

6. Amazone [Электронный ресурс]: <http://www.amazone.net> (дата обращения 29.09.2018 г.).

7. John Deere: Сельскохозяйственная техника и оборудование [Электронный ресурс]: <https://www.deere.ru/ru> (дата обращения 29.09.2018 г.).

### References

1. Rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 7 iyulya 2017 g. № 1455-r «O Strategii razvitiya selskokhozyaystvennogo mashinostroeniya RF na period do 2030 g.» Elektronnyy resurs: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71616626/> (data obrashcheniya 19.09.2018 g.).

2. Rasporyazhenie Gubernatora Altayskogo kraya A.B. Karlina № 144-r ot 30.04.2009. Elektronnyy resurs: [http://xn--80aaa3bdj2b.xn--p1ai/about\\_us/](http://xn--80aaa3bdj2b.xn--p1ai/about_us/) (data obrashcheniya 29.09.2018 g.).

3. Belyaev V.I., Volnov V.V. Resursosberegayushchie tekhnologii vozdeystviya zernovykh kultur v

Altayskom krae: monografiya. – Barnaul: Izd-vo AGAU. - 2010. - 205 s.

4. Strategiya sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Altayskogo kraya do 2025 goda Elektronnyy resurs: [http://www.econom22.ru/upload/iblock/f3c/Zakon86-zs\\_121121.pdf](http://www.econom22.ru/upload/iblock/f3c/Zakon86-zs_121121.pdf) (data obrashcheniya 19.09.2018 g.).

5. Katalog produktsii: vysokotekhnologichnaya produktsiya predpriyatiy Altayskogo klastera agrarnogo mashinostroeniya «AltaKAM» Elektronnyy resurs: <https://yadi.sk/mail?hash=RraVkCcwqajXTBHDj2U4qvdNP3N7pgIVzOvT8oF%2BoOQ%3D> (data obrashcheniya 29.09.2018 g.).

6. Amazone Elektronnyy resurs: <http://www.amazone.net> (data obrashcheniya 29.09.2018 g.).

7. John Deere: Selskokhozyaystvennaya tekhnika i oborudovanie Elektronnyy resurs: <https://www.deere.ru/ru> (data obrashcheniya 29.09.2018 g.).



УДК 631.363:636.085.55

И.Я. Федоренко, В.В. Садов  
I.Ya. Fedorenko, V.V. Sadov

## МЕТОДЫ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ КОМБИКОРМОВЫХ ЦЕХОВ

### THE METHODS OF SELECTING EQUIPMENT FOR TECHNOLOGICAL LINES OF FORMULA FEED PLANTS

**Ключевые слова:** комбикормовый агрегат, технологическая линия, иерархическая структура, условия определенности, условия неопределенности.

**Keywords:** formula feed plant, production line, hierarchical structure, certainty conditions, uncertainty conditions.

Производство комбикормов осуществляется на комбикормовых агрегатах, имеющих различный набор оборудования. Обосновать правильность выбора оборудования является сложной технической задачей. Для ее решения представим технологическую систему комбикормового цеха, его подсистем и элементов в виде иерархической структуры 4 уровней. Получение выходного критерия оценки комбикормового цеха будет основано на эмергентности, т.е. появление свойств у системы, не присущих ее элементам. Иерархический подход использован для обоснования марочного состава машин в линиях. Производится двумя путями: в условиях определенности (использовать машины с известными техническими характеристиками) или в условиях неопределенности (использовать проектируемые машины с неизвестными характеристиками). Для условий определенности работу машин и комбикормового цеха в целом отражает набор критериев, которые могут быть представлены в виде комплексного критерия эффективности цеха. Для условий неопределенности приемлемым способом оценки технологических линий является экспертиза. Сущность метода экспертных оценок заключается в рациональной организации проведения экспертами анализа проблемы с их количественной оценкой и обработкой результатов. Теория нечетких множеств дает необходимый аппарат для решения этих трудных задач. Оценка вариантов по предложенным методикам дает возможность решать многокритериальные задачи в том случае, когда требуется выбрать альтернативу из множества неоднородных альтернатив, для которых нельзя формулировать единое множество количественных критериев оценки, а также для оценки единственной (уникальной) альтернативы. Данные методы имеют компьютерные программы, позволяющие производить расчет подбора

оборудования в короткие сроки, используя большое количество вариантов машин.

Formula feed production is carried out on the plants having a different set of equipment. To justify the correct choice of equipment is a difficult technical task. To solve this, we present the technological system of the feed mill, its subsystems and elements in the form of a hierarchical structure of 4 levels. Obtaining the output evaluation criterion of the feed mill will be based on the emergence of the system property, which is not inherent in its elements. The hierarchical approach is used to justify the brand composition of machines in the lines, and is made in two ways: under certainty (the use of machines with known technical characteristics) or under uncertainty (the use of designed machines with unknown characteristics). For conditions of certainty, the operation of the machines and feed mill as a whole reflects a set of criteria that may be presented as a comprehensive criterion for the efficiency of the shop. For uncertainty conditions, an acceptable way to assess the production lines is expertise. The essence of the method of expert assessments is the rational organization of the expert analysis of the problem with their quantitative assessment and processing of the results. The theory of fuzzy sets provides the necessary apparatus for solving these difficult problems. Evaluation of options by the proposed methods makes it possible to solve multi-criteria problems, in the case when you want to choose an alternative from a variety of heterogeneous alternatives, for which it is impossible to formulate a single set of quantitative evaluation criteria, as well as to evaluate a single (unique) alternative. These methods have software applications that allow calculating the selection of equipment in a short time using a large number of machine options.

**Федоренко Иван Ярославович**, д.т.н., проф., зав. каф. «Механизация производства и переработки сельскохозяйственной продукции», Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-71. E-mail: ijfedorenko@mail.ru.

**Садов Виктор Викторович**, к.т.н., доцент, каф. «Механизация производства и переработки сельскохозяйственной продукции», Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-59. E-mail: Sadov.80@mail.ru.

**Fedorenko Ivan Yaroslavovich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Agricultural Production Mechanization and Processing, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-71. E-mail: ijfedorenko@mail.ru.

**Sadov Viktor Viktorovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agricultural Production Mechanization and Processing, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-59. E-mail: sadov.80@mail.ru.

### Введение

Технологическая система комбикормового цеха представляет собой совокупность множества разнородных технологических процессов, протекающих в машинах, и характеризует технологический поток, имеющий пространственно-временную структуру [1]. В соответствии с этим цель функционирования технологической системы комбикормового цеха в целом, его подсистем и элементов

можно представить в виде иерархической структуры.

Исходя из целей каждого уровня иерархической структуры необходимо определить оптимальную структуру комбикормового агрегата. Эта задача является многокритериальной, т.к. с улучшением одних критериев другие ухудшаются. Речь идет о таких противоречивых критериях, как материалоемкость, энергоемкость, производительность, прочность, долговечность, коэффици-

ент полезного действия, габариты, показатели качества работы, эргономичность и другие. В этом случае при решении компромиссной задачи необходимо учесть множество ограничений и требований. Классические методы оптимизации чаще всего бессильны. Чем сложнее система, тем меньше вероятность найти для нее строго оптимальное решение.

### Объекты и методы исследования

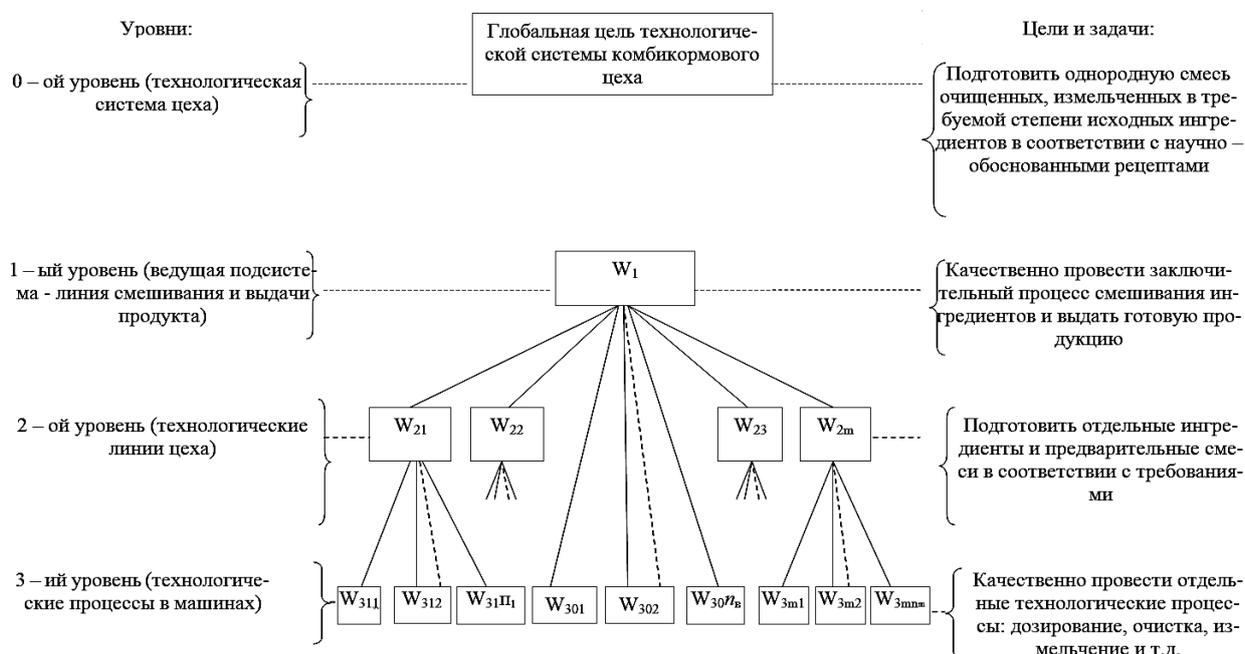
Иерархическую структуру комбикормового цеха можно представить в виде рисунка. На нижнем уровне осуществляется оценка объекта по отдельным свойствам, а на верхнем уровне посредством механизма композиции получается оценка объекта в целом (синтез).

В нашем случае имеем дело с четырьмя иерархическими уровнями, что говорит о сложности технологической системы комбикормового цеха [2]. Для данной сложной системы характерны свойства: множество элементов и их связей, внутреннее разнообразие, многоуровневость, открытость и эмерджентность [3]. Нахождение глобальной цели, т.е. получение однородной смеси

очищенных и измельченных компонентов в соответствии с научно обоснованным рецептом будет основано на эмерджентности, т.е. появление свойств у системы, не присущих ее элементам. Характеристикой эмерджентности является нелинейность связи между свойствами системы и ее отдельных элементов, а появление эмерджентности результатом синергизма элементов, т.е. усиления свойств [4]. По сути это закон перехода количества в качество.

Данный способ представления технологической системы в виде иерархической структуры с ее параметрами позволяет определить качество свойств на каждом уровне, используя системный подход, определить свойство системы в целом.

Иерархический подход используем для обоснования марочного состава машин в линиях. Это можно производить двумя путями: в условиях определенности (использовать машины с известными техническими характеристиками) или в условиях неопределенности (использовать проектируемые машины с неизвестными характеристиками).



**Рис. Иерархическая структура целей технологической системы комбикормового цеха:**  
 $W_1, W_{21}, W_{22}$  и т.д. – локальные цели;  $m$  – число технологических линий, за исключением линии смешивания;  $n_1, n_2, \dots, n_m$  – число машин в каждой из  $m$  технологических линий;  $n_0$  – число машин в ведущей технологической линии

Для условий определенности работу машин и комбикормового цеха в целом отражает набор критериев, которые могут быть представлены в виде комплексного критерия эффективности цеха.

В основу метода моделирования комбикормовых цехов могут быть положены частные критерии оценки отдельных машин цеха:  $W_1; W_2; \dots W_n$ , а именно удельный расход энергии, удельная материалоемкость, коэффициент готовности и т.д.

Для начала необходимо рассмотреть систему нормированных (кодированных) показателей  $\psi_i(W_i)$  оценки каждой машины.

Для показателей  $W_i$ , которые нужно уменьшать, функцию  $\psi_i(W_i)$  можно задать линейно убывающей функцией:

$$\psi_i(W_i) = \frac{\max W_i - W_i}{\max W_i - \min W_i}, \quad (1)$$

где  $\max W_i, \min W_i$  – максимальное и минимальное значения  $i$ -го показателя.

Для показателей  $W_i$ , которые нужно увеличивать, приемлема монотонно возрастающая линейная функция

$$\psi_i(W_i) = \frac{W_i - \min W_i}{\max W_i - \min W_i}. \quad (2)$$

Далее используем известный метод линейной (аддитивной) свертки критериев на основе весовых коэффициентов (коэффициентов важности, весомости, значимости) частных критериев. В этом методе целевая функция образуется путем сложения нормированных значений частных критериев, входящих в целевую функцию  $J$  с некоторым весом  $\alpha_i$ , определяющим важность каждого критерия. Тогда, комплексный критерий принимает вид:

$$J = \sum_{i=1}^n \alpha_i \psi_i(W_i) \rightarrow \max; \quad \alpha_i \geq 0, \quad (3)$$

где  $\alpha_i = \frac{\partial J}{\partial \psi_i}$  – коэффициент веса (весомости)

$i$ -го частного критерия.

Считается, что нормирование коэффициентов важности критериев должно быть таким, чтобы выполнялось условие

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1. \quad (4)$$

Предварительную оценку весомости каждого критерия  $W$  для каждой из машин можно подсчитать по формуле

$$\bar{\alpha}_{1j} = \frac{W_{1j}}{\sum_{j=1}^m W_{1j}}, \quad (5)$$

где  $j = 1 \dots m$  – число машин в данном комплекте.

В общем плане при расчете оценки  $i$ -го коэффициента веса для  $j$ -той машины нужно исходить из формулы

$$\bar{\alpha}_{ij} = \frac{W_{ij}}{\sum_{j=1}^m W_{ij}}, \quad j = \overline{1 \dots m}. \quad (6)$$

При использовании формулы

$$\alpha_i = \frac{\bar{\alpha}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{\alpha}_i} \quad (7)$$

получим значения коэффициентов важности.

Общая оценка комплекта  $I$ , при знании оценок составляющих его машин, составит величину

$$I = \sum_{k=1}^N J_k, \quad k = \overline{1, N}, \quad (8)$$

где  $N$  – число машин в комплекте.

Не нужно забывать, что при отборе вариантов комплектов, подлежащих многокритериальной оценке, проводятся предварительные неформальные процедуры. Они заключаются в следующем:

- 1) проверяется возможность технологического и функционального сопряжения машин в технологических линиях и комплекте в целом;
- 2) проводится анализ структурной надежности комплекта машин как технической системы, в которой машины выступают в качестве ее элементов.

Данная методика позволяет сравнивать различные технологии и используемые машины и в итоге получить такую технологию, с определенным набором машин, которая будет требовать наименьших затрат, а приготовленные смеси – соответствовать зоотехническим требованиям.

Для решения аналитических задач в условиях неопределенности применяются вероятностно-

статистические методы [5]. Однако использование этих методов ограничивается следующим:

1) необходимостью учета факторов неопределенности, имеющих нестатистическую природу (субъективные оценки, экспертно-лингвистическая неопределенность);

2) невозможностью получения вероятностно-статистических данных на стадии проектирования сложных технических систем;

3) необходимостью учета разнородной и противоречивой информации, приводящей к непреодолимым математическим трудностям в рамках классического подхода;

4) психологическим неприятием лица, принимающего решение в реальных условиях, подсказок и решений, полученных на основе только вероятностно-статистических методов.

Одним из приемлемых способов оценки технологических линий является экспертиза. Сущность метода экспертных оценок заключается в рациональной организации проведения экспертами анализа проблемы с их количественной оценкой и обработкой результатов. Обобщенное мнение группы экспертов принимается как решение проблемы. Теория нечетких множеств дает необходимый аппарат для решения этих трудных задач [6].

Нечеткие дискретные множества записываются в виде

$$A = \sum_{i=1}^k \frac{\mu_A(u_i)}{u_i}, \quad (9)$$

где  $\mu_A(u_i)$  – степень принадлежности элемента  $u_i \in U$  нечеткому множеству  $A$ .

Будем считать известными:

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$  – множество проектов комбикормовых агрегатов, которые подлежат многокритериальному анализу;

$W = \{W_1, W_2, \dots, W_k\}$  – множество критериев, по которым оцениваются проекты.

Находить степень принадлежности нечеткого множества удобно методом построения функции принадлежности на основе парных сравнений. В противном случае, когда сравниваются варианты в целом, картина сравнения очень сложна и начи-

нает ускользать от внимания лица, принимающего решение (ЛПР).

Для нахождения преимущества одного варианта  $u_i$  над другим  $u_j$  можно воспользоваться шкалой Саати. Результаты парных сравнений представляются в виде квадратной матрицы  $A$ , которая имеет свойство обратной симметричности, т.е.:

$$a_{ji} = \frac{1}{(a_{ij})}, \text{ где индексы } i \text{ и } j \text{ у элементов матрицы}$$

относятся к строке и столбцу соответственно.

Матрица  $A$  имеет вид

$$A(u_i) = \begin{matrix} & u_1 & u_2 & u_3 & \dots & u_k \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ u_k \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2k} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k2} & a_{k3} & \dots & a_{kk} \end{pmatrix} \end{matrix}. \quad (10)$$

Оценка собственного вектора по строкам

$$\begin{matrix} u_1 & u_2 & u_3 & \dots & u_k \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ u_k \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2k} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k2} & a_{k3} & \dots & a_{kk} \end{pmatrix} \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} \sqrt[k]{a_{11} \cdot a_{12} \cdot a_{13} \cdot \dots \cdot a_{1k}} = b_1 \\ \sqrt[k]{a_{21} \cdot a_{22} \cdot a_{23} \cdot \dots \cdot a_{2k}} = b_2 \\ \sqrt[k]{a_{31} \cdot a_{32} \cdot a_{33} \cdot \dots \cdot a_{3k}} = b_3 \\ \dots \\ \sqrt[k]{a_{k1} \cdot a_{k2} \cdot a_{k3} \cdot \dots \cdot a_{kk}} = b_k \end{matrix} \quad \bar{\Sigma}$$

Нормализация оценки вектора приоритетов дает оценки степени принадлежности варианта нечеткому множеству:

$$\begin{matrix} \frac{b_1}{\Sigma} = \mu_{w_i}(u_1); & \frac{b_2}{\Sigma} = \mu_{w_i}(u_2); \\ \frac{b_3}{\Sigma} = \mu_{w_i}(u_3); & \dots & \frac{b_k}{\Sigma} = \mu_{w_i}(u_k). \end{matrix} \quad (11)$$

Проверка правильности полученных нормализованных оценок вектора приоритетов проводится по формуле:

$$\mu_{w_i}(u_1) + \mu_{w_i}(u_2) + \mu_{w_i}(u_3) + \dots + \mu_{w_i}(u_k) = 1.$$

Соответственно, если имеем  $k$  вариантов  $u$ , то в представленной выше схеме вычисляем корень  $k$ -той степени принадлежности  $\mu(u)$ .

Согласно полученным нечетким множествам  $W$ , наилучшим вариантом следует считать тот, у которого наибольшая степень принадлежности:

$$W = \arg \max(\mu_w(u_1), \mu_w(u_2), \dots, \mu_w(u_k)). \quad (12)$$

Оценка согласованности суждений экспертов основывается на использовании понятий компактности, наглядное представление дает геометрическая интерпретация результатов экспертизы [7].

В качестве меры согласованности мнений группы экспертов используется коэффициент конкордации Кендалла (коэффициент согласованности), который определяется по формуле

$$K = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^n D_i^2}{m^2(n^3 - n)},$$

где  $n$  – число оцениваемых объектов;

$m$  – число ранговых последовательностей (количество экспертов);

$D_i = d_i - \bar{d}$  – отклонение суммы рангов  $i$ -го

объекта  $d_i = \sum_{j=1}^m R_{ij}$  от средней суммы рангов всех

объектов  $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$ .

Оценивается значимость полученных критериев с помощью критерия Пирсона «хи-квадрат».

### Заключение

Для адекватной оценки структуры комбикормового цеха возможно воспользоваться методикой для условий определенности и неопределенности и решить задачу композиции критериев по уровням иерархии, последовательно переходя от нижнего уровня до верхнего. Оценка вариантов по предложенным методикам дает возможность решать многокритериальные задачи в том случае, когда требуется выбрать альтернативу из множества неоднородных альтернатив, для которых нельзя формулировать единое множество количественных критериев оценки, а также для оценки единственной (уникальной) альтернативы. Эти методы реализованы в виде компьютерных программ, которые проходят экспертную оценку и регистрацию в ФИПС.

### Библиографический список

1. Панфилов В.А. Теория технологического потока. – М.: КолосС, 2007. – 319 с.

2. Федоренко И.Я., Садов В.В. Структурная сложность технологической системы комбикормового цеха // АПК России. – 2017. – № 2. – Т. 24. – С. 437-442.

3. Князева Е.Н. Инновационная сложность // Философия науки и техники. – 2015. – № 2. – Т. 20. – С. 50-69.

4. Voronin A. Hierarchy of Emergent Properties of Alternatives in Systems Analysis / International Journal "Information Theories and Applications", Vol. 22, Number 2, 2015.

5. Федоренко И.Я., Морозова С.В. Оптимизация и принятие решений в агроинженерных задачах. – СПб.: Лань, 2016. – 288 с.

6. Садов В.В. Экспертная оценка комбикормовых агрегатов на основе нечетких множеств // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 9 (155). – С. 179-185.

7. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: в 3 ч. Ч. 2: Экспертные оценки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 486 с.

### References

1. Panfilov V.A. Teoriya tekhnologicheskogo potoka. – M.: KolosS, 2007. – 319 s.

2. Fedorenko I.Ya., Sadov V.V. Strukturnaya slozhnost tekhnologicheskoy sistemy kombikormovogo tsekha // APK Rossii. – 2017. – T. 24. No. 2. – S. 437-442.

3. Knyazeva Ye.N. Innovatsionnaya slozhnost // Filosofiya nauki i tekhniki. – 2015. – No. 2. – T. 20. – S. 50-69.

4. Voronin, A. Hierarchy of Emergent Properties of Alternatives in Systems Analysis / International Journal "Information Theories and Applications", Vol. 22, No. 2, 2015.

5. Fedorenko I.Ya., Morozova S.V. Optimizatsiya i prinyatie resheniy v agroinzhenernykh zadachakh. – SPb.: Lan, 2016. – 288 s.

6. Sadov V.V. Ekspertnaya otsenka kombikormovykh agregatov na osnove nechetkikh mnozhestv // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 9 (155). – S. 179-185.

7. Orlov A.I. Organizatsionno-ekonomicheskoe modelirovanie: v 3 ch. – M.: Izd-vo MG TU im. N.E. Bauman. Ch. 2: Ekspertnye otsenki, 2011. – 486 s.