

Многокритериальная параметрическая оптимизация получения продовольственной продукции

А.Ю. Белякова, Т.С. Бузина, Я.М. Иваньо

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Иркутск

Аннотация: В статье рассматриваются многокритериальные задачи параметрического программирования для оптимизации производства продовольственной продукции. Одна из моделей однопараметрического программирования позволяет оптимизировать сочетание производства растениеводческой и животноводческой продукции, а также их переработку. В качестве параметра предложено использовать время в виду описания значимыми трендами некоторых производственно-экономические характеристик. Вторая многокритериальная модель параметрического программирования позволяет оптимизировать производство сельскохозяйственной продукции и заготовку дикоросов применительно к муниципальному образованию, что имеет значение для территорий с развитым сельским хозяйством и высоким потенциалом пищевых лесных ресурсов.

Ключевые слова: параметрическое программирование, аграрное производство, двухкритериальная модель

При управлении сложными системами зачастую приходится решать задачи оптимизации [1-3], в том числе, в условиях неопределенности [4]. Это, прежде всего, касается аграрного производства, подверженного воздействию разных природных стихий [5]. Во многих случаях используются многокритериальные задачи математического программирования, которые описывают разные стороны хозяйственной деятельности человека и способствуют нахождению компромиссных решений [6, 7]. Такие экстремальные задачи находят широкое применение в сельском хозяйстве, заготовке пищевых дикорастущих ресурсов, переработке и реализации продовольственной продукции [8]. В дополнение к этому следует иметь в виду динамичность разных систем. В этом случае применимы задачи параметрического программирования с использованием разных методов их решения [9, 10].

Рассмотрим многокритериальные задачи с учетом динамики для оптимизации получения продовольственной продукции.

Модель однопараметрического программирования применима для оптимизации производства растениеводческой и животноводческой продукции и их сочетания, включая перерабатывающую отрасль [8, 11]. Это вызвано устойчивыми тенденциями динамики развития разных аспектов сельского хозяйства, которые оцениваются, как правило, с помощью трендов [12, 13]. В ряде случаев возможно описание урожайности сельскохозяйственных культур, трудозатрат, поголовья сельскохозяйственных животных значимыми трендами или факторными зависимостями [8, 14, 15]. При рассмотрении производства сельскохозяйственной продукции и переработки предлагается двухкритериальная модель оптимизации их сочетания для решения которой использован метод уступок. В отличие от разработанных ранее моделей [8], в предложенной разработке учитывается изменение некоторых производственных параметров с учетом времени.

В этом случае двухкритериальная модель оптимизации производства и переработки продукции записывается в следующем виде.

Первый критерий оптимальности представляет собой максимальную прибыль, связанную со сбытом произведенной продукции:

$$f_1 = \sum_{i \in I} c_i x_i + \sum_{v \in V} c_v x_v, \quad (1)$$

где x_i , x_v – неизвестные задачи (поголовье животных вида i и площади сельскохозяйственной культуры v -вида); c_i – прибыль на одну голову животных i -вида; c_v – прибыль от полученной продукции v с одного гектара.

Второй критерий оптимальности предложено описывать максимумом прибыли перерабатывающих предприятий:

$$f_2 = \sum_{q \in Q} c'_q x_q, \quad (2)$$

где c'_q - прибыль от реализации единицы объема переработанной продукции вида q ; x_q - искомый объем переработанной продукции q -вида, Q – количество видов продукции переработки.

Приведем ограничения по посевным площадям и обеспечению ресурсами поголовья животных:

$$\sum_{v \in V} x_v \leq S(t), \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \Psi_{il} x_i + \sum_{v \in V} \sum_{m \in M} k_{vm} x_v \leq \Psi + K; \quad (4)$$

использованию в отрасли животноводства побочной продукции растениеводства:

$$\sum_{v \in V} \beta_{jv} x_v \geq x_j \quad (j \in J); \quad (5)$$

размеру растениеводческой отрасли:

$$\underline{n} \leq \sum_{v \in V} (1 + \alpha_v) x_v \leq \bar{n}; \quad (6)$$

производству продукции заданного объема:

$$\sum_{v \in V} \mu_v(t) x_v + \sum_{i \in I} \gamma_i(t) x_i \geq W; \quad (7)$$

увязке растениеводства с животноводством, в том числе:

а) балансу рационов животных по элементам питания:

$$\sum_{s \in S} \sum_{v \in V} a_{sv} \beta_v x_v + \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} a_{sj} x_j \geq \sum_{h \in H} \sum_{i \in I} b_{hi} x_i; \quad (8)$$

б) структуре производства кормов:

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \underline{d}_{ji} x_i \leq \sum_{s \in S} \sum_{v \in V} a_{sv} \beta_v x_v + \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} a_{sj} x_j \leq \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \bar{d}_{ji} x_i. \quad (9)$$

В ограничениях (3) – (9) $S(t)$ – сельскохозяйственные угодья, площадь которых изменяется во времени t ; Ψ_{il} – расход некоторого ресурса l на одну голову животного вида i ; k_{vm} – расход m -ресурса для выращивания культуры v ; I, V – множество видов животноводческой и растениеводческой продукции; L и M – множество видов производственных ресурсов; J – множество видов кормов; Ψ, K – ресурсы, обеспечивающие животноводство; β_{jv} – выход с одного гектара v -культуры j -вида корма; x_j – вспомогательная переменная, количество кормов j -вида; \bar{n}, \underline{n} – максимально и минимально возможная площадь культур v -вида; α_v – коэффициент, учитывающий семенные посевы для v -культуры; W – заданный объем производства продукции; $\mu_v(t), \gamma_i(t)$ – выход товарной продукции v -вида с одного гектара и одной головы животного i -вида, зависящий от параметра t ; a_{sv} – содержание s -элемента питания в единице кормовой продукции, получаемое от v -культуры; a_{sj} – содержание s -элемента питания в j -виде корма или компоненте кормосмеси; b_{hi} – содержание h -элемента питания для i -вида животного; $\underline{d}_{ji}, \bar{d}_{ji}$ – минимально и максимально допустимый нормативный размер потребности в кормах животных, выраженный в кормовых единицах.

Помимо ограничений по производству продукции рассмотрим условия, связанные с переработкой:

- по соблюдению пропорциональности производства и переработки продукции:

$$x_q = \sum_{i \in I} \vartheta_{qi} x_i + \sum_{v \in V} \theta_{qv} x_v - \sum_{i \in I} \eta_i x_i - \sum_{v \in V} \zeta_v x_v, (q \in Q); \quad (10)$$

- по соблюдению соотношений между производством конечной продукции и объемами переработки:

$$\sum_{q \in Q} \varphi_{\omega q} x_q \leq H_{\omega} (\omega \in \Omega), \quad (11)$$

где $\vartheta_{qi}, \theta_{qv}$ - выход товарной продукции q -вида с единицы ресурса вида i и v ; η_j и ζ_v - доля продукции вида i и v , не подлежащей переработке; $\varphi_{\omega q}$ - доля продукции ω для получения продукта переработки q ; H_{ω} - производство продукции вида ω . При этом параметр t изменяется в интервале $[t_{\alpha}, t_{\beta}]$. Коэффициенты $\mu_v(t), \gamma_i(t)$ могут быть описаны регрессионными выражениями, связанными с параметром t .

Все переменные модели должны быть неотрицательны:

$$x_v, x_i, x_q, x_j \geq 0. \quad (12)$$

Модель, в которой использованы тренды динамики посевных площадей и выхода продукции с единицы площади сельскохозяйственных культур и одной головы животного, реализована для СХАО «Приморский» Нукутского района Иркутской области. При использовании метода уступок с помощью экспертной оценки определена уступка второго критерия относительно первого, составившая 0,15.

При этом многолетнюю изменчивость поголовья крупного рогатого скота на откорме и площадей зерновых культур предложено описывать значимыми трендами:

$$\gamma_i(t) = 186,87t - 3750, \quad (13)$$

$$S(t) = -417,73t_i + 852952. \quad (14)$$

Результаты решения задачи приведены в таблице 1.

При решении задачи по первому критерию оптимальности прибыль сельскохозяйственных товаропроизводителей составит 78426 тыс. руб. Согласно полученным результатам производство зерна на 95% превышает производство мяса, что негативно сказывается на деятельности перерабатывающих предприятий.

Таблица 1

Двухкритериальная модель оптимизации производства и переработки
продукции для СХАО «Приморский»

Показатели	Переменные модели	Максимум выручки от реализации произведенной продукции, тыс. руб.	Максимум прибыли перерабатывающих предприятий, тыс. руб.	Решение задачи с учетом динамики коэффициентов в ограничениях (3) и (7)	
		$f_1 = \sum_{i \in I} c_i x_i + \sum_{v \in V} c_v x_v$	$f_2 = \sum_{q \in Q} c'_q x_q$	Поголовье КРС на откорме	Площадь зерновых
<i>Производство продукции</i>					
Площадь зерновых, га	x_1	9200	8350	8000	6612
Поголовье коров + молодняк до 8 месяцев, гол.	x_2	3412	3625	5026	3916
КРС на откорме, гол.	x_3	2559	2719	3267	2154
Мясо, ц	x_4	7592	8067	10227	7225
Зерно, ц	x_5	193200	175350	168000	138849
<i>Переработка</i>					
Мясные полуфабрикаты, ц	x_6	2227	2366	2842	1443
Мука, ц	x_7	5152	4676	7680	6347
<i>Значение целевой функции</i>					
Прибыль от реализации произведенной продукции, тыс. руб.	$f_1 = \sum_{i \in I} c_i x_i + \sum_{v \in V} c_v x_v$	78426	70893	83634	69005
Прибыль перерабатывающих предприятий, тыс. руб.	$f_2 = \sum_{q \in Q} c'_q x_q$		45799	58528	33879

Не хватает сырья для производства мясных полуфабрикатов, а производство зерна значительно превышает мощности перерабатывающего

мукомольного предприятия. Решение многокритериальной задачи можно использовать для перераспределения структуры производства сельскохозяйственной продукции с целью увеличения производства мясных продуктов.

При соблюдении существующей тенденции согласно полученным трендам (13) и (14), поголовье крупного рогатого скота на откорме может увеличиться в 2024 году на 20%, а площади зерновых уменьшатся на 21%. Сравнение осуществлялось относительно 2022 года. С учетом динамики этих показателей прибыль от реализации переработанной продукции может составить 58528 тыс. руб. в первом и 33879 тыс. руб. во втором случае.

Рассмотрим еще одну многокритериальную задачу с учетом динамики некоторых характеристик, к которой оптимизируется производство сельскохозяйственной продукции и заготовки пищевой дикорастущей продукции в рамках муниципального района. Такая задача актуальна для территорий с аграрным производством и высоким потенциалом разнообразных дикоросов.

Предложено использовать две целевые функции:

- максимум выручки от производства сельскохозяйственной продукции:

$$f_1 = \sum_{s \in S} \sum_{l \in L} c_{sl} x_{sl} \rightarrow \max, \quad (15)$$

- максимум выручки от заготовки дикорастущей продукции:

$$f_2 = \sum_{n \in N} \sum_{z \in Z} c_{nz} x_{nz} \rightarrow \max, \quad (16)$$

где x_{si} , x_{nz} – искомые объемы произведенной продукции вида s по технологии l и заготовленной продукции n по технологии z ; c_{sl} , c_{nz} – удельные доходы от производства аграрной продукции и заготовки дикоросов.

Что касается ограничений, то они характеризуют:

– заданные площади посевов и леса:

$$\sum_{s \in S} \sum_{l \in L} v_{sl}(t) x_{sl} + \sum_{n \in N} \sum_{z \in Z} r_{nz} x_{nz} \leq B(t) + A, \quad (17)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{z \in Z} r_{nz} x_{nz} \leq A, \quad (18)$$

где $v_{sl}(t)$, r_{nz} – обратные значения урожайности сельскохозяйственных культур и дикоросов; $B(t)$ и A – площади посевов и леса, t – время.

Помимо ограничений по площадям определены условия по объемам производства, а также трудовым и материальным затратам:

$$\sum_{s \in S} \sum_{l \in L} c_{sl} x_{sl} + \sum_{n \in N} \sum_{z \in Z} c_{nz} x_{nz} \geq V, \quad (19)$$

$$\sum_{s \in S} \alpha_{sl} x_{sl} \leq D_l \quad (l \in L), \quad (20)$$

$$\sum_{n \in N} \beta_{nz} x_{nz} \leq E_z \quad (z \in Z), \quad (21)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{l \in L} u_{sl} x_{sl} + \sum_{n \in N} \sum_{z \in Z} b_{nz} x_{nz} \leq W, \quad (22)$$

где V – заданный объем производства и заготовки продукции, α_{sl} , β_{nz} – трудозатраты на получение единицы сельскохозяйственной и пищевой дикорастущей продукции, D_l и E_z – трудозатраты на производство сельскохозяйственной продукции по технологии l и заготовку дикоросов по технологии z , u_{sl} и b_{nz} – материальные затраты на получение единицы сельскохозяйственной и дикорастущей продукции s и n по технологиям l и z , W – максимально возможные материальные затраты на производство и заготовку продукции.

Условие неотрицательности переменных имеет вид:

$$x_{sl}, x_{nz} \geq 0. \quad (23)$$

Математическая модель (15) – (23) относится к детерминированной задаче многокритериального параметрического программирования. В приведенной модели параметр t изменяется в интервале $[t_\alpha, t_\beta]$.

Задача решена для Иркутского района. Применен методом уступок по второму критерию при условии, что выручка от производства сельскохозяйственной продукции не превысит показатель, полученный при решении задачи по первому критерию на 0,10 (табл. 2). Динамика посевных площадей в Иркутском районе характеризуется линейным трендом в виде $B(t) = -1489,3t + 48301$ с коэффициентом детерминации $R^2=0.96$ и значимым регрессионным выражением.

Согласно полученному тренду, в 2024 году площадь посевов может составить 21494 га. Значения урожайности сельскохозяйственных культур приняты усредненными за 2019 – 2023 гг.

В результате решения задачи сократятся объемы производства зерна, картофеля и овощей, в то же время увеличится производство ягод. Это возможно за счет увеличения трудовых ресурсов на заготовку ягод ввиду сокращения трудозатрат в сельскохозяйственном производстве благодаря уменьшению посевов.

Отметим, что урожайность дикорастущих культур сильно варьирует и может характеризоваться интервальными оценками. По результатам многолетних наблюдений определены нижние и верхние значения урожайности ягод и грибов. Другими словами, помимо детерминированной задачи решена двухкритериальная задача с интервальными характеристиками.

Таблица 2

Результаты применения двухкритериальной модели для оптимизации сочетания отраслей производства сельскохозяйственной продукции и заготовки дикоросов по данным Иркутского района

Показатели	Переменные модели	Максимум выручки от реализации сельхозпродукции	Максимум выручки от реализации дикорастущей продукции	Решение задачи с учетом времени	Решение задачи с учетом верхних и нижних оценок урожайности дикорастущих	
		$f_1 = \sum_{s \in S} \sum_{l \in L} c_{sl} x_{sl}$	$f_2 = \sum_{n \in N} \sum_{z \in Z} c_{nz} x_{nz}$		мин	макс
<i>Размер посевных площадей, га</i>						
Зерновые	x_{11}	8140	8140	5920	8140	8140
Картофель	x_{12}	3086	3086	2857	3086	3086
Корнеплоды	x_{13}	10556	10614	6966	10614	10614
<i>Поголовье животных, гол.</i>						
коровы	x_{14}	4750	4750	2500	4750	4750
свиньи	x_{15}	2000	1731	5368	1731	1731
молодняк на выращивании и откорме	x_{16}	6039	6150	5700	6150	6150
<i>Производство сельскохозяйственной продукции, ц</i>						
молоко	x_{17}	190000	190000	100000	190000	190000
мясо	x_{18}	35000	35000	40344	35000	35000
зерно	x_{19}	165000	168711	120000	168630	169024
картофель	x_{110}	540000	540000	500000	540000	540000
<i>Заготовка дикорастущей продукции леса, ц</i>						
ягоды	x_{111}	500	678	3123	521	725
грибы	x_{112}	531	638	531	600	650
<i>Значение целевой функции</i>						
Выручка от реализации сельхозпродукции, тыс. руб.	$f_1 = \sum_{s \in S} \sum_{l \in L} c_{sl} x_{sl}$	1973060	1972722	1612338	1972722	1972722
Выручка от реализации дикорастущей продукции	$f_2 = \sum_{n \in N} \sum_{z \in Z} c_{nz} x_{nz}$	-	36070	94004	31031	37634

При нижних оценках урожайности сократится заготовка ягод и грибов, в результате чего выручка заготовителей уменьшится на 14% по сравнению с результатами, полученными в детерминированной модели. При верхних значениях урожайности ягод и грибов, объем заготовки ягод увеличится на 7%, а грибов существенно не изменится. В этом случае выручка заготовителей увеличится на 4%.

Выводы. Описаны разработанные однопараметрические многокритериальные модели: 1) оптимизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции с учетом динамики некоторых характеристик, которые могут быть описаны значимыми трендами; 2) оптимизации сочетания производства сельскохозяйственной продукции и заготовки дикоросов в условиях динамики роста производства и интервальных колебаний получения пищевых дикорастущих ресурсов.

При решении многокритериальных задач использован метод уступок с экспертной оценкой значения уступки.

Модели реализованы для сельскохозяйственной организации, занимающейся производством и переработкой продукции животноводства и растениеводства, и одного из муниципальных районов Иркутской области с развитым сельским хозяйством и высоким потенциалом пищевых дикорастущих ресурсов. Приведен сравнительный анализ разных вариантов решения предложенных многокритериальных задач.

Развитие предложенных моделей связано с изучением изменчивости многих характеристик, входящих в модели, оценкой их возможностей для среднесрочного и долгосрочного планирования, разработкой программного комплекса для решения подобных задач.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-21-00502.

Литература

1. Копейкин Н.Н., Дали Ф.А., Актерский Ю.Е., Терехин С.Н., Шидловский Г.Л. К вопросу оптимизации ресурсов в задачах управления сложных социотехнических систем // Инженерный вестник Дона. 2022. №8.

URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5__8_Dali.pdf_35d88e235f.pdf.

2. Боргоякова Т. Г., Лозицкая Е. В. Системный анализ и математическое моделирование // Инженерный вестник Дона. 2018. №1 URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_34_Borgoyakova_Lozitskaya.pdf_d7bd110751.pdf

3. Беякова А. Ю., Вашукевич Е. В., Иваньо Я. М. Задачи оптимизации сельскохозяйственного производства в условиях проявления наводнений и засух // Международная научно-практической конференции «Рациональное природопользование и энергосберегающие технологии в агропромышленном комплексе». Иркутск.: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2010. – С. 11-17.

4. Беякова А.Ю., Бузина Т.С. Модели планирования производства продовольственной продукции в условиях неопределенности // Инженерный вестник Дона. 2022. №4. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_85__3_Belyakova_Buzina.pdf_83795cd3b9.pdf

5. Ivanyo Ya., Belyakova A. and Petrova S. Modeling of rare flood on the example of Middle rivers of Angara basin application for mitigation of damages // Critical Infrastructures in the Digital World (IWCI-2020): Proceeding of

International Workshop. 2020. pp. 81-82. URL:
iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/677/4/042103/pdf.

6. Астахова Т.Н., Романов А.В., Кривоногов С.В. Анализ моделей и принципов системного моделирования для решения многокритериальной задачи принятия решений // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Т. 8. № 8. С. 17-25.

7. Крейнес Е.М., Новикова Н.М., Поспелова И.И. Многокритериальные игры с противоположными интересами как модели исследования операций //Журнал вычислительной математики и математической физики. 2020. Т. 60. № 9. С. 1620-1638.

8. Иваньо Я.М., Асалханов П.Г., Барсукова М.Н., Белякова А.Ю., Бендик Н.В., Бузина Т.С., Вашукевич Е.В., Калинин Н.В., Петрова С.А., Полковская М.Н., Федурин Н.И., Чернигова Д.Р., Вараница-Городовская Ж.И., Ковадло И.А., Ковалева Е.А., Колокольцева И.М., Синицын М.Н., Цыренжапова В.В. Математические и цифровые технологии оптимизации производства продовольственной продукции. Молодежный: Иркутский ГАУ. 2021. 219 с. URL: elibrary.ru/item.asp?id=47393382.

9. Гасанов И.И., Ерешко Ф.И., Сытов А.Н. Инструментарий параметрического программирования в модели финансовой коалиции //Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2019. Т. 69. № 2. С. 28-39.

10. Афанасьев В.Н., Преснова А.П. Параметрическая оптимизация нелинейных систем, представляемых моделями с использованием метода “расширенной линеаризации”//Автоматика и телемеханика. 2021. № 2. С. 71-93.

11. Buzina T. S., Belyakova A. Y. and Ivanyo Ya. M. Method of statistical tests in solving problems of food production management // IOP

Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. №839. pp. 1-8. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/839/3/032051/pdf.

12. Сидоренко О.В., Матюхин С.И., Гришина С.Ю., Алексеева Е.В., Гусейнов Ш.Э. Зерновое производство: тренды, модели и возможности в региональном контексте // Вестник аграрной науки. 2021. № 3 (90). С. 158-168.

13. Эдер А.В. Тенденции эволюции технических средств производства аграрного сектора экономики // Вестник аграрной науки. 2022. № 3 (96). С. 161-166.

14. Bernardi M., Delince J., Durand W., Zhang N. 2016 Crop Yield Forecasting: Methodological and Institutional Aspects 239 p. URL: researchgate.net/publication/297234539_Crop_Yield_Forecasting_Methodological_and_Institutional_Aspects.

15. Brase J.M., Brown D.L. Modeling, Simulation and Analysis of Complex Networked Systems, Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL-TR4112733. 2009. 18 p.

References

1. Kopeikin N.N., Dali F.A., Aktersky Yu.E., Terekhin S.N., Shidlovsky G.L. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 8. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5__8_Dali.pdf_35d88e235f.pdf.

2. Borgoyakova T. G., Lozitskaya E. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_34_Borgoyakova_Lozitskaya.pdf_d7bd110751.pdf

3. Belyakova A.Yu., Vashukevich E.V. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskoy konferencii «Racional'noe prirodoopol'zovanie i jenergoberegajushhie tehnologii v agropromyshlennom komplekse»: trudy (Collection of articles. International Scientific and Practical Conference

«Environmental management and energy-saving technologies in the agro-industrial complex»). Irkutsk, 2010, pp. 11-17.

4. Belyakova A. Y., Buzina T. S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7591

5. Ivanyo Ya., Belyakova A., Petrova S. Critical Infrastructures in the Digital World (IWCI-2020): Proceeding of International Workshop, 2020, pp. 81-82. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/677/4/042103/pdf.

6. Astakhova T.N., Romanov A.V. International Journal of Open Information Technologies, 2020, № 8. pp. 17-25.

7. Kreines E.M., Novikova N.M., Pospelova I.I. Zhurnal vychislitel'noj matematiki i matematicheskoy fiziki, 2020, № 9, pp. 1620-1638.

8. Ivan'o Ja.M., Asalhanov P.G., Barsukova M.N. Beljakova A.Ju., Bendik N.V., Buzina T.S., Vashukevich E.V., Kalinin N.V., Petrova S.A., Polkovskaja M.N., Fedurina N.I., Chernigova D.R., Varanica-Gorodovskaja Zh.I., Kovadlo I.A., Kovaleva E.A., Kolokol'ceva I.M., Sinicyn M.N., Cyrenzhapova V.V. Matematicheskie i cifrovye tehnologii optimizacii proizvodstva prodovol'stvennoj produkcii [Mathematical and digital technologies for optimizing food production] Molodezhnyj: Irkutskij GAU. 2021. 219 p. URL: elibrary.ru/item.asp?id=47393382.

9. Gasanov I.I., Ereshko F.I., Sytov A.N. Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk, 2019, № 2, pp. 28-39.

10. Afanas'ev V.N., Presnova A.P. Avtomatika i telemekhanika, 2021, № 2, pp. 71-93.

11. Buzina T. S., Belyakova A. Y. and Ivanyo Ya. M. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, №839, pp. 1-8. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/839/3/032051/pdf.



12. Sidorenko O.V., Matjuhin S.I., Grishina S.Ju., Alekseeva E.V., Gusejnov Sh.Je. Vestnik agrarnoj nauki, 2021, № 3, pp. 158-168.
13. Jeder A.V. Vestnik agrarnoj nauki, 2022, № 3, pp. 161-166.
14. Bernardi M., Delince J., Durand W., Zhang N. 2016. 239 p. URL: researchgate.net/publication/297234539_Crop_Yield_Forecasting_Methodological_and_Institutional_Aspects.
15. Brase J.M., Brown D.L. LLNL-TR4112733. 2009. 18 p.

Дата поступления: 9.04.2024

Дата публикации: 28.05.2024