

Модели планирования производства продовольственной продукции в условиях неопределенности

А.Ю. Белякова, Т.С. Бузина

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

Аннотация: Статья посвящена обзору моделей планирования производства продовольственной продукции, анализу их особенностей. С этой целью была рассмотрена классификация моделей, в которую вошли модели с детерминированными и интервальными параметрами, а также учтено влияние природных и техногенных событий. В статье рассмотрена модель оптимизации функционирования агропромышленного кластера, представлены модели оптимизации производства продовольственной продукции в агропромышленных кластерах Иркутской области.

Ключевые слова: методы оптимизации, модель планирования аграрного производства, детерминированные и интервальные параметры.

Введение

В период активного развития сельского хозяйства прогнозирование и планирование производства сельскохозяйственной продукции имеет большое практическое значение для предприятий агропромышленного комплекса. Успешная деятельность сельскохозяйственного товаропроизводителя зависит от множества природно-климатических и антропогенных факторов. Значительные территории России охватывают леса, которые располагают богатыми запасами пищевых дикорастущих ресурсов, поэтому, помимо производства аграрной продукции, можно заготавливать дикоросы, решая при этом задачи обеспечения населения экологически чистой продукцией и продовольственной безопасности [1]. Многие исследователи занимались решением вопросов моделирования производства сельскохозяйственной продукции и заготовки пищевых дикорастущих ресурсов [2]. Тем не менее, проблема планирования и прогнозирования получения продовольственной продукции остается актуальной ввиду изменения климата, выявления новых значимых связей между производственно-экономическими показателями и внешними факторами, быстрым развитием цифровых технологий,

расширением возможностей получения продовольственной продукции с учетом региональных особенностей территорий.

Целью работы является систематизация разработанных моделей оптимизации производства аграрной продукции в условиях неопределенности. Для достижения этой цели предложено решение следующих задач: 1) выявить особенности моделей, используемых при планировании и прогнозировании сельскохозяйственного производства; 2) рассмотреть существующие примеры оптимизационных моделей с неопределенными параметрами.

Материалы и методы исследования

На основе анализа экономического состояния, природных особенностей муниципальных районов и перерабатывающей отрасли (сбора и систематизации данных о производственных параметрах аграрной деятельности муниципальных районов) предложена классификация оптимизационных моделей получения продовольственной продукции по различным признакам.

Для сбора информации о разработанных и апробированных оптимизационных моделях использованы работы различных авторов [3, 4].

В работе использованы методы математического программирования, теории вероятности и математической статистики. Кроме того, применены различные алгоритмы решения задач линейного программирования в условиях неопределенности с применением метода Монте-Карло.

Результаты и их обсуждение

При планировании производства продовольственной продукции необходимо учитывать природно-климатические особенности территории. Иркутская область, которая богата лесными пищевыми ресурсами, а также отличается и развитым сельским хозяйством. Исходя из природных особенностей и экономических условий в регионе, можно выделить две

группы моделей планирования производства продовольственной продукции: с детерминированными и неопределенными параметрами.

Рассмотрим первую группу моделей. На рисунке 1 рассмотрены виды моделей с детерминированными параметрами.



Рис. 1. - Виды моделей с детерминированными параметрами

На основе видов моделей с детерминированными параметрами и влияния природных и техногенных событий предложены модели оптимизации сочетания отраслей растениеводства и животноводства с учетом редких природных событий, также сформулированы задачи планирования производства сельскохозяйственной продукции в условиях проявления техногенных событий [5]. На основе первой и второй групп моделей можно рассматривать различные ситуации оптимизации производства продовольственной продукции с учетом: (рисунок 2):

- 1) влияния техногенного события и редкого природного явления;
- 2) влияния техногенного явления и редкого совмещения природных событий;
- 3) влияния редкого совмещения природных и техногенных событий.



Рис. 2. - Виды моделей с детерминированными параметрами с учетом природных и техногенных событий

Такие модели позволяют уменьшить экономические ущербы предприятия в неблагоприятных ситуациях за счет адекватного планирования.

Большинство реальных задач, связанных с планированием производства продовольственной продукции описывается множеством параметров, многие из которых являются неопределенными [6].

Особенно распространенными являются ситуации, когда выбор решения осуществляется в условиях рисков: существует неопределенность в виде множества частных исходов результата принятия решения, причем вероятности появления этих исходов либо определяемы тем или иным способом, либо неизвестны или не имеют смысла [7, 8].

Задачи математического программирования в условиях неопределенности часто применяют для планирования получения продовольственной продукции, к которой можно отнести

сельскохозяйственную продукцию и пищевые ресурсы леса (дикоросы и мясо промысловых диких животных) [9, 10].

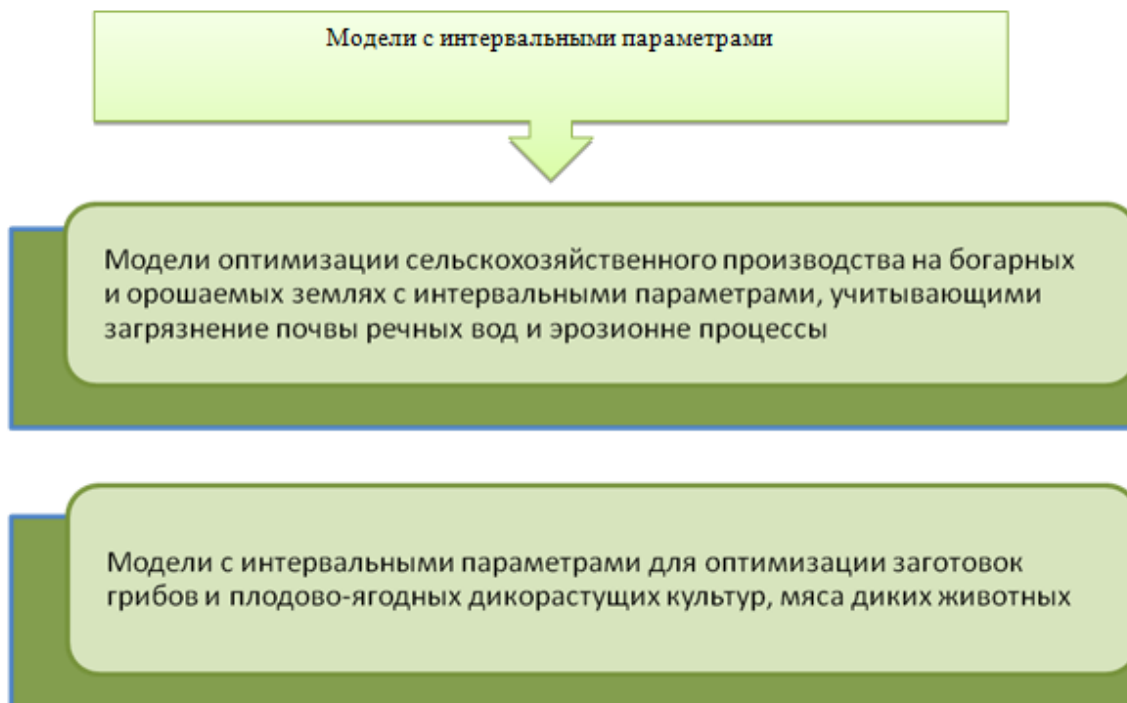


Рис. 3. - Виды моделей с интервальными параметрами

Создание агропромышленных кластеров является одним из путей обеспечения продовольственной независимости региона в условиях деятельности различных категорий товаропроизводителей и заготовителей.

Так как деятельность подобных объединений характеризуется наличием множества отраслей, то описывать ее необходимо с помощью комплекса взаимосвязанных математических моделей.

В оптимизационной модели функционирования агропромышленного кластера все технологически взаимосвязанные отрасли, категории предприятий и виды деятельности связываются в единую производственно-экономическую систему [11]. При этом продвижение продукции по технологической вертикали описывается отдельными блоками: производство, переработка и реализация готовой продукции. Но так как все объекты входят в состав агропромышленного кластера, для связи блоков

используется связующая подматрица, где приводятся ограничения на уровне всего объединения. Также связь блоков осуществляется с помощью целевой функции.

Критерием оптимальности модели является максимизация прибыли от реализации переработанной продукции:

$$f_1 = \sum_{v \in V} c_v x_v^I - \sum_{q \in Q} c_q x_q^II, \quad (1)$$

где x_v^I - объемы реализованной продукции вида v ; c_v - цена реализации продукции вида v ; c_q - закупочная цена на сельскохозяйственную продукцию, подлежащую переработке; x_q^II - искомая переменная, соответствующая объему q -вида продукции, подлежащей переработке; V и Q – множества видов конечной продукции кластера и продукции, подлежащей переработке.

Ограничения задачи записываются следующим образом.

Развитие отраслей в каждой категории предприятий ограничивается имеющимися и выделяемыми производственными ресурсами (посевные площади, численность поголовья животных и т.п.):

$$\sum_{j \in J} a_{ijk} x_{jk}^{III} \leq A_{ik}, \quad (i \in I, k \in K), \quad (2)$$

где i - вид производственных ресурсов ($i=1,2,\dots,m$); j - вид сельскохозяйственной продукции ($j=1,2,\dots,n$); k - индекс категории предприятий ($k=1,2,\dots,K$); x_{jk}^{III} - объем производства продукции j -вида в k -категории предприятий; a_{ijk} - норма затрат ресурсов i -вида на единицу j -продукции в k -категории предприятий; A_{ik} - объем ресурсов i -вида в k -категории предприятий, I - множество видов производственных ресурсов; J - множество видов сельскохозяйственной продукции; K - множество категорий предприятий.

Объемы отраслей и видов деятельности агропромышленного кластера должны быть взаимосвязаны и сбалансированы: поголовье скота – с объёмом

и структурой производства кормов; мощности по переработке – с объемами производства сельскохозяйственной продукции; мощности реализации – с объемами поступающих из сферы переработки продуктов.

Условия, описывающие взаимосвязь отраслей животноводства и растениеводства в каждой категории предприятий, имеют вид:

$$\sum_{j \in J} a_{ijk} x_{jk}^{III} \geq \sum_{j \in J} b_{ijk} x_{jk}^{III}, \quad (i \in I, k \in K), \quad (3)$$

где b_{ijk} – содержание i -вида ресурса в единице j -вида продукции в k -категории предприятий.

Ограничения по переработке сельскохозяйственной продукции, разбиваются на группы:

– по соблюдению пропорциональности развития производства и переработки сельскохозяйственной продукции:

$$x_q^{II} = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \nu_{qik} x_{ik}^{IV} - \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \eta_{jk} x_{jk}^{III}, \quad (q \in Q); \quad (4)$$

– по наличию определенных соотношений между производством конечной продукции кластера и объемами продукции, подлежащей переработке:

$$\sum_{q \in Q} \varphi_{vq} x_q^{II} \leq x_v^I, \quad (v \in V); \quad (5)$$

– по учету ограниченности производственных мощностей перерабатывающего предприятия:

$$\sum_{q \in Q} x_q^{II} \leq W, \quad (6)$$

где x_{ik}^{IV} – поголовье животных или площадь культур i -вида в k -категории предприятий; ν_{qik} - выход товарной продукции q -вида с единицы ресурса i -вида в k - категории предприятий; η_{jk} - доля продукции сельского хозяйства, не подлежащей переработке в k -категории предприятий; φ_{vq} - выход конечной

продукции агропромышленного кластера в расчете на единицу q -вида сельскохозяйственной продукции; v - индекс вида конечной продукции агропромышленного кластера; W - производственная мощность перерабатывающего предприятия.

Условия по реализации продукции переработки и развития обслуживающих отраслей инфраструктуры имеют вид:

$$\sum_{v \in V} x_v^I = \gamma \sum_{q \in Q} x_q^{II}, \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} g_{oik} x_{ik}^{IV} + \sum_{q \in Q} g_{\omega q} x_q^{II} = x_{\omega}^V, \quad (\omega \in W'), \quad (8)$$

где γ - доля реализованной продукции v -вида от объема переработанной продукции q -вида; x_{ω}^V - затраты труда в обслуживающих отраслях агропромышленного кластера; g_{oik} - нормативы потребности в услугах обслуживающей отрасли в расчете на единицу площади или вида животных в k – категории предприятий; $g_{\omega q}$ - трудовые затраты обслуживающих отраслей на единицу продукции q -вида; ω - вид обслуживающих отраслей; W' - множество обслуживающих отраслей.

Ограничение, учитывающее всех участников кластера, к которым относятся три категории товаропроизводителей, перерабатывающие предприятия и сбытовые организации, имеет вид:

$$\sum_{i \in I} c_{ik} x_{ik} - \sum_{d \in D} c'_{dk} x_{dk}^V - R_k = 0, \quad (9)$$

где c_{ik} – прибыль от реализации продукции, полученной от единицы i -вида животных в k -категории предприятий, за вычетом всех затрат, кроме стоимости кормов; c'_{dk} – себестоимость единицы d -вида корма в k - категории предприятий; x_{dk}^V – количество кормов из состава покупных кормов и побочной продукции в k - категории предприятий; R_k - прибыль от реализации продукции k -категории предприятий; D - множество видов кормов.

Для учета распределения инвестиций между отраслями введено ограничение по распределению основных фондов:

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \phi_{ik} x_{ik}^{IV} + \sum_{q \in Q} \phi_q x_q^{II} + \sum_{\omega \in W'} \phi_{\omega} x_{\omega}^V \leq F', \quad (10)$$

где $\phi_{ik}, \phi_q, \phi_{\omega}$ - количество основных фондов, приходящихся на единицу площади или вида животных, единицу продукции q -вида, единицу трудовых затрат обслуживающей отрасли; F' - общий объем основных фондов в агропромышленном кластере.

Все переменные модели должны быть неотрицательны:

$$x_v^I, x_q^{II}, x_{jk}^{III}, x_{ik}^{IV}, x_{\omega}^V, x_{dk}^{VI} \geq 0. \quad (11)$$

В первоначальном варианте решена детерминированная модель, в которой коэффициенты при неизвестных в целевой функции и ограничениях являются определенными величинами.

В то же время, для оценки многих параметров модели существующих данных недостаточно по различным причинам, к которым относятся разукрупнение хозяйств, нестабильность цен на продукцию, сезонность спроса и т.п. Поэтому значительное число коэффициентов модели обладает неопределенностью.

В работе [11] для оптимизации взаимодействия участников молочного кластера построена двухкритериальная модель, которая позволяет учесть экономический интерес производителей молока и перерабатывающего предприятия.

В приведенной модели необходимо учитывать изменчивость закупочных цен на сельскохозяйственную продукцию и прибыли от реализации продукции; обеспеченность отрасли животноводства кормами, объем производство которых зависит от природно-климатических условий: засух, ливней, раннего снега, паводка и половодья.

Следовательно, коэффициенты при неизвестных целевой функции и ограничений модели могут определяться верхними и нижними оценками.

С учетом вышесказанного, первый критерий оптимальности – максимум прибыли перерабатывающего предприятия описан следующим образом:

$$f_1 = \sum_{v \in V} \tilde{c}_v x_v^I - \sum_{q \in Q} \tilde{c}_q x_q^{II}, \quad (18)$$

где параметры \tilde{c}_v и \tilde{c}_q критерия оптимальности (1), оцениваются верхним и нижним значениями $\tilde{c}_v = \bar{c}_v, \underline{c}_v$; $\tilde{c}_q = \bar{c}_q, \underline{c}_q$.

Второй критерий оптимальности – максимум прибыли от реализации продукции сельскохозяйственными товаропроизводителями имеет вид:

$$f_2 = \sum_{j \in J} \tilde{c}_j x_j^{III} - \sum_{i \in I} c_i' x_i^{IV} \quad (19)$$

где параметр \tilde{c}_j (выручка от реализации продукции, полученной от единицы i -вида животных), характеризуется верхними и нижними значениями $\tilde{c}_j = \bar{c}_j, \underline{c}_j$.

В задаче максимума функции f_1 благодаря колебаниям параметров \tilde{c}_v и \tilde{c}_q принимают некоторый интервал значений (экстремальные значения максимума функции f_1). В свою очередь это влияет на решение задачи по второму критерию оптимальности, где в качестве дополнительного ограничения учитывается условие максимума прибыли перерабатывающего предприятия с некоторой уступкой. Таким образом, целевая функция f_2 – оценка минимальной и максимальной прибыли от реализации продукции сельскохозяйственными товаропроизводителями также будет изменяться в некотором интервале, в зависимости от изменения функции f_1 и параметра \tilde{c}_j .

Кроме того, параметры, описывающие производство сельскохозяйственной продукции, зачастую подвержены внешним

воздействиям и носят случайный характер, поэтому необходимо их описывать с помощью вероятностных законов распределения. В этом случае модель функционирования агропромышленного кластера должна быть основана на задаче стохастического программирования.

В частности, при моделировании для зернового кластера следует учитывать, что входная информация представляет собой сведения о площадях сельскохозяйственных угодий, сельскохозяйственной технике, трудовых ресурсах, урожайности культур, нормах выпечки хлебобулочных изделий, часть из которых имеет случайную природу. Поэтому блок, описывающий производство зерновой продукции, содержит ограничения с вероятностным параметром, характеризующим урожайность зерновых в левой части следующих условий:

- по производству зерновой продукции в k -категории предприятий не менее задаваемой потребности:

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \mu_{jik}^p x_{ik}^{IV} \geq M_j, (j \in J), \quad (12)$$

где μ_{jik}^p - урожайность зерновой культуры, как случайная величина; M_j – требуемый объем производства продукции j -вида;

- по реализации продукции из всех категорий предприятий в количестве, не превышающем объемов ее производства:

$$\sum_{k \in K} x_{vk}^I \leq \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \mu_{jik}^p x_{ik}^{IV}, (v \in V, j \in J); \quad (13)$$

- по учету пропорциональности между производством и переработкой продукции:

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \mu_{jik}^p x_{ik}^{IV} - \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \eta_{jk} x_{jk}^{III} = x_q^{II}, (q \in Q). \quad (14)$$

Таким образом, при моделировании агропромышленных кластеров учитывалось, что деятельность его участников характеризуется множеством производственно-экономических параметров, многие из которых являются неопределенными. Поэтому ограничения модели обычно содержат

детерминированные, вероятностные величины. Кроме того, некоторые переменные характеризуются верхними и нижними оценками.

В работах [3, 11] сформулированы и реализованы математические модели оптимизации функционирования агропромышленных кластеров по данным муниципальных районов Иркутской области за многолетний период. К ним относятся: оптимизационная модель кооперации товаропроизводителей различных категорий с детерминированными параметрами; параметрическая модель оптимизации получения продукции в агропромышленном кластере; модель оптимизации взаимодействия участников в региональном агропромышленном кластере с вероятностными параметрами; модель оптимизации получения продукции в кластере с интервальными параметрами в целевой функции и левых частях ограничений; многокритериальная модель производства и переработки продукции в региональном агропромышленном кластере с интервальными параметрами. Полученные модели описывают взаимодействие участников в выделенных кластерах региона в условиях неопределенности.

Выводы

В работе обобщены и проанализированы модели оптимизации получения продовольственной продукции. Выделены группы детерминированных моделей, моделей с детерминированными параметрами с учетом природных и техногенных событий, моделей с интервальными параметрами. В дополнение к ним рассмотрены математические модели оптимизации производства продовольственной продукции в агропромышленных кластерах.

Приведенные группы моделей описывают планирование получения продовольственной продукции в зависимости от природно-климатических и экономических условий территорий Иркутской области.

Список литературы

1. Поляков П.В. Эколого-экономические критерии оценки эффективности аграрного природопользования (на примере Воронежской области) // Инженерный вестник Дона. 2013. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1647.
 2. Wiersum, K. F. New Interest in Wild Forest Products in Europe as an Expression of Biocultural Dynamics. 2017. Vol. 45. №6. pp. 787-794. URL: [DOI10.1007/s10745-017-9949-7](https://doi.org/10.1007/s10745-017-9949-7).
 3. Buzina T. S., Belyakova A. Y. and Ivanyo Yu. 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.
 4. 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.
 5. Albi G., Cristiani E., Pareschi L., Peri D. Mathematical models and methods for crowd dynamics control // Springer International Publishing. 2020. pp. 159—197. URL: doi.org/10.1007/978-3-030-50450-2_8.
 6. 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.
 7. Неймарк Ю.И. Математическое моделирование как наука и искусство: учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – Н. Новгород: изд-во Нижегородского государственного университета. 2010. 420 с. URL: unn.ru/site/images/docs/monography/2010/naemark.pdf.
-



8. Макаренко Е. В., Верхотуров В. В. Мониторинг состояния и развития пищевой промышленности Иркутской области // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2012. № 2(13). С. 76-81. URL: oreluniver.ru/public/file/archive/2__2012.pdf.

9. 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.

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

11. 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., Сеницын М.Н., Цыренжапова В.В. Математические и цифровые технологии оптимизации производства продовольственной продукции. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. 2021. 219 с. URL: elibrary.ru/item.asp?id=47393382.

References

1. Poljakov P.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1647.

2. Wiersum, K. F. 2017. Vol. 45. №6. pp. 787-794. URL: DOI10.1007/s10745-017-9949-7.

3. Buzina T. S., Belyakova A. Y. and Ivanyo Yu. 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.

4. Ivanyo Ya., Belyakova A. and 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.
 5. Albi G., Cristiani E., Pareschi L., Peri D. Springer International Publishing. 2020. pp. 159—197. URL: doi.org/10.1007%2F978-3-030-50450-2_8.
 6. Borgojakova T.G., Lozickaja E.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_34_Borgoyakova_Lozitskaya.pdf_d7bd110751.pdf.
 7. Nejmark Ju.I. Matematicheskoe modelirovanie kak nauka i iskusstvo: uchebnik [Mathematical modeling as a science and art: a textbook], 2-e izd., ispr. I dop. N. Novgorod: izd-vo Nizhegorodskogo gosuniversitetaju. 2010. 420 p. URL: unn.ru/site/images/docs/monography/2010/naemark.pdf.
 8. Makarenko E. V., Verhoturov V. V. Tehnologija i tovarovedenie innovacionnyh pishhevyh produktov. 2012. № 2(13). pp. 76-81. URL: oreluniver.ru/public/file/archive/2__2012.pdf.
 9. Bernardi M., Delince J., Durand W., Zhang N. 2016. 239 p. URL: researchgate.net/publication/297234539_Crop_Yield_Forecasting_Methodological_and_Institutional_Aspects.
 10. Brase J.M., Brown D.L. LLNL-TR4112733. 2009. 18 p.
 11. 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 gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. A.A. Ezhevskogo. 2021. 219 p. URL: elibrary.ru/item.asp?id=47393382.
-