

УДК 631.3:658.011.46

DOI 10.22314.2073-7599-2016.6.3-9

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УРОВНЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Измайлов А.Ю.¹, докт. техн. наук, академик РАН; Макаров В.А.^{2*}, докт. техн. наук, профессор

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация

²Всероссийский научно-исследовательский институт механизации и информатизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства, ул. Щорса, 38/11, Рязань, 390025, Российская Федерация, *e-mail: gnu@vnims.ryazan.ru

В последние годы на российский рынок поступает много сельскохозяйственной техники и оборудования как отечественного, так и зарубежного производства. Однако методикам обоснования технико-экономического уровня (ТЭУ) применяемых машин и оборудования не уделяется должного внимания. Намечены пути повышения эффективности производства сельскохозяйственной продукции с использованием системы технико-экономических показателей, направленных на совершенствование техники. Отмечено, что под технико-экономическим уровнем понимается относительная количественная характеристика машин и степень совершенствования их технико-эксплуатационных и экономических показателей по сравнению с базовым вариантом. При проведении исследований применен программно-целевой принцип, а также байесовский подход в условиях использования выборок малого объема. Разработана и теоретически обоснована методика оценки технического уровня машин и оборудования для сельскохозяйственного производства. Установлено, что при отсутствии параметрической характеристики для разрабатываемых машин и оборудования показателем технико-экономического уровня служит коэффициент полноты информации. Его определяют исходя из перечня показателей, их значимости (весомости), интерпретации и анализа ТЭУ, что необходимо для рекомендаций для принятия решений. Использование методики предполагает, что значимость единичных показателей относительно одной характеристики одинакова и равна единице. Поскольку показатели носят вероятностный характер, исследователь должен учитывать значения, полученные в различных условиях. Теоретически установлено, что ТЭУ представляет обобщенный показатель степени совершенствования оцениваемой машины или оборудования и вычисляется по соответствующим формулам и критериям. Методика позволяет объективно определить ТЭУ выпускаемых и разрабатываемых машин и оборудования, а анализ составляющих дает возможность выявить резервы повышения эффективности различных технологических средств.

Ключевые слова: сельскохозяйственные машины и оборудование, технико-экономический уровень, эффективность технологических средств, программно-целевой принцип, байесовский подход.

■ **Для цитирования:** Измайлов А.Ю., Макаров В.А. К вопросу обоснования технико-экономического уровня сельскохозяйственных машин и оборудования // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №6. С. 3-9 DOI 10.22314.2073-7599-2016.6.3-9

REVISITING JUSTIFICATION OF TECHNO-ECONOMIC LEVEL OF AGRICULTURAL MACHINES AND EQUIPMENT

A.Yu. Izmailov¹, Dr.Sci.(Eng.), RAS full member, V.A. Makarov^{2*}, Dr.Sci.(Eng.), professor

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation

²All-Russia Research Institute of Mechanization and Informatization of Agrochemical Service of Agriculture, Nakhimov St., 38/11, Ryazan, 390025, Russian Federation, *e-mail: gnu@vnims.ryazan.ru

In recent years, a large amount of technology and equipment of both domestic and foreign production for agriculture comes in Russia. However, neglected domestic printing techniques justification technical-and-economic level (TEL) used machinery and equipment is not given. The authors outline ways to improve efficiency of agricultural production with use of techno-economic indicators system aimed at machinery improving. TEL means the relative quantitative characteristic of the machines and the degree of improvement of its performance and economic indicators compared to the characteristics of the basic option. When carrying out researches the program and target principle, and also Bayesian approach in the

conditions of use of small samples were applied. Absent the parametrical characteristic for the developed machines and equipment, as an indicator of technical and economic level serves the coefficient of completeness of information. It is determined taking account the list of indicators, their importance (ponderability), interpretation and the analysis of TEL that is necessary for development of recommendations for decision making. Use of a technique hypothesizes that the importance of single indicators relative to one characteristic is the same and is equal to one. As indicators have probabilistic character, the researcher should consider the values received in various conditions. TEL is the overall index of enhancement of the estimated machine or equipment and is calculated on the corresponding formulas and criteria. The technique allows to determine objectively TEL of the current and future machines and equipment, and the analysis of components gives the chance to reveal allowances of increase in efficiency of various technological means.

Keywords: Agricultural machinery and equipment, Technical and economic level; Efficiency of technological means; Program and target principle; Bayesian approach.

■ **For citations:** Izmailov A.Yu., Makarov V.A. Revisiting justification of techno-economic level of agricultural machines and equipment. *Sel'skokhozyaystvennye mashinyi tekhnologii*. 2016; 6: 00 DOI 10.22314.2073-7599-2016.6.3-9 (In Russian)

В последнее время в научных публикациях не уделяется должного внимания вопросам эффективного выбора и использования сельскохозяйственных машин и оборудования в аграрном производстве.

Повышение эффективности отрасли во многом зависит от системы мероприятий и технического уровня применяемых машин и оборудования. Чтобы эффективно управлять научно-техническим прогрессом, необходимо обосновывать направления совершенствования техники. Из этого следует, что технико-экономический уровень машин нужно определять на всех стадиях их разработки и эксплуатации.

Цель исследований – выявление недостатков существующих методик оценки технического уровня применяемых машин (техническое, конструктивное решение, совершенствование и новизна), разработка экономических критериев, теоретическое обоснование методики оценки технического уровня выпускаемых и перспективных машин и оборудования для сельскохозяйственного производства.

Материалы и методы. Под технико-экономическим уровнем мы понимаем относительную количественную характеристику степени совершенства машины и оборудования, основанную на сопоставлении ее технико-эксплуатационных и экономических показателей с этими же характеристиками базового варианта. При исследованиях применяется программно-целевой принцип с байесовским подходом в условиях использования выборок малого объема.

Результаты и обсуждение. Применительно к сельскохозяйственным машинам необходимо руководствоваться общей методикой оценки технического уровня, отраслевыми стандартами для комплексной оценки, применяемыми в растениеводстве.

Вместе с тем, как общие, так и частные методики оценки технического уровня сельскохозяйствен-

ных машин имеют существенные недостатки:

- понятие качества машин разделяется на технический уровень (техническое, прежде всего конструктивное совершенство) и новизну;

- при оценке качества эксплуатации в перечень показателей, по которым определяется технический уровень, не входят экономические критерии;

- весомость групп показателей для всех видов техники принята одинаковой, что противоречит определению технико-экономического уровня в нормативных документах;

- так как показатели, по которым оценивается технико-экономический уровень машин (ТЭУ), носят вероятностный характер, то и ТЭУ также должен выражаться вероятностной величиной (доверительным интервалом);

- в методиках не отражены принципы принятия решений по показателям технического уровня, поэтому полученные результаты нельзя использовать для составления окончательного заключения по итогам испытаний.

С позиций понятия ТЭУ для машин и оборудования можно выделить две стадии их разработки и использования технического решения, выполненного на уровне идеи, и технического задания или лабораторного образца. Если достоверные показатели отсутствуют, то на этом этапе задача состоит в том, чтобы дать объективное заключение о необходимости проведения дальнейших исследований. Если же имеется информация о технико-эксплуатационных и экономических показателях машины, полученная в результате проведения производственных, ведомственных или государственных испытаний, то задача состоит в том, чтобы дать объективное заключение для принятия решения о выпуске машины и указать направления повышения ее качества.

Для разрабатываемых машин, по которым отсутствует параметрическая информация, показателем ТЭУ служит коэффициент полноты [1]. Он

Table 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УРОВНЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ PARAMETERS OF TECHNICAL-AND-ECONOMIC LEVEL OF AGRICULTURAL MACHINES AND EQUIPMENT	
Характеристики / Performance	Показатели / Indicators
Снижение затрат труда Reduction in labor input	Удельные затраты труда. Число высвобожденных работников / Labor content per unit of output
Улучшение качества работы Quality improving	Показатели качества выполнения технологического процесса / Indicators of quality of technological process performance
Снижение затрат средств Cost saving	Удельные капиталовложения. Удельные эксплуатационные расходы / Specific capital investments. Specific operating costs
Повышение надежности Reliability improvement	Коэффициенты готовности, надежности технологического процесса / Availability factor of technological process
Улучшение условий труда Improvement of working conditions	Уровень запыленности, шума, концентрации вредных веществ / Level of dust, noise, hazardous substances concentration
Повышение уровня унификации Increase of unification level	Коэффициент применяемости / Coefficient of applicability
Снижение энергоемкости Energy intensity reduction	Энергоемкость / Energy intensity
Повышение эксплуатационной технологичности Increase of maintainability	Монтажепригодность / Maintainability
Снижение материалоемкости Materials-output ratio reduction	Материалоемкость / Materials-output ratio
Повышение патентоспособности Increase of patentability	Патентоспособность / Patentability

характеризует потенциальный ТЭУ разрабатываемой машины и определяется при сопоставлении технического решения с генеральной определительной таблицей (ГОТ).

ГОТ – это система взвешенных характеристик объекта прогнозирования, позволяющая преобразовывать его качественное описание в обобщенную количественную оценку.

Рассмотрим процесс определения ТЭУ машин, по которым имеется параметрическая информация. Он состоит из следующих этапов:

- выявление перечня показателей;
- определение их значимости (весомости);
- получение исходных данных о показателях оцениваемой машины;
- выбор базового образца и сбор исходной информации о нем;
- интерпретация и анализ ТЭУ и подготовка рекомендаций для принятия решения.

В известных нормативных документах предусмотрен перечень показателей, по которым определяется ТЭУ, там же указаны и способы определения их значимости. Однако отсутствие системного подхода не позволяет достаточно объективно объединить в группы все показатели и выявить значимость этих групп. Кроме того, как отмечалось выше, в этих перечнях отсутствуют экономические показатели.

В связи с этим предложен программно-целевой принцип объединения показателей в группы и обоснования значимости групп. Сущность этого принципа состоит в построении дерева целей. На верхнем его уровне главная цель – разработать и наладить выпуск машин и оборудования, обеспечивающих дальнейшее ускорение технического прогресса в сельскохозяйственном производстве. Эта цель подвергается декомпозиции на характеристики второго уровня по видам техники. Наконец, характеристики подвергаются декомпозиции на показатели машин (цель третьего уровня).

Опыт показывает, что характеристики (цели второго уровня) машин для технологических решений могут быть представлены одним перечнем (табл. 1). Пересчет же показателей (цели третьего уровня) изменяется в зависимости от вида оцениваемой техники по таким характеристикам, как качество работы и условия труда.

Зависимость характеристик устанавливается с помощью экспертов по известным методикам, причем оценки от экспертов получают в абсолютных (ненормированных) величинах, так как даже опытные специалисты не смогут разложить единицу на $m=10$ величин, экспоненциально учитываемых в соответствии с их рангами. Такое разложение можно осуществить при $m \geq 5$.

Использование данной методики предполагает,

что значимость единичных показателей относительно одной характеристики одинакова и равна единице.

Однако допускается, что степень влияния показателей на характеристику может быть различной, тогда это различие необходимо выявить и учесть.

При определении ТЭУ учитывается, что его значение характеризует степень совершенствования машины и оборудования с точки зрения требований, сформулированных к настоящему времени, то есть в момент оценки. Но так как требования со временем меняются, то характеристики и их значимость периодически пересматриваются.

Далее определяют численные значения показателей оцениваемой машины и оборудования. При этом необходимо учитывать две особенности полученных исходных данных.

Во-первых, значения показателей носят вероятностный характер, поэтому и значения ТЭУ имеют ту же особенность.

Во-вторых, исследователь может располагать значениями показателей, которые получены в различных условиях и организациях и также различаются между собой.

Первую особенность учитывают следующим образом. По каждому показателю определяют среднее значение и доверительный интервал с заданной вероятностью, например по ГОСТу. Затем вычисляют ТЭУ и его доверительный интервал.

Вторая особенность требует использования байесовского подхода. Рассмотрим его применительно к нашей задаче.

Пусть по результатам испытаний машины получены исходные данные о некоторых показателях. При обработке результатов исследований выявлена функция плотности распределения F вероятностей $p(x/\theta)$ для вектора случайных наблюдений и вектора параметров θ . Под параметрами θ понимают параметры распределения, например, математическое ожидание m и дисперсию σ^2 .

Вместе с тем известна информация о данном показателе, полученная из других источников, например протоколов испытаний. Такую информацию называют априорной, функцию плотности распределения вероятности – тоже априорной и обозначают $p(\theta)$. В теореме Байеса известно, что совместная функция плотности параметров θ при условии заданной выборочной информации x может быть представлена в виде:

$$(\theta) = p(\theta)p(x/\theta) \sim \theta p(x/10), \quad (1)$$

где $\sim$ – символ пропорциональности, а нормирующая постоянная определяется из выражения:

$$p(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(\theta)p(x/\theta)d\theta.$$

Если функция априорная и правдоподобие име-

ет нормальное распределение, то ее записывают как априорную функцию для математического ожидания m :

$$p(m) = \sqrt{2\pi\delta_a^{-1}} \exp\left[-\frac{1}{2\delta_a^2}(m-m_a)^2\right] \quad (2)$$

где δ_a^2 – априорная дисперсия;

m_a – априорное математическое ожидание.

Функцию правдоподобия для неизвестного параметра m можно представить в виде:

$$p(x/m\delta_n^2) = (2\pi\delta_n^2)^{n/2} \exp\left[-\frac{1}{2\delta_n^2} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2\right], \quad (3)$$

где δ_n^2 – известная дисперсия по заданной выборке.

Тогда в соответствии с (1) получим апостериорную функцию для получения параметра m , которую можно записать в виде:

$$p(m/\delta_n^2) = \exp\left[-\frac{1}{2\delta_n^2} \cdot \frac{m - m_a}{\delta_n^2} + \frac{n}{\delta_n^2} (m - x)^2\right] \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что параметр m также нормально распределен с математическим ожиданием:

$$M_{(m)} = \frac{x\delta_n^2 + m_a\delta_n^2/n}{\delta_n^2 + \delta_n^2/n} \quad (5)$$

и дисперсией:

$$D_{(m)} = \frac{\delta_n^2 \cdot \delta_n^2/n}{\delta_n^2 + \delta_n^2/n}. \quad (6)$$

Используя выражения (5) и (6), вычисляем доверительный интервал для показателя:

$$m = M_{(m)} \pm t_a \sqrt{D(M)}/\sqrt{n} \quad (7)$$

где t_a – критерий Стьюдента с уровнем значимости a (обычно $a < 0,10$).

По мере поступления новой информации о показателях машины вычисляем новые апостериорные математическое ожидание и дисперсию, используя байесовский подход [2, 3]. Для этого по новым данным определяем функцию правдоподобия, а вычисленную ранее апостериорную функцию используем как априорную [4-9].

Таким образом, применение байесовского подхода, особенно в условиях использования выборок малого объема, позволяет получить более точные оценки данного показателя и использовать всю имеющуюся информацию о машине или оборудовании.

ТЭУ представляет собой обобщенный показатель степени совершенства оцениваемой машины и вычисляется по формуле:

$$K = \sum_{i=1}^m g_i \varphi_i / \sum_{i=1}^m \varphi_i, \quad (8)$$

где g_i – обобщенный показатель, относительное из-

менение группы показателей оцениваемой машины по сравнению с базой по i -й характеристике;

φ_i – значимость i -й характеристики;

k – общее число характеристик.

Определяем относительное изменение группы:

$$g_i = \sqrt{\prod_{k=1}^i g_{ki}}, \quad k = 1 \dots i, \quad (9)$$

где i – число показателей данной группы, соответствующих i -й характеристике;

g_{ki} – относительное изменение единичного k -го показателя.

Величина g_{ki} определяется по формуле:

$$(s_\delta - \beta)/(s - \beta), \text{ при } s \rightarrow \beta \neq 0, \\ g_{ki} = s / s_\delta, s \rightarrow \max, s_\delta / s, s \rightarrow \min, \quad (10)$$

где s_δ и s – значения показателя соответствия базовой и оцениваемой машины;

β – известный обоснованный предел изменения показателя (индексы k и i опущены).

В зависимости от того, как должен в соответствии с техническим прогрессом изменяться показатель, применяют ту или иную формулу. Если по-

Случайные величины в числителе формулы (9) суммируют следующим образом. Учитывая, что случайные величины неизвестны, а следовательно, и произведения $g_i \varphi_i$ также независимы, в соответствии с теоремой сложения математических ожиданий получим:

$$M \left[\sum_{i=1}^m \Delta g_i \varphi_i \right] = \sum_i^m [g_i \varphi_i]. \quad (11)$$

Для нахождения доверительного отклонения от K при вычислении числителя по (9) достаточно иметь дисперсию $D(g)$, по всем характеристикам или вероятные отклонения

$$\Delta g_i \varphi_i = \varphi_i t_a \sqrt{D_{g_i}} / \sqrt{n}, \quad (12)$$

которые пропорциональны корню квадратному из величины дисперсии. Так как дисперсия суммы корреляционных случайных величин равна сумме дисперсий слагаемых, то сумма отклонений (12) их величин равна сумме отклонений слагаемых:

$$E \left[\sum_{i=1}^m \Delta g_i \varphi_i \right] = \sum_i^m [g_i \varphi_i]. \quad (13)$$

Table 2		КРИТЕРИИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УРОВНЯ CRITERIA FOR TECHNICAL-AND-ECONOMIC LEVEL	
Значения Amount	Критерии Criteria	Оценка ТЭУ машины, если за базовый вариант принят образец Machine TEL assessment if the sample is taken for basic option	
		отечественный domestic	лучший зарубежный best foreign
Менее / less than 1,00	5	неперспективна unpromising	неперспективна unpromising
1,00...1,19	4	неперспективна unpromising	перспективна promising
1,20...1,39	3	мало перспективна little promising	весьма перспективна considerably promising
1,40...1,59	2	перспективна promising	весьма перспективна considerably promising
1,60 и более / and more	1	весьма перспективна considerably promising	весьма перспективна considerably promising

казатель должен увеличиться и известен обоснованный его предел (например, коэффициент готовности для которого $\beta=1$), причем этот предел пока не достигнут ни для базовой, ни для оцениваемой машины, то применяют формулу (9). Если же предел изменения показателя не известен или стремится к нулю, или достигнут известный предел, отличный от нуля, то используют формулы (10).

При определении удельных показателей машин в соответствии с выбранным перечнем (табл. 1), а также при вычислении относительных изменений единичных показателей по формулам (9)-(10) выполняют деление случайных величин [10-14]. Для вычисления математического ожидания и дисперсии используют методы численного интегрирования функций распределения [4-6].

Таким образом, по выражению (9) находят среднее значение ТЭУ, а пределы его изменения вычисляют по соотношению:

$$K_n = (\sum_{i=1}^m g_i \varphi_i - \sum_{i=1}^m \Delta g_i \varphi_i) / \sum_{i=1}^m \varphi_i. \quad (14)$$

Вычисленный по (7)-(14) ТЭУ сопоставляют со шкалой категорий технико-экономического уровня (табл. 2).

При этом поступают следующим образом. Выбирают ту шкалу ТЭУ, в которой интервал по таблице 2 пересекается с вычисленным верхним доверительным пределом K .

Такой подход обоснован известными статистическими методами оценки: если доверительные интервалы двух величин M и N содержат такие зна-

чения, что $M - N = 0$, то разница между этими величинами на заданном уровне значимости несущественна.

Шкала для оценки ТЭУ определена в соответствии со средними сроками внедрения новых машин и требованиями научно-технического прогресса.

Независимо от величины K оцениваемую машину относят к категории неперспективных в тех случаях, если по качеству работы, условиям труда и надежности она имеет хотя бы один показатель, не соответствующий агропотребованиям.

Таким образом, описанный метод позволяет объективно выявить ТЭУ выпускаемых и разрабатываемых машин, а анализ составляющих ТЭУ дает возможность определить резервы повышения эффективности различных технологических средств.

Выводы

1. Существующие методики оценки технического уровня сельскохозяйственных машин имеют существенные недостатки:

- уровень качества не предусматривает экономических критериев;
- в методиках не отражены принципы принятия решений по показателям технического уровня.

2. В разработанной методике для определения ТЭУ машин, по которым имеется параметрическая информация, предложен программно-целевой прин-

цип объединения показателей в группы и обоснования значимости групп, при этом по каждому показателю определяют среднее значение и доверительный интервал с заданной вероятностью.

3. По мере поступления новой информации о показателях машины используется байесовский подход, который позволяет получить более точные оценки данного показателя и использовать всю имеющуюся информацию о машине или оборудовании.

4. Если на разрабатываемые машины отсутствует параметрическая информация, то показателем ТЭУ служит коэффициент полноты, который характеризует потенциальный ТЭУ разрабатываемой машины и определяется при сопоставлении технического решения с генеральной определительной таблицей.

5. Оцениваемую машину относят к категории неперспективных в тех случаях, если по качеству работы, условиям труда и надежности она имеет хотя бы один показатель, не соответствующий агропотребованиям.

6. Предложенный метод позволяет объективно выявить ТЭУ выпускаемых и разрабатываемых машин, а анализ составляющих ТЭУ дает возможность определить резервы повышения эффективности различных технологических средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гмошинский В.Г., Флиорент Г.И. Теоретические основы инженерного прогнозирования. М.: Наука, 1993. 237 с.
2. Рабочая книга по прогнозированию / под ред. И.В. Бестужева-Лады. М.: Мысль, 1982. 198 с.
3. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Физматгиз, 1963. 870 с.
4. Розкокоха В.П. Анализ инновационных стратегий промышленного предприятия. URL: <http://www.be5.biz/ekonomika/r2012/2448.htm> (Дата обращения 11.19.2016).
5. Гатаулин А.М., Гаврилов Г.В., Сорокина Т.М. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. СПб.: Гранит, 2006. 432 с.
6. Parish R.L. The effect of spreader fill level on delivery rate. *Applied Engineering in Agriculture*. 1999; 15(6): 647-648.
7. Fröhlich G., Bröcker K.-H., Link H., Rödel G., Wendling F., Wendl G. Parzellendungerstreuer mit Computersteuerung für Exaktversuche. *Landtechnik*. 2007. Vol. 62; 3: 150-151.
8. Ostendorf M., Theuerkauf J., and Schwedes J. Measurement of the dynamic behaviour in discharging silos using optical flow analysis. *Conveying and Handling of Particulate Solids. The 3rd Israeli Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids*. 2000. Vol. II: 15.41-15.46.
9. Palma G., Calil Junior C. Propriedades físicas de alguns produtos armazenados. *Rev. brasil. Armazenamento*. 2005. Vol. 30; 1: 62-72.
10. Фёрстер Э., Рёнци Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. М.: Финансы и статистика, 1993. 302 с.
11. Кулешов М.С., Макаров В.А., Марченко Н.М. Распределение воздушно-минеральной смеси по каналам штанговой машины для внесения удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N3. С. 17-19.
12. Кулешов М.С., Макаров В.А. Оптимизация основных параметров высевающего катушечного аппарата машины для внесения минеральных удобрений // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2015. N12. С. 27-29.
13. Измайлов А.Ю. О машинно-технологическом обеспечении интеллектуального сельскохозяйственного производства // *Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции 17-18 сентября 2014 г. М.: ВИМ, 2014. С.12-16.*
14. Лотов А.В. Введение в экономико-математическое моделирование. М.: Наука, 1994. 392 с.

REFERENCES

1. Gmshinskiy V.G., Fliorent G.I. Teoreticheskie osnovy inzhenernogo prognozirovaniya [Theoretical bases of engineering forecasting]. Moscow: Nauka, 1993: 237. (In Russian)
2. Rabochaya kniga po prognozirovaniyu [workbook on forecasting]. Edited by I.V. Bestuzhev-Lada. Moscow: Mysl', 1982: 198. (In Russian)
3. Vygodskiy M.Ya. Spravochnik po vysshey matematike [Higher mathematics handbook]. Moscow: Fizmatgiz, 1963: 870. (In Russian)
4. Rozkokokha V.P. Analiz innovatsionnykh strategiy promyshlennogo predpriyatiya [Analysis of innovative strategies of the industrial enterprise]. URL: <http://www.be5.biz/ekonomika/r2012/2448.htm> (Accessed 11.19.2016). (In Russian)
5. Gataulin A.M., Gavrilov G.V., Sorokina T.M. Matematicheskoe modelirovanie ekonomicheskikh protsessov v sel'skom khozyaystve [Mathematical modeling of economic processes in agricultural industry]. SPb.: Granit, 2006: 432. (In Russian)
6. Parish R.L. The effect of spreader fill level on delivery rate. *Applied Engineering in Agriculture*. 1999; 15(6): 647-648. (In English)
7. Fröhlich G., Bröker K.-H., Link H., Rödel G., Wendling F., Wendl G. Parzellendungerstreuer mit Computersteuerung für Exaktversuche. *Landtechnik*. 2007. Vol. 62; 3: 150-151. (In German)
8. Ostendorf M., Theuerkauf J., and Schwedes J. Measurement of the dynamic behaviour in discharging silos using optical flow analysis. *Conveying and Handling of Particulate Solids. The 3rd Israeli Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids*. 2000. Vol. II: 15.41–15.46. (In English)
9. Palma G., Calil Junior C. Propriedades fisicas de alguns produtos armazenados. *Rev. brasil. Armazenamento*. 2005. Vol. 30; 1: 62-72. (In Portuguese)
10. Förster E., Röntz B. Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza [Methoden der Korrelation und Regressiolynsanalyse]. Moscow: Finansy i statistika, 1993. 302. (In Russian)
11. Kuleshov M.S., Makarov V.A., Marchenko N.M. Distribution of air and mineral mixture by means of the channels of a boom applicator for fertilizers application. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2015; 3: 17-19. (In Russian)
12. Kuleshov M.S., Makarov V.A. Optimization of key parameters of the wheel seeder unit of the machine for introduction of mineral fertilizers. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2015; 12: 27-29. (In Russian)
13. Izmaylov A.Yu. O mashinno-tekhnologicheskoy obespechenii intellektual'nogo sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [About machine technological support of intellectual agricultural production]. *Innovatsionnoye razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 17-18 September 2014*. Moscow: VIM, 2014: 12-16. (In Russian)
14. Lotov A.V. Vvedenie v ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie [Introduction to economic-mathematical modeling]. Moscow: Nauka, 1994: 392. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

