2. Хамуев В.Г. Обоснование параметров глубокого пневмосепарирующего канала для очистки семян от трудноотделимых примесей: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 2008. – 150 с.
3. Тиц З.Л. Машины для послеуборочной поточной обработки семян: Москва, - 1967 г.
4. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. Москва, 1980.
5. Тишанинов К.Н. Исследование предельной скорости решета с помощью компьютерной модели грохота // Наука в центральной России. – 2017. – №5(29). – С. 12–21.

References

1. Barkov K.M. Osnovnye elementy separirovaniya semyan vozdushnym potokom // Trudy VIM. – М.: VIM, 1935. – Т.1.
2. Hamuev V.G. Obosnovanie parametrov glubokogo pnevmosepariruyushchego kanala dlya ochistki semyan ot trudnotdelimyh primesej: Dis. ... kand. tekhn. nauk. – М., 2008. – 150 s.
3. Tic Z.L. Mashiny dlya posleuborochnoj potochnoj obrabotki semyan: Moskva, - 1967 g.
4. Gortinskij V.V., Demskij A.B., Boriskin M.A. Processy separirovaniya na zernopererabatyvayushchih predpriyatiyah. Moskva, 1980.
5. Tishaninov K.N. Issledovanie predel'noj skorosti resheta s pomoshch'yu komp'yuternoj modeli grohota // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – №5 (29). – S. 12–21.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тишанинов Константин Николаевич – кандидат технических наук старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: TishaninovKN@rambler.ru.

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Konstantin – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: TishaninovKN@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 23.03.2020   Принята к публикации (Accepted): 24.04.2020

УДК (63.001.5:51-7):631.82

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-58-64

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ И КООРДИНАЦИЯ В СЕВООБОРОТНОЙ ЗАДАЧЕ С РЕСУРСНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО УДОБРЕНИЯМ

¹Зазуля Александр Николаевич

²Бышов Николай Владимирович

³Макарова Ольга Владимировна

³Гаспарян Светлана Валентиновна

²Борычев Сергей Николаевич

²Макаров Валентин Алексеевич

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева»

³ФКОУ ВО «Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний»

Реферат. В системе земледелия для создания бездефицитного баланса гумуса обеспеченность органическими удобрениями составляет порядка 60%, поэтому при разработке экономико-математических моделей для севооборотных задач считается необходимым знать ресурсные ограничения. Для разработки иерархической декомпозиции с ресурсными ограничениями по удобрениям и создания экономико-математической модели рассматривали систему как блок «сельское хозяйство» состоящее из подблоков «растениеводство» и

«животноводство». Допустили, что ограничения носят линейный характер, поэтому решение многокритериальных задач по использованию удобрений в севообороте, приближённых к реальной ситуации, может быть реализовано методом приближённой декомпозиции и сведения их к иерархической игре и соответственно к выбору min-max оценок эффективности для соответствующих решений. Для практических целей представления недоменируемого множества значения критериев решали задачу в модели применительно для миноранты и мажоранты. Показали, что вспомогательное построение иерархической игры для решения исходной задачи относится к синтезу параметрической декомпозиции. Установили, что всякое увеличение доступного ресурса органического вещества в почву не ухудшает значение критерия оценки. Проведённые теоретические исследования для решения задач по обеспечению удобрениями растениеводства позволяет оптимизировать многокритериальные задачи, по рациональному использованию имеющиеся в хозяйстве ресурсы для обеспечения бездефицитного баланса гумуса при производстве продукции растениеводства. Было также установлено, что решение построений миноранты совпадает с решением исходной задачи, что и требовалось для доказательства.

Ключевые слова: Иерархическая декомпозиция, севооборотная задача, ресурсные ограничения, органические удобрения

MODEL OF HIERARCHICAL DECOMPOSITION AND COORDINATION IN TASKS WITH RESOURCE RESTRICTIONS ON FERTILIZERS IN THE PRODUCTION OF GRAIN CROPS

¹Zazulya Alexander

²Byshov Nikolay

³Makarova Olga

³Gasparyan Svetlana

²Borychev Sergey

²Makarov Valentin

¹FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

²FSBEI HE "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva"

³FFEI HE "Academy of Law and Management of the Federal Penitentiary Service"

Abstract. The availability of organic fertilizers in the agricultural system to create a deficit-free balance of humus is about 60%; therefore, when developing economic and mathematical models for crop rotation problems, it is considered necessary to know resource limitations. The system as a unit "agriculture" consisting of the sub-units "plant growing" and "livestock" was considered to develop a hierarchical decomposition with resource constraints on fertilizers and create an economic-mathematical model. It was assumed that the restrictions are linear in nature, therefore, the solution of multicriteria problems on the use of fertilizers in crop rotation that are close to the real situation can be realized by the method of approximate decomposition and reducing them to a hierarchical game and, accordingly, to choosing min-max efficiency estimates for the corresponding solutions. The problem in the model for minorants and majors was solved. For practical purposes, representing an undomainsable set of criteria values. It was shown that the auxiliary construction of a hierarchical game for solving the original problem relates to the synthesis of parametric decomposition. It was found that any increase in the available resource of organic matter in the soil does not worsen the value of the evaluation criterion. Conducted theoretical studies to solve the problems of providing fertilizers for crop production allows optimizing multicriteria tasks for the rational use of resources available in the economy to ensure a balanced humus balance in the production of crop products. It was also found that the solution of the constructions of the minorant coincides with the solution of the original problem, which was required for the proof.

Keywords: hierarchical decomposition, crop rotation task, resource constraints, organic fertilizers

Введение. Цель исследования – создания экономико-математической модели обоснования рационального использования удобрений с использованием теории игр, а для практических целей представления недоменируемого множества значения критериев решить задачу в модели применительно для миноранты и мажоранты.

Результаты и обсуждение. Для разработки иерархической декомпозиции с ресурсными ограничениями [1, 2], в нашем случае, по удобрениям и создания экономико-математической модели мы имеем систему такую как блок «сельское хозяйство» состоящее из подблоков «растениеводство» и «животноводство» (в рассматриваемой задаче, выдающее продукцию в виде органических удобрений) в каждом из которых соответственно производится своя продукция [3].

Для решения искомой задачи обозначим векторы интенсивностей:

$x \in X \subset E^n$ – для подсистемы «растениеводство» (первая подсистема):

$y \in Y \subset E^m$ – для подсистемы «животноводство» (вторая подсистема – удобрение);

где x, y – являются многомерными параллелипипедами.

Запишем ограничения для первой подсистемы в виде:

$$Ax = a; Cx \leq y, \quad (1)$$

где A – матрица для схем производства продукции растениеводства;

C – матрица ресурсов удобрений;

$y \in E_+^m$ – объёмы имеющихся ресурсов органических удобрений в подсистеме.

По аналогии запишем ограничения для второй подсистемы в виде:

$$By = b \quad (2)$$

Тогда запросы в ресурсах удобрений могут определяться посредством D_y , с учётом ограничений на потребность и запишется как:

$$F_y + D_y \leq d \quad (3)$$

На основании этого можно сказать, что критерий в первой подсистеме представляется в виде функции – $f_1(x)$, а второй в виде функции – $f_2(y)$ и обе подсистемы стремятся к увеличению объёмов и показывает на то, что мы имеем дело с двухкритериальной задачей $\{f_1(x), f_2(y)\}$, при ограничениях в формулах (1), (2), (3).

Такое вспомогательное построение иерархической игры для решения исходной задачи относится к разделу синтеза иерархической структуры [4-6].

Сделаем предположение о том, что критерии подсистем стремятся к увеличению при ограничениях, формулы (1), (2), (3), и видно, что мы имеем дело с двухкритериальной задачей $\{f_1(x), f_2(y)\}$.

Относительно этих функций примем, что они вогнуты и обладают свойствами монотонности по используемому ресурсу и запишутся в виде:

$$1. y_1 \leq y_2, y_1 \in E_+^c \text{ то } h_1 \geq f_1^2, \text{ где } f_1^1 = \max f_1(x) \text{ и } f_1 = \max f_2(x)$$

$$\begin{array}{ll} Ax = a, Cx \leq y; & Ax = a, x \leq y_z \\ x \in X & x \in X \end{array} \quad (4)$$

$$2. y_1 \geq y_2, y_i \in E_+^0 \text{ то } f_z^1 \leq f_z^2, \text{ где } f_z^1 = \max f_2(y) \text{ и } f_z^2 = \max f_2(y)$$

$$\begin{array}{ll} Bu = b, F_1 + Du \leq d; & Bu = b, F_2 + Du \leq d. \\ U \in u & U \in u \end{array} \quad (5)$$

Для практических целей множества значение критериев в двумерном случае достаточно решать задачу

$$f_2(y) \rightarrow \max \quad (6)$$

при соответствующих ограничениях $(x, y, u) \in Z, x \in X, u \in U$,

$Ax = a; Cx = y; Bu = b; Fy + Du \leq d;$

$f_1(x) \geq \gamma$.

Меняя затем γ , мы можем с заданным шагом изменения одного из критериев оценить недоменируемые значения другого критерия.

В общем случае n частных критериев $f_i(x), i=1,2,3 \dots n, x \in X$ можно осуществить перебор в пространстве величин $\{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n\}$ и решить задачи

$$f_1(x) \rightarrow \max. \quad (7)$$

Становится известным, что решение задачи можно записать как

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i f_i(x) \rightarrow \max, x \in X.$$

Это выражение даёт Перетовскую точку,

$$\text{где } \lambda \in S = \left\{ \frac{\lambda}{\lambda_1} > 0; \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \right\}.$$

Теперь определим множество $Y_1 = \{y | \exists x \in X : A_x = d_1, C_x = y_1, f_1(x_1) \geq \gamma\}$.

Множество $Y_2 = \{y | \exists u \in U : B_u = B, F_y + D_u \geq d\}$, как и Y является множеством выпуклым,

ограниченным многоугольником.

Заметим, что исходное множество ограничений в задаче (6) есть $Y = Y_1 \cap Y_2$ и также, как Y , является множеством выпуклым.

На основании чего сформулируем иерархическую игру для вариантов, где первый вариант стремится к $\max f_2(u)$, выбору $\lambda \in S$, где S – стандартный симплекс, а второй вариант – к $\min(\lambda y)$.

Тогда запишем:

$$\begin{aligned} Ax = a, Cx \leq y, & & Bu = b, Fy + Du \leq d \\ f_1(x) \geq \gamma & & x \in X \end{aligned} \quad (8)$$

Запишем выигрыш для первого варианта, приняв множество оптимальных решений через $X(\lambda)$, $Y(\lambda)$,

$$\begin{aligned} f_2^0 = \max_{\lambda \in S} & & \max_{x \in X(\lambda)} & & \max_{y, u} f_2(u) \\ & & Bu = b & & Fy + Dy \leq d \\ & & Cx \leq y & & x \in X(\lambda) \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сформулировать *теорему 1* смысл, которой состоит в оптимизации критерия в исходной задаче формула (6) в которой цена иерархической декомпозиции формула (9) совпадают:

$$f_2^0 = \max f_2(u) \quad (10)$$

Доказательство. Установлено, что в силу монотонности функции $f_2(u)$ решению задачи принадлежит множеству векторов $u \geq 0$, т.е. перетовскому множеству для критериев на множестве ограничений Y . Это множество параметризуемо с помощью величины $\lambda \in S$, где S – стандартный симплекс, т.е. посредством решения задачи (8).

Далее, для каждого значения λ возможна не единственность решения (8), поэтому принимать условие $\max(\cdot)$ в формуле (9) $x \in X(\lambda)$. Этим и завершает доказательства полученных формулировок.

Замечание. Отсюда нетрудно также увидеть, что в задаче (8) можно ограничиться связями первой подсистемы, т.е. для второго варианта решить задачу:

$$\begin{aligned} A(x) = a & & Cx \leq y \\ f_1(x) \geq \gamma & & x \in X \end{aligned} \quad (11)$$

Доказанные выше утверждения позволяют организовать разнообразные итеративные декомпозиционные процедуры, аналогичные процедурам параметрической декомпозиции [5].

Рассмотрим алгоритм точной декомпозиции.

Опишем декомпозиционную схему решения задачи (6), опираясь на представление (9), в случае, когда функция $f_1(x)$ линейна. В этом случае Перетовское множество системы критериев $\{y_1, y_2 \dots y_n\}$

$$\begin{aligned} \min(\lambda, y) & \\ \in yY & \\ \lambda \in S^0 = \{ \lambda_i > 0, \sum_{i=1}^e \lambda_i = 1, & \end{aligned} \quad (12)$$

где множество Y – выпуклый многоугольник [6].

Напомним, что в силу конечности базовых векторов в задаче (6), полностью покрывающих множество S , т.е. $S = \bigcup_j \lambda_j$, таких, что для $\lambda \in Y$ будут оптимальными базисы из линейных ограничений (9).

Разобьём множество базовых векторов, при решении задачи (12), на группы $Y_j = \{y_i k_i; j \in J; k \in K\}$, когда линейные комбинации их внутри группы определяют Перетовское множество.

Тогда схема декомпозиционного алгоритма задачи (9) имеет вид:

шаг 0. $j = 1, f_2^0 = 0$,

шаг 1. Строим базис векторов $Y_j = \{y_i k_i; j \in J; k \in K\}$,

шаг 2. Представим Перетовские точки в виде $y = \sum_k \mu_k y_j k$ и решаем задачу

$$\max f_2^0(u) = f_2^j \quad (13)$$

при линейных ограничениях

$$B_u = b \\ \sum_{k \in K} \mu_k F y_{jk} + D \leq d;$$

шаг 3. $f_2^0 = \max(f_2^0, f_2^j), j = j + 1$.

шаг 4. Если $j = J$, переходим к шагу 1, иначе конец.

Таким образом, реализация данного принципиального алгоритма, на конкретных задачах практически невозможна из-за большой размерности задач и большого объема расчётов [7]. Вместе с тем подобная идеология позволяет построить практические алгоритмы для декомпозиции задачи (6).

Рассмотрим задачи в *миноранте* и *мажоранте*:

Миноранта.

1 этап. Запишем задачу при фиксированном значении λ :

$$\begin{aligned} \min (\lambda, y). \\ x, y \\ Ax = a, \quad Cx \geq y, \quad f(x) = \gamma. \\ x \in X \quad y \in Y_2 \end{aligned} \quad (14)$$

Обозначим множество решений $\{x(\lambda), Y(\lambda)\}$;

2 этап. Фиксируем

$$\begin{aligned} x^0 \in X^* \\ \max f_2(u) = \Phi \text{ minor} \\ Bu = b, \quad Fy + Du \leq d, \quad Cx^2 \leq y \\ x \in X \lambda, \quad y \in E_0^+ \end{aligned} \quad (15)$$

Мажоранта.

1 этап.

$$\begin{aligned} \min (\lambda, y). \\ Ax = a, \quad Cx \leq y, \quad f_2(x) \geq \gamma \\ x \in X, \quad y_2 \in Y \end{aligned} \quad (16)$$

Обозначим множество решений $\{x(\lambda), Y(\lambda)\}$;

2 этап. Фиксируем

$$\begin{aligned} x \in X(\lambda) \\ \max f_2(u) = \Phi \text{ major} \\ Bu = b, \quad Fy + Du = d, \quad Cx^0 \\ x^0 \in X(\gamma) \end{aligned} \quad (17)$$

Теорема 2. Решение искомой задачи (6) и сформулированных задач находится в следующем соответствии:

$$\Phi \text{ minor} \leq f_l \leq \Phi \text{ major}.$$

Доказательство.

1. $\Phi \text{ minor} \leq f_2$ следует из представления (9) поскольку выбрано некоторое значение γ и некоторое значение $x^0 \in X(\gamma)$. Степень близости $\Phi \text{ minor}$ к f_2 определяется выбором λ и x .

2. Заметим, что при решении задачи на первом этапе строится опорная плоскость к множеству Y , поэтому на втором этапе к задаче (17) множество ограничений оптимизационной задачи определяется из пересечения Y_2 и полупространства, которому принадлежит Y . Таким образом, мы имеем ограничения задачи (8) и можно записать как:

$$f_2^0 \leq \Phi \text{ major}.$$

Решение задачи (17) может привести к y , недопустимым для ограничения (12). Вместе с тем для решения задачи (6) y^* всегда существует y' , тогда можно записать:

$$\begin{aligned}
 y^j &\leq y^*, & (\lambda, y^j) &= (\lambda, y_0), & y^0 &\in Y(\lambda) \\
 f_2^0 &= \max_{y \in Y} f_2(y) \leq \max_{y \in Y_2} f_2(y) \leq \Phi \text{ major} \\
 y &\leq y^* & (\lambda, y) &\geq (\lambda, y^x) & (\lambda, y) &\geq (\lambda, y^x) \geq y, y^0 y \in Y(\lambda).
 \end{aligned} \tag{18}$$

Этим мы завершим доказательство утверждения, а нами установлено, что с решением (6) в виде иерархической игры (9) составляет содержание иерархической декомпозиции, а идеология свидетельствует о том, что эта идеология иерархической декомпозиции вполне реальна.

Замечания.

1. В задачах (9) задаче первого этапа (14), (16) опорную плоскость можно искать из решения задачи

$$\min (\lambda, y) \quad y \in Y \tag{19}$$

2. Описанная декомпозиция может быть рассмотрена на случай подсистем с использованием (7). Таким образом, пользуясь представлением (7), рассматривая задачу можно записать:

$$\begin{aligned}
 \lambda_1, f_1(x) + \lambda_2, f_2(u) &\rightarrow \max \\
 A_x = a, & \quad C_x = y, \quad B_u = b, & \quad Fy + du = d. \\
 x \in X & & u \in U
 \end{aligned} \tag{20}$$

Введём переменные $y = Y$ и $y_2 = Du$, и разложим эту задачу на две задачи:

$$\begin{aligned}
 \max \lambda_1, f_1(x) &= \Phi_1(y), & \lambda_2, f_2(u) &= \Phi_2(y_2) \\
 A_x = a, & \quad C_x = y, & B_u = b. \\
 Fu = y_1, & \quad x \in X, & Du = y_2, \quad u \in U.
 \end{aligned}$$

Тогда решение (20) получается из решения координирующей задачи:

$$\begin{aligned}
 \max \Phi_1(y_1) + \Phi_2(y_2). \\
 y_1 + y_2 \leq d.
 \end{aligned}$$

Отсюда получается оценка снизу, такая как миноранта, при некоторых фиксируемых значениях ресурсов.

3. Таким образом, установлено, что в миноранте заключена модель дележа ресурсов между подсистемами посредством коэффициента свёртки.

4. Заметим, что в силу своих опорных плоскостей, получим на первом этапе набор таких значений $\lambda_k, k \in K$, что:

$$\begin{aligned}
 f_2 &= \max f_2(u) \\
 Bu &= b, \quad Fy + du \leq d \\
 (\lambda_k, y) &\geq (\lambda_k, Cx_k), \quad x \in X(\lambda_k),
 \end{aligned} \tag{21}$$

т.е. решение, таким образом, построенный миноранты совпадает с решением исходной задачи.

Выводы. Проведенные теоретические исследования для решения задач по обеспечению удобрения растениеводства позволяет оптимизировать многокритериальные задачи, по рациональному использованию имеющиеся в хозяйстве ресурсы для обеспечения бездефицитного баланса гумуса при производстве продукции растениеводства. Таким образом, также установлено, что решение построенный миноранты совпадает с решением исходной задачи, что и требовалось для доказательства.

Список литературы

1. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами – М.: Наука. – 1976. – 28 с.
2. Berezner A.S, Ereshko F.I. Coordination of Models in Software SyStam for Large Scale Hater Resources Projekts, Water Sup 11 j & Management, vol. 4. – 1980. – P. 253-262.
3. Макаров В.А. Повышение качества функционирования механизации производства и применения органических удобрений в сельскохозяйственном производстве. Диссертация на соискание учёной степени д-ра техн. наук / В.А. Макаров – Рязань. – РГСХА. – 1997. – 321с.
4. Корнай И., Липтак Т. Планирование на двух уровнях. // Применение математики в экономических исследованиях. – М.: Мысль. – 1965. – С. 79-83.
5. Ульм С. Методы декомпозиции для решения задач оптимизации. Т.:Валгус. – 1979. –132 с.
6. Зннусие Ю.А. Принцип декомпозиционного анализа оптимального планирования. Т.: Валгис. – 1976. – 174 с.
7. Злобин А.С. Параметрические методы решения минимаксных задач /Диссертация на соискание учёной степени канд. физ-мат. наук /А.С. Злобин. – М.: ВЦ РАН. 1984. – 127 с.

References

1. Germejer YU.B. Igry s neprotivopozhnyimi interesami – M.: Nauka. – 1976. – 28 s.
2. Berezner A.S, Ereshko F.I. Coordination of Models in Software SyStam for Large Scale Hater Resources Projekts, Water Sup 11 j & Management, vol. 4. – 1980. – R. 253-262.

3. Makarov V.A. Povyshenie kachestva funkcionirovaniya mekhanizacii proizvodstva i primeneniya organicheskikh udobrenij v sel'skohozyajstvennom proizvodstve. Dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni d-ra tekhn. nauk / V.A. Makarov – Ryazan'. – RGSKHA. – 1997. – 321s.

4. Kornaj I., Liptak T. Planirovanie na dvuh urovnyah. // Primenenie matematiki v ekonomicheskikh issledovaniyah. – M.: Mysl'. – 1965. – S. 79-83.

5. Ul'm S. Metody dekompozicii dlya resheniya zadach optimizacii. T.:Valgus. – 1979. –132 s.

6. Znnusie YU.A. Princip dekompozicionnogo analiza optimal'nogo planirovaniya. T.: Valgis. – 1976. – 174 s.

7. Zlobin A.S. Parametricheskie metody resheniya minimaksnyh zadach /Dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni kand. fiz-mat. nauk /A.S. Zlobin. – M.: VC RAN. 1984. – 127 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Зазуля Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: zazulia_an@rambler.ru.

Бышов Николай Владимирович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: byshov63@mail.ru.

Макарова Ольга Владимировна – доктор экономических наук, профессор Федерального казенного образовательного учреждения высшего образования «Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний», Россия, г. Рязань, e-mail: m_ov+2302@bk.

Гаспарян Светлана Валентиновна – кандидат экономических наук, доцент Федерального казенного образовательного учреждения высшего образования «Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний», Россия, г. Рязань, e-mail: gasparyan.svetlana@yandex.ru.

Борычев Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор РАН Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: 896066486088@mail.ru.

Макаров Валентин Алексеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: va_makarov@ramble.ru.

Author credentials

Affiliations

Zazulya Alexander – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: zazulia_an@rambler.ru.

Byshov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: byshov63@mail.ru.

Makarova Olga – Full Doctor of Economics, Professor of Federal Fiscal Educational Institution of Higher Education “Academy of Law and Management of the Federal Penitentiary Service”, Russia, Ryazan, e-mail: m_ov + 2302 @ bk.

Gasparyan Svetlana – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Federal Fiscal Educational Institution of Higher Education “Academy of Law and Management of the Federal Penitentiary Service”, Russia, Ryazan, e-mail: gasparyan.svetlana@yandex.ru.

Borychev Sergey – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: 896066486088@mail.ru.

Makarov Valentin – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: va_makarov @ ramble.ru.

Поступила в редакцию (Received): 13.02.2020   Принята к публикации (Accepted): 23.03.2020