

Научная статья

Original article

УДК 631

doi: 10.55186/2413046X\_2022\_7\_9\_544

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ  
ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В  
УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ  
METHODOLOGICAL APPROACHES TO ECONOMIC AND  
MATHEMATICAL OPTIMIZATION OF IRRIGATION SYSTEM  
PARAMETERS IN CONDITIONS OF WATER SCARCITY**



**Рогачев Дмитрий Алексеевич**, канд. технич. наук, соискатель (105120, Россия, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая 10 с .2.), тел. 8(916) 026-39-71: [rogachev.soft@gmail.com](mailto:rogachev.soft@gmail.com)

**Юрченко Ирина Федоровна**, гл. науч.й сотр. ВНИИГиМ (РФ, 127550, Москва, ул. Б.Академическая, 44-), д-р технич. наук. Т. +7 916 328-85-81, [Irina.507@mail.ru](mailto:Irina.507@mail.ru)

**Rogachev Dmitry A.** Candidate of Technical Sciences, applicant (105120, Russia, Moscow, Nizhnyaya Syromyatnicheskaya str. 10 s.2.), tel. 8(916) 026-39-71: [rogachev.soft@gmail.com](mailto:rogachev.soft@gmail.com)

**Yurchenko Irina Fedorovna**, gl. scientific.y sotr. VNIIGiM (Russia, 127550, Moscow, B.Akademicheskaya str., 44-), Doctor of Technical Sciences. Т. +7 916 328-85-81, [Irina.507@mail.ru](mailto:Irina.507@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрены методические подходы к оптимизации параметров оросительных систем в условиях дефицита водных ресурсов методами экономико-математического моделирования. Проведен анализ и систематизация средств экономико-математического моделирования, как алгоритмической основы систем поддержки управленческих решений, а также

методологии их построения и разработки. В статье приведены результаты исследований по обоснованию применения стохастических моделей оптимизации водопотребления для зон рискованного земледелия. Систематизированы основные классы задач стохастического программирования и подходы к адаптации моделей на основе постановки и решения известных задач линейного программирования для оптимизации экономических параметров. Проанализированы подходы к применению алгоритмов и методов решения модифицированной транспортной задачи для систем поддержки принятия решений при планировании водопотребления и технической эксплуатации оросительных систем. Проанализированы подходы к математическому моделированию ситуаций, при которых необходимость, возможность и объем поливов нельзя определить заранее и, соответственно, затруднительно однозначно судить о целесообразном уровне сочетания орошаемого и богарного земледелия и эффективности орошения. Обосновано использование при моделировании сопоставления экономического эффекта от выращивания культур на богаре и на орошении. Обосновано использование суммарного чистого дохода с общей площади пашни, на которой в возможно орошение, в качестве показателя экономической эффективности орошаемого земледелия при моделировании и оптимизации. Рассмотрены особенности задачи выбора оптимальных размеров орошаемых полей и их распределения по сельскохозяйственным культурам в острозасушливых условиях для зоны недостаточного увлажнения, на примере почвенно-климатических условий Волгоградской области.

**Abstract.** The article discusses methodological approaches to optimizing the parameters of irrigation systems in conditions of water scarcity by methods of economic and mathematical modeling. The analysis and systematization of economic and mathematical modeling tools as the algorithmic basis of management decision support systems, as well as the methodology of their construction and development, is carried out. The article presents the results of research to substantiate the use of stochastic models for optimizing water consumption for risky farming zones. The main classes of

stochastic programming problems and approaches to model adaptation based on the formulation and solution of known linear programming problems for optimization of economic parameters are systematized.

The approaches to the application of algorithms and methods for solving the modified transport problem for decision support systems in planning water consumption and technical operation of irrigation systems are analyzed. The approaches to mathematical modeling of situations in which the necessity, possibility and volume of irrigation cannot be determined in advance and, accordingly, it is difficult to unambiguously judge the appropriate level of combination of irrigated and rain-fed agriculture and irrigation efficiency are analyzed.

The use of a comparison of the economic effect of growing crops on bogar and irrigation is justified in modeling. The use of the total net income from the total area of arable land on which irrigation is possible is justified as an indicator of the economic efficiency of irrigated agriculture in modeling and optimization. The features of the problem of choosing the optimal sizes of irrigated fields and their distribution among agricultural crops in acutely arid conditions for the zone of insufficient moisture are considered, using the example of soil and climatic conditions of the Volgograd region

**Ключевые слова:** оросительная система, дефицит водных ресурсов, водораспределение, экономико-математическое моделирование, оптимизация параметров

**Keywords:** irrigation system, water scarcity, water distribution, economic and mathematical modeling, optimization of parameters

### **Введение**

Объем поливной воды, фактически подаваемой на орошаемые поля, имеет вероятностную природу, т.е. является случайной величиной. Эти объемы определяют как годовой, так и среднемноголетний эффект от орошения в данных условиях. Затраты на оросительные мелиорации и объемы дополнительной продукции от орошения также являются не детерминированными, а случайными величинами. Поэтому для решения задач планирования орошения необходимо применять стохастические модели, в особенности для зон рискованного

земледелия [1]. В частности, задачи выбора оптимальных размеров подготовки полей под орошение, а также оптимизации структуры орошаемого земледелия в сочетании с богарным, могут быть решены лишь с применением математических моделей и методов стохастического программирования.

### Методы материалы

Задачи математического программирования, в которых некоторые параметры являются случайными величинами, являются стохастическими задачами математического программирования [2, 3].

Общая формулировка задачи линейного программирования (ЗЛП) в матрично-векторной форме) состоит в отыскании такого плана  $x$ , что [2]:

$$\text{при } \begin{cases} Ax \leq b \\ x \geq 0 \end{cases} \text{ условиях:} \quad F(x) = cx \rightarrow \max \quad (1)$$

(2)

где  $x = (x_i)$  - вектор искомых переменных величин,  $A$  - матрица технико-экономических коэффициентов затрат-выпуска продукции,  $b = (b_i)$  - вектор свободных членов ограничений;  $c = (c_i)$  - вектор коэффициентов целевой функции

Стохастическое программирование позволяет выбрать план, который был бы наилучшим с учетом всех возможных реализаций случайных параметров задачи и их вероятностей. В большинстве случаев в качестве критерия оптимальности выступает максимум математического ожидания целевой функции  $M[F(x)]$  или минимум ее дисперсии  $D[F(x)]$ .

Значение целевой функции, соответствующее некоторому допустимому плану  $x$  и реализации случайных параметров задачи  $\xi$ , обозначено

$$\Phi = \Phi(x, \xi).$$

Тогда справедливо

$$P[\Phi(x, \xi) \geq \Phi_0] \rightarrow \max, \quad (3)$$

Применительно к экономическому эффекту  $\Phi$  математическое ожидание  $M(\Phi)$  характеризует средний эффект, который может быть получен с учетом распределения случайных параметров  $\zeta$ .

Общий подход к оценке качества решений стохастических задач оптимизации основывается на стремлении увеличить математическое ожидание  $M$  эффекта и уменьшить его дисперсию  $D$ .

При сравнении альтернативных вариантов  $A$  и  $B$  со случайными значениями эффекта, в частности прибыли, вводят обозначения  $m_A$  и  $\sigma_A^2$  - математическое ожидание и дисперсия прибыли для варианта  $A$ ,  $m_B$  и  $\sigma_B^2$  - математическое ожидание и дисперсия прибыли для варианта  $B$  соответственно.

Основным методом решения ЗЛП является симплекс-метод, реализация которого предусмотрена в различных коммерческих или открытых программных продуктах, например, надстройка «Поиск решения» в MS Excel.

### **Результаты и обсуждение**

Предполагается, что вероятностные характеристики случайных параметров задачи известны. В ряде математических моделей оптимального планирования сельскохозяйственного производства случайный характер параметров обусловлен колебаниями водопотребления и урожайности сельскохозяйственных культур. При этом, изучение статистических ретроспективных данных позволяет выявить закономерности этих колебаний, установить законы распределения случайных параметров, их математические ожидания и дисперсии.

Эффект  $\Phi$  является случайной величиной, так как функция от случайной величины, в частности, водопотребления, также является случайной величиной. Из этого следует, что для оценки качества решения стохастической задачи необходимо рассмотреть числовые характеристики эффекта  $\Phi$  как случайной величины - её математическое ожидание  $M(\Phi)$  и дисперсию  $D(\Phi)$ .

Если математические ожидания прибыли равны, а дисперсия по проекту  $A$  меньше, то он обеспечивает большую устойчивость, а соответственно и меньший риск. Следовательно, лучшим вариантом является вариант плана  $A$ . Если

дисперсии прибыли равны, но математическое ожидание прибыли по проекту А выше, следовательно, этот вариант является лучшим.

В стохастическом программировании описанный общий подход может быть реализован путем применения одного из следующих критериев оптимальности:

а) Максимум математического ожидания эффекта  $\Phi$ , при этом дисперсия  $D(\Phi)$  эффекта не учитывается.

$$F(x) = M(CX) \rightarrow \max \quad (4)$$

Данный критерий оптимальности применяется в большинстве известных прикладных задач стохастического программирования. Он соответствует планово-экономическим задачам, для которых критерием оптимальности является максимум прибыли или другие максимизируемые показатели.

б) Максимальная вероятность превышения некоторого фиксированного значения эффекта.

$$P[\Phi(x, \xi) \geq \Phi_0] \rightarrow \max, \quad (5)$$

где  $\Phi_0$  - заданное пороговое значение эффекта, снижение которого нежелательно.

При обосновании порогового значения эффекта  $\Phi_0$  следует опираться на различные нормативы, разрабатываемые для планирования и управления производством.

в) Минимум дисперсии  $D$  эффекта  $\Phi$

Стохастическая задача с использованием этого критерия оптимальности сводится к выбору такого плана, при котором дисперсия эффекта  $\Phi$  будет минимальной.

При использовании данного критерия оптимальности необходимо устанавливать некоторое пороговое значение математического ожидания эффекта  $\Phi_0$ , условие достижения которого затем вводится в модель в качестве ограничения,

г) Максимум линейной комбинации математического ожидания эффекта и его дисперсии

$$F(X) = M(\Phi) - \gamma D(\Phi) \rightarrow \max, \quad (9)$$

где  $\gamma$  - штраф за единицу дисперсии.

Здесь вводится некоторый штраф за дисперсию, который затем вычитается из величины линейной формы, характеризующей эффект  $\Phi$ . При использовании данного критерия оптимальности представляет трудность объективная количественная оценка влияния дисперсии на выбор плана, то есть определение размеров штрафа за единицу дисперсии.

При выборе базовой математической модели для решения конкретной технико-экономической стохастической задачи необходимо стремиться к тому, чтобы модель соответствовала характеру решаемой задачи, а также была приемлемой с точки зрения практической реализуемости.

Цель решения задач математического программирования состоит в определении набора управляющих переменных, оптимизирующих целевую функцию. В задачах математического программирования неизвестные, по существу, являются управляющими переменными, значения которых можно изменять в пределах, определяемых ограничениями [3].

*Априорными* решениями являются управленческие решения, принимаемые до наблюдения конкретных реализаций случайных условий, т.е. в момент, когда эти конкретные условия еще неизвестны. Они имеют вид детерминированного вектора  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  и включают те элементы решения, которые не поддаются корректировке при уточнении производственной ситуации [4]. В прикладных задачах это могут быть, например, решения о суммарной водоподаче, структуре посевных площадей и др.

*Апостериорные* управляющие решения принимаются после того, как стали известны конкретные условия производства. Апостериорные управляющие решения имеют вид стохастического вектора  $\mathbf{y}_r$ , принимаемого с вероятностью  $p_r$ , где  $r$  - номер реализации случайных условий ( $r = 1, 2, \dots, k$ ), т.е. эти решения изменяются в зависимости от конкретных реализаций случайных условий произведена (исходов). При помощи апостериорных управляющих переменных осуществляется адаптация основополагающих, неизменных априорных решений к

меняющимся условиям. Например, в зависимости от реализации случайных условий могут изменяться: набор возделываемых сельскохозяйственных культур, распределение посевов культур на товарные и фуражные цели и др.

Для дальнейшего исследования охарактеризуем основные классы задач стохастического программирования.

*Одноэтапные* задачи характеризуются тем, что принимается только одно решение (априорное), которое затем не корректируется. План одноэтапной задачи, таким образом, представляет собой детерминированный вектор  $x$ .

Известны следующие варианты постановки одноэтапных задач стохастического программирования [5].

а) *Нахождение оптимального плана при усредненных значениях случайных параметров.* Решаемая задача сводится к обычной детерминированной ЗЛП. Так, если случайным является только вектор  $c$  коэффициентов целевой функции, то как доказано Дж. Данцигом, задача сводится к детерминированной задаче линейного программирования. Для решения такой задачи достаточно заменить коэффициенты  $c_j$  их средними значениями.

б) *Жесткая постановка.* При этой постановке требуется, чтобы при любых реализациях случайных параметров выполнялись все ограничения задачи. Жесткая постановка задачи может применяться в ситуациях, когда выполнение всех ограничений строго обязательно, а невыполнение хотя бы одной из них приводит к катастрофическим последствиям. Решение такой задачи в стохастической постановке сводится к решению громоздкой детерминированной задачи линейного программирования.

В качестве критерия оптимальности в таких задачах обычно используется максимум математического ожидания эффекта, т.е.

$$F(x) = cx \rightarrow \max.$$

*Одноэтапными* являются такие стохастические задачи, в которых критериями оптимальности являются: дисперсия эффекта; вероятность превышения заданного порогового значения эффекта; линейная комбинация



математического ожидания эффекта и его дисперсии. *Двухэтапные* задачи характеризуются тем, что процесс принятия планового решения включает два этапа: принятие априорного решения  $X$  и затем, после того, как становится известной конкретная  $r$ -я реализация случайных условий апостериорного решения  $y_r$  ( $r = 1, 2, \dots, n$ ).

Оптимизация состава парка поливных и технологических агрегатов, условия работы которого (связанные с погодой), претерпевают случайные колебания. Состав парка нельзя изменять соответственно изменениям погоды, можно изменять лишь его использование. Таким образом, априорным решением является решение о составе оптимизируемого парка, описываемое вектором  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , элементы которого - количества агрегатов и сельскохозяйственных машин по маркам. Это решение принимается до того, как становится известной конкретная реализация параметров погоды, но при этом учитывается вся совокупность возможных исходов и их вероятности. Апостериорным же решением является решение об использовании парка в условиях каждого из конкретных исходов. Это решение принимается в момент, когда становится известным конкретный исход.

Транспортная задача ЛП относится к двухиндексным задачам, так как в результате решения задачи необходимо найти матрицу  $X$  с компонентами  $x_{ij}$ .

Стоимость всего плана выразится двойной суммой

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij}. \quad (10)$$

Систему ограничений получаем из следующих условий задачи:

- а) все грузы должны быть перевезены;
- б) все потребности должны быть удовлетворены.

Алгоритм и методы решения транспортной задачи могут быть использованы при решении ряда технико-экономических задач, не имеющих ничего общего с транспортировкой груза. В этом случае величины тарифов  $C_{ij}$  имеют различный смысл в зависимости от конкретной экономической задачи [8]. К таким задачам относятся оптимальные назначения или проблема выбора.

Пример транспортной матрицы задачи о назначениях приведен в таблице 1.

Поиск оптимального варианта плана производится с использованием надстройки Поиск решения. По сравнению с транспортной задачей, особенностью приведения матрицы к сбалансированному виду является то, что переменные  $x_{ij}$  являются булевыми, поэтому при вводе ограничений в MS Excel необходимо указать тип переменных **Двоичное**.

**Таблица 1 – Структура транспортной матрица дискретной «задачи о назначениях»**

Ресурсы	Работы				Количество ресурсов
	$B_1$	$B_2$	...	$B_m$	
$A_1$	$C_{11}$	$C_{12}$	...	$C_{1m}$	1
$A_2$	$C_{21}$	$C_{22}$	...	$C_{2m}$	1
...	...	...	...	...	1
$A_n$	$C_{n1}$	$C_{n2}$	...	$C_{nm}$	1
Количество работ	1	1	1	1	$\sum a_i = \sum b_j$

Основной проблемой в стратегическом принятии решения является выбор суммарной мощности оросительной сети  $N$  за сезон и площади орошаемого массива  $x$  (га). Эти показатели определяют остальные технико-экономические параметры эксплуатируемой или проектируемой ОС.

Рассмотрим особенности задачи выбора оптимальных размеров орошаемых полей для зоны недостаточного увлажнения. В острозасушливых условиях, например, Волгоградской области, величину  $V$ , (мм), характеризующие годовую норму осадков, можно считать практически стабильной. Случайным будем принимать общее количество воды  $Q$ , ( $m^3$ ), подаваемой ОС на орошение возделываемых севооборотов. Будем считать, что функция распределения этой величины  $f(Q)$  известна, как и ее верхняя и нижняя границы, при этом

$$Q \in [\underline{Q}, \bar{Q}]$$

В случае невозможности подачи воды для орошения, при сохранении агромелиоративной нормы орошения  $q$ , средней по культурам, сокращаются площади поливов. Тогда необходимая мощность оросительной сети определится выбранной площадью орошения:  $N=qx$ .

Пусть выбрана площадь наибольшего орошения  $\bar{x} = \bar{Q}/q$ . Если выбрать площадь  $x$  так, что  $\underline{Q} < xq \leq \bar{Q}$ , то будет полита не вся площадь, а лишь  $Q/q$ , (га). Различие удельных показателей эффективности посева культур севооборота при поливах и без полива обуславливает, что суммарный годовой эффект  $\Phi$  будет зависеть не только от выбранной площади  $x$ , но и от степени реализации водности

$$\bar{\Phi}(x) = \int_{\underline{Q}}^{\bar{Q}} \Phi(x, Q) f'_Q dQ \quad (12)$$

$$\Phi = \Phi(x, Q). \quad (13)$$

Поскольку  $Q$  случайно меняется по годам, то эффективность выбора соотношения орошаемой и богарной площадей будет случайной величиной и ее можно определить лишь с учетом многолетних результатов сельскохозяйственного производства. За ее величину можно принять средний годовой показатель эффективности, усредняя по реализациям  $Q$ . Оптимальным размером орошения будем считать такую площадь орошаемого массива  $x^*$  и, соответственно, мощность сети  $N^* = qx^*$ , при которых величина  $\bar{\Phi}(x)$  достигает максимума.

Моделирование процесса выбора оптимальных размеров орошения заключается в определении конкретной функции эффекта. Орошаемое земледелие является одним из технологических вариантов интенсификации земледелия и зачастую дополняет или вытесняет богарное земледелие. Поэтому в модели необходимо сравнить эффект от выращивания культур на богаре и при орошении.

В качестве показателя эффективности земледелия при моделировании можно принимать суммарный чистый доход с общей площади пашни  $S$ , (руб.), на которой в принципе возможно орошаемое земледелие.

Таким образом, при прочих равных условиях возможности поливов культур зависят от объема воды  $Q$  за оросительный сезон, подаваемой ОС от источника орошения на поля. Необходимые объемы поливов определяются также количеством эффективных осадков  $V$  (мм за сезон), однако эти величины колеблются по годам в большом диапазоне значений.

### **Выводы**

Проведенный анализ средств математического обеспечения компьютерных систем поддержки управленческих решений, а также методологии их разработки, позволяют рекомендовать в рамках информационных технологий вводить блоки математической оптимизации выбора дискретных вариантов для повышения функциональности и эффективности СППР.

В ситуации, когда возможность и необходимость поливов нельзя определить заранее и однозначно, затруднительно судить об эффективности орошения и целесообразном уровне сочетания орошаемого и богарного земледелия. Это значительно усложняет проблему выбора оптимальных параметров орошения в целом и технической эксплуатации ОС.

### **Список источников**

1. Кирейчева Л. В., Юрченко И. Ф. Роль мелиорации земель в решении проблемы продовольственной безопасности России // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 2. С. 13-15
2. Кардаш В.А. Ценовой регулятор компромиссного рыночного равновесия в дезагрегированных моделях экономических систем // Современная экономика: проблемы и решения. 2010. № 4. С. 128-139.

3. Практикум по математическому моделированию экономических процессов в сельском хозяйстве / А.Ф. Карапенко, В.А. Кардаш, Н.С. Низова и др. – М.: Агропромиздат, 1985. -269
4. Рогачёв А. Ф. Математическое моделирование экономической динамики в аграрном производстве: монография. Волгоград, 2014. 172 с.
5. Обоснование эффективности планирования технологических процессов водопользования и оперативное управление водораспределением на базе использования метода Монте-Карло / В. И. Ольгаренко, И. Ф. Юрченко, И. В. Ольгаренко [и др.] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 1 (29). С. 49-65.
6. Зарубин В. В., Ткачев А. А. Методы водораспределения в каналах оросительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: сб. тр. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения). Новочеркасск, 2017. С. 229-232.
7. Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В., Плещенко Т. В. Нейросетевая система управления программируемым аграрным производством с использованием ретроспективных данных и результатов дистанционного зондирования: монография. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2021. 172 с.
8. Айтпаева А. А. Цифровизация сельского хозяйства в контексте повышения конкурентоспособности отечественного АПК // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2019. № 3
9. Кирейчева Л.В., Тимошкин А.Д., Аветисян А.Л. Информационно-коммуникационная система регулирования параметров мелиоративного состояния агроэкосистемы // Природообустройство. 2022. № 3. С. 13-18.
10. Скитер Н.Н., Рогачев А.Ф. Моделирование и анализ эффективности государственного регулирования производственного сектора // Экономические науки. 2010. № 62. С. 28-33.

11. Xie K.-Y. Change in productivity of swards of different forage legume and grass species monocultures and combinations in the semi-arid region of Xinjiang Province // *Acta Prataculturae Sinica*. 2020. № 29 (4). Pp. 29-40.
12. Innovative design solutions to ensure the environmental safety in the existing water intake technological complexes of water systems for urban farms / E. D. Khetsuriani, V. L. Bondarenko, A. I. Yliasov, E. A. Semenova // *IOP Conference Series: materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 698. № 055040.  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/5/055040/pdf>
13. Ben-Shahar O. Data Pollution // *Journal of Legal Analysis*. 2019. Vol. 11. P. 104-159.

### References

1. Kireicheva L. V., Yurchenko I. F. The role of land reclamation in solving the problem of food security in Russia // *Bulletin of the Russian agricultural Science*. 2015. No. 2. pp. 13-15
2. Kardash V.A. Price regulator of compromise market equilibrium in disaggregated models of economic systems // *Modern Economy: problems and solutions*. 2010. No. 4. pp. 128-139.
3. Workshop on mathematical modeling of economic processes in agriculture / A.F. Karapenko, V.A. Kardash, N.S. Nizova, etc. – M.: Agropromizdat, 1985. -269
4. Rogachev A. F. Mathematical modeling of economic dynamics in agricultural production: monograph. Volgograd, 2014. 172 p.
5. Justification of the effectiveness of planning technological processes of water use and operational management of water distribution based on the use of the Monte Carlo method / V. I. Olgarenko, I. F. Yurchenko, I. V. Olgarenko [et al.] // *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Problems of Land Reclamation*. 2018. No. 1 (29). pp. 49-65.
6. Zarubin V. V., Tkachev A. A. Methods of water distribution in irrigation system channels // *Melioration and water management. Ways to improve the efficiency and environmental safety of land reclamation in the South of Russia: collection of tr. based*

on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. (Shumakov readings). Novocherkassk, 2017. pp. 229-232.

7. Rogachev A. F., Melikhova E. V., Pleshchenko T. V. Neural network control system for programmable agricultural production using retrospective data and remote sensing results: monograph. Volgograd: Volgograd State Pedagogical University, 2021. 172 p.

8. Aitpaeva A. A. Digitalization of agriculture in the context of increasing the competitiveness of the domestic agro-industrial complex // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Economics. 2019. № 3

9. Kireicheva L.V., Timoshkin A.D., Avetisyan A.L. Information and communication system for regulating parameters of the reclamation state of the agroecosystem // Nature management. 2022. No. 3. pp. 13-18.

10. Skiter N.N., Rogachev A.F. Modeling and analysis of the effectiveness of state regulation of the production sector // Economic sciences. 2010. No. 62. pp. 28-33.

11. Xie K.-Y. Change in productivity of swards of different forage legume and grass species monocultures and combinations in the semi-arid region of Xinjiang Province // Acta Prataculturae Sinica. 2020. № 29 (4). Pp. 29-40.

12. Innovative design solutions to ensure the environmental safety in the existing water intake technological complexes of water systems for urban farms / E. D. Khetsuriani, V. L. Bondarenko, A. I. Yliasov, E. A. Semenova // IOP Conference Series: materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. № 055040.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/5/055040/pdf>

13. Ben-Shahar O. Data Pollution // Journal of Legal Analysis. 2019. Vol. 11. R. 104-159.

**Для цитирования:** Рогачев Д.А., Юрченко И.Ф. Методические подходы к экономико-математической оптимизации параметров оросительных систем в условиях дефицита водных ресурсов // Московский экономический журнал. 2022.

№ 9. URL: <https://qje.su/rekreacia-i-turizm/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-9-2022-48/>

Московский экономический журнал. № 9. 2022

Moscow economic journal. № 9. 2022

© *Рогачев Д.А, Юрченко И.Ф., 2022. Московский экономический журнал, 2022, № 9.*