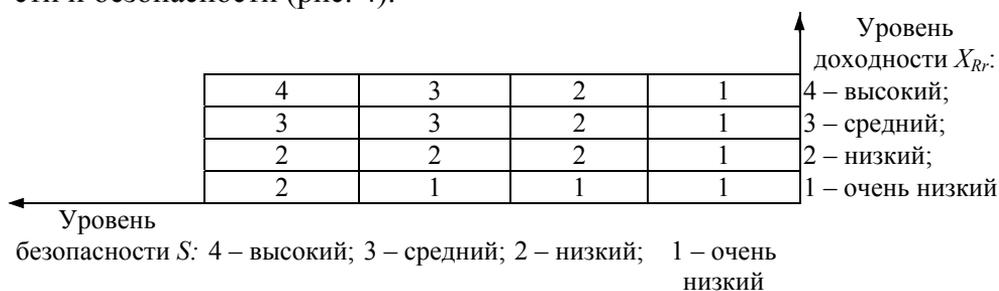


Рис. 4. Модель предпочтений эксперта А

Комплексная оценка, отражающая инвестиционную привлекательность совершения сделки IA , вычисляется с помощью процедуры нечеткого комплексного оценивания [3]. Для этого оценки сворачиваемых параметров фаззифицируются, и результат представляется также в виде нечеткого числа. Для представления комплексной оценки, описывающей инвестиционную привлекательность альтернативы в виде числа, принадлежащего множеству действительных значений, используется выражение центра масс. Нечеткую процедуру комплексного оценивания рекомендуется использовать, если на выбор носителя предпочтений оказывает влияние параметр, не являющийся объектом числовой природы, т.е. он не может быть количественно измерен, а может быть лишь качественно описан.

Эквивалентной альтернативой нечеткой процедуре комплексного оценивания является подход, основанный на интерполяции дискретной матрицы, который целесообразно использовать, когда все параметры объекта выбора (альтернативы) являются количественно измеримыми.

Дискретная матрица свертки описывает набор составных правил вывода «если, то...» (например, если уровень безопасности низкий и уровень доходности высокий, то инвестиционная привлекательность низкая):

$$IA = M_i(X_{Rr}; S), S, X_{Rr}, IA \in D = \{1, 2, 3, 4\}, \quad (3)$$

где $M_i(X_{Rr}, S)$ – матрица свертки, отражающая предпочтения i -го участника эксперимента.

Дискретную матричную свертку можно интерполировать следующим образом:

$$IA = j_6 + (j_8 - j_6) \cdot x_1 + (j_7 - j_6) \cdot x_2 + (j_9 + j_6 - j_8 - j_7) \cdot x_1 \cdot x_2, IA \in D = [1, 4], \quad (4)$$

где x_1 и x_2 – остатки деления по модулю непрерывных параметров X_{Rr} и S соответственно:

$$x_1 = Rr \bmod 1, Rr \in D = [1, 4], x_1 \in [0, 1], \quad (5)$$

$$x_2 = S \bmod 1, S \in D = [1, 4], x_2 \in [0, 1], \quad (6)$$

j_6, j_7, j_8 и j_9 – элементы матрицы свертки $M(X_{Rr}, S)$, определенные на пересечении следующих строк и столбцов матрицы:

$$j_9 = M(\min(4; [1 + j_4]; \min(4; [1 + j_5])), \quad (7)$$

$$j_8 = M([j_4]; \min(4; [1 + j_5])), \quad (8)$$

$$j_7 = M(\min(4; [1 + j_4]; [j_5])), \quad (9)$$

$$j_6 = M([j_4]; [j_5]), \quad (10)$$

$$j_5 = \max(\min(x_2, 4); 1), \quad (11)$$

$$j_4 = \max(\min(x_1, 4); 1), \quad (12)$$

где $[]$ – целая часть числа.

Используя процедуру интерполяции, становится возможным ранжирование любого количества альтернатив. Подобные вычисления можно произвести в программном комплексе [6].

Таблица 4

Пример вычислительного и поведенческого экспериментов

| Идентификатор предприятия | Уровень доходности X_{Rr} (шкала МКО) | Уровень риска R (шкала МКО) | Результат вычислительного эксперимента IA (уровень инвестиционной привлекательности), шкала МКО | Результат поведенческого эксперимента (ответ респондента), да / нет |
|---------------------------|---|-------------------------------|---|---|
| ТП1 | 2,10 | 2,5 | 2,05 | Да |
| ТП2 | 2,15 | 1 | 2,15 | Да |
| ТП3 | 1,60 | 3,33 | 1,4 | Нет |
| ТП4 | 1 | 1 | 2 | Да |
| ТП5 | 2,81 | 3,33 | 1,67 | Нет |

Из табл. 4 видно, что модель предпочтений (см. рис. 3, 4), подробно описанная в [1, 5], вполне может подойти для описания предпочтений выбранного респондента (см. последний столбец в табл. 4).

В заключение следует отметить, что перспективным направлением является исследование зависимости достоверности выявления предпочтений экономических субъектов (агентов) от числа предложенных альтернатив для эксперимента.

Список литературы

1. Алексеев А.О., Алексеева И.Е. Математическое моделирование предпочтений экономических субъектов (агентов) [Электронный ресурс] // Управление экономическими системами. – 2015. – № 4 (76). – URL: http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=3441 (дата обращения: 14.04.2015).
2. Алексеев А.О., Алексеева И.Е. Процедуры нечеткого комплексного оценивания // XII Всерос. совещание по проблемам управления (ВСПУ – 2014). – М.: Изд-во ИПУ РАН, 2014. – С. 7983–7993.
3. Алексеева И.Е. Верификация моделей предпочтений экономических субъектов (агентов) [Электронный ресурс] // Прикладная математика, механика и процессы управления: III Всерос. науч.-техн. интернет-конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Пермь, 30 ноября – 5 декабря 2015 г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та,

2015. – URL: http://pmmmpu.pstu.ru/media/paper_pdf_2015/%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D0%98.%D0%95..pdf (дата обращения: 28.11.2015).

4. База данных результатов поведенческих и вычислительных экспериментов по проверке адекватности моделей предпочтений экономических субъектов (агентов): а.с. № 2015620710 Рос. Федерация / А.О. Алексеев, А.В. Вычегжанин. Заявка 2015620183 от 10.03.2015; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 29.04.2015 (РФ).

5. Алексеева И.Е. Алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений в задаче оценки инвестиционной стоимости бизнеса при сделках слияния и поглощения: дис. ... канд. экон. наук. – Пермь, 2015. – 140 с.

6. Автоматизированная система комплексного оценивания объектов с возможностью выбора процедуры нечеткого комплексного оценивания в соответствии со степенью неопределенности экспертной информации о параметрах их состояния: а.с. № 2014660537 Рос. Федерация / А.О. Алексеев, В.А. Харитонов, Р.Ф. Шайдулин, М.И. Мелехин. Заявка № 2014618056 от 12.08.2014; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 09.10.2014.

References

1. Alekseev A.O., Alekseeva I.E. Matematicheskoe modelirovanie predpochtenii ekonomicheskikh sub"ektov (agentov) [Mathematical modelling of the economic agent's preferences]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami*, 2015, no. 4, iss. 76, available at: http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=3441 (accessed 14 April 2015).

2. Alekseev A.O., Alekseeva I.E. Protsedury nechetkogo kompleksnogo otsenivaniia [Procedures of fuzzy integrated assessment]. *XII Vserossiiskoe soveshchanie po problemam upravleniia* (VSPU – 2014), 2014, pp. 7983-7993.

3. Alekseeva I.E. Verifikatsiia modelei predpochtenii ekonomicheskikh sub"ektov (agentov) [The economic agent's preferences model verification]. *Prikladnaia matematika, mekhanika i protsessy upravleniia: III Vserossiiskaia nauchno-tekhnicheskaiia internet-konferentsiia studentov, aspirantov i molodykh uchennykh, 30 noiabria–5 dekabria 2015 g.* (3rd All-Russian Conference of students, postgraduate students and young scientists “Applied mathematics, mechanics and controlled processes”, 2015,

November, 30th – December, 5th). Perm, 2015, available at: http://pmpmu.pstu.ru/media/paper_pdf_2015/%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D0%98.%D0%95..pdf (accessed 28 November 2015).

4. Alekseev A.O., Vychezhzhanin A.V. Baza dannykh rezul'tatov povedencheskikh i vychislitel'nykh eksperimentov po proverke adekvatnosti modelei predpochtenii ekonomicheskikh sub"ektov (agentov) [Data base of behavioral and calculated experiments results about verification agent's preferences models]. *Certificate on registration of the computer data base* no. 2015620710, 2015.

5. Alekseeva I.E. Algoritmy intellektual'noi podderzhki priniatiia reshenii v zadache otsenki investitsionnoi stoimosti biznesa pri sdelkakh sliianiia i pogloshcheniia [The intelligent decision support algorithms at the problem of appraisal investment value in cases of mergers and acquisitions]. Perm, 2015. 140 p.

6. Alekseev A.O., Kharitonov V.A., Shaidulin R.F., Melekhin M.I. Avtomatizirovannaia sistema kompleksnogo otsenivaniia ob"ektov s vozmozhnost'iu vybora protsedury nechetkogo kompleksnogo otsenivaniia v sootvetstvii so stepen'iu neopredelennosti ekspertnoi informatsii o parametrah ikh sostoiianiia [The automated system of complex estimation of objects with a possibility of the choice of procedure of fuzzy complex estimation according to degree of uncertainty of expert information on parameters of their state]. *Certificate on registration of the computer program* no. 2014660537, 2014.

Получено 02.12.2015

Об авторах

Алексеев Александр Олегович (Пермь, Россия) – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: alekseev@cems.pstu.ru).

Алексеева Ирина Евгеньевна (Пермь, Россия) – аспирантка кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: alekseeva@cems.pstu.ru).

Вычегжанин Антон Валерьевич (Пермь, Россия) – инженер кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: anton@cems.pstu.ru).

About the authors

Aleksandr O. Alekseev (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Economics, Associate Professor, Department of Construction Engineering and Material Sciences, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: alekseev@cems.pstu.ru).

Irina E. Alekseeva (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Construction Engineering and Material Sciences, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: alekseeva@cems.pstu.ru).

Anton V. Vychezhnanin (Perm, Russian Federation) – Engineer, Department of Construction Engineering and Material Sciences, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: anton@cems.pstu.ru).