

ISSN 2010-7242

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT TEXNOLOGIYALARI
VA KOMMUNIKATSIYALARINI RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI

**INFORMATIKA VA ENERGETIKA
MUAMMOLARI**
O'zbekiston jurnali

Узбекский журнал
**ПРОБЛЕМЫ
ИНФОРМАТИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Uzbek Journal
**OF THE PROBLEMS OF
INFORMATICS AND ENERGETICS**

3

2022

FAN VA TEXNOLOGIYA

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и управление

Т. Мухамедиева. Применение нейронных сетей глубокого обучения в нечетком моделировании.....	3
Э. Охунбобоева, А.С. Кабильджанов, С.Ё. Исмаилов. Робастная идентификация оросительных систем в сельском хозяйстве.....	10
Т. Мухамедиева. Исследование асимптотического поведения решений задач кросс-диффузионных систем.....	17
У. Уллаев, Ш.Н. Нарзуллаев, Э.Ф. Худойбердиев. Математические основы построения способов контроля влажности веществ и методики расширения спектра областей их применения.....	25
Б. Эргашев, И.К. Мухторова. Приближённое решение нелинейных уравнений в математических системах MATCAD И MAPLE.....	38
А. Исмаилов, Ф.О. Касимов, Р.Р. Рахматуллаев. Расчетная модель статических характеристик гидравлических приводов плоских затворов гидротехнических сооружений.....	44

Энергетика

В. Тоиров, С.С. Халиков. Диагностические исследования технического состояния крупных насосных установок.....	52
И. Анарбаев, Р.А. Захидов, А.Н. Коракулов. Использование тепловых насосов в теплоснабжении при добыче и утилизации биогаза на полигонах твердых бытовых отходов.....	61
Х. Хошимов, О.Х. Ишназаров. Способ определения энергоэффективного режима работы устройств воздушного охлаждения.....	71
М. Музафаров, Б.К. Тагаев, В.Е. Балицкий, Ж.Н. Толипов. Стабилизация разрядных процессов в электрических полях стримерной формы коронного разряда.....	77
Т. Меирбекова, Н.Т. Рустамов. К вопросу создания гибридных энергетических систем.....	83

Информационные и телекоммуникационные технологии

В. Кремков, М.В. Воронов. К вопросу информатизации процесса обучения: моделирование структуры знаний учебных текстов.....	91
Ф. Марасулов. Автоматизированная компьютерно-обучающая система самостоятельного интегрированного обучения студентов медицинского вуза.....	96

5. Papadatos G. et al. Activity, assay and target data curation and quality in the ChEMBL database // J. Comput, 2015. T. 29. P. 885–896. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10822-015-9860-5>.
6. Srivastava N. et al. Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting // Machine Learning Res. 2014. T. 15. P. 1929–1958.
7. Wan L. et al. Regularization of neural networks using DropConnect. // Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning, 2013. T. 28. P. 1058–1066.
8. Nair V., Hinton G. E. Rectified linear units improve restricted boltzmann machines // In Proceedings of the 27th International Conference on International Conference on Machine Learning, 2010. P. 807–814.
9. Muxamediyeva D.K. Methods for solving the problem of the biological population in the two-case // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1210 (2019) 012101 doi:10.1088/1742-6596/1210/1/012101.
10. Muxamediyeva D.T. Problems of constructing models of intellectual analysis of states of weakly formalizable processes // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1210 (2019) 012101 doi:10.1088/1742-6596/1210/1/012102.
11. Muxamediyeva D.T. Structure of fuzzy control module with neural network // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN (P): 2249-6890; ISSN (E): 2249-8001 Vol. 9. Issue 2, Apr 2019. P. 649-658 DOI : 10.24247/ijmperdapr201965.

Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и
механизации сельского хозяйства»

Дата поступления
04.10.2021

УДК 519.816

Ч.З.ОХУНБОБОЕВА, А.С.КАБИЛЬДЖАНОВ, С.Ё.ИСМАЙЛОВ

РОБАСТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Рассмотрены методы робастной предобработки экспериментальных данных, синтеза структуры и параметрической идентификации математических моделей оросительных систем сельского хозяйства. Формализована процедура оценки тесноты и формы связи между входными и выходными параметрами технологических процессов оросительных систем в сельском хозяйстве. Описан интеллектуально алгоритмический подход к выбору аппроксимирующих зависимостей при структурной идентификации оптимизационных моделей технологических процессов оросительных систем. На основе метода регуляризации Тихонова решена задача параметрической идентификации оптимизационных моделей технологических процессов оросительных систем. Приведены результаты математического моделирования оросительной системы, занятой процессом выращивания хлопчатника.

Ключевые слова: экспериментальные данные, предварительная обработка оптимизационная модель, структурная идентификация, параметризация, оросительные системы, сельское хозяйство, хлопчатник.

Қишлоқ хўжалиги суғориш тизимларини робаст идентификациялаш

Экспериментал маълумотларни робаст қайта ишлаш усуллари, структурани синтез қилиш ва қишлоқ хўжалиги суғориш тизимларининг математик моделларини параметрик идентификациялаш усуллари кўриб чиқилади. Қишлоқ хўжалигида суғориш тизимлари технологик жараёнларининг кириш ва чиқиш параметрлари ўртасидаги яқинлик ва боғланиш шаклини баҳолаш тартиби расмийлаштирилди. Суғориш тизимларининг технологик жараёнларини оптималлаштириш моделларини тизимли идентификациялашда тақрибий боғлиқликларни таянчга интеллектуал-алгоритмик ёндашув тавсифланган. Тихоновнинг регуляризациялаш усули асосида суғориш тизимларининг технологик жараёнларини оптималлаштириш моделларини параметрик аниқлаш муаммоси ҳал қилинди. Пахта етиштириш жараёнида фойдаланиладиган суғориш тизимини математик моделлаштириш натижалари келтирилган.

Калит сўзлар: экспериментал маълумотлар, дастлабки ишлов бериш, оптималлаштириш модели, структуравий идентификациялаш, параметрлаштириш, суғориш тизимлари, қишлоқ хўжалиги, пахта.

Ch.Z. Okhunboboieva, A.S. Kabildjanov, S.Y. Ismailov

Robust identification of irrigation systems in agriculture

Methods for robust preprocessing of experimental data, structure synthesis and parametric identification of mathematical models of agricultural irrigation systems are considered. The procedure for assessing the closeness and the form of connection between the input and output parameters of technological processes of irrigation systems in agriculture has been formalized. An intellectually-algorithmic approach to the choice of approximating dependencies in the structural identification of optimization models of technological processes of irrigation systems is described. On the basis of Tikhonov's regularization method, the problem of parametric identification of optimization models of technological processes of irrigation systems was solved. The results of mathematical modeling of the irrigation system used for the process of growing cotton are presented.

Keywords: experimental data, preprocessing, optimization model, structural identification, parameterization, irrigation systems, agriculture, cotton.

Введение. Одним из эффективных путей решения проблем рационального использования водных и земельных ресурсов в водном и сельском хозяйстве, повышения урожайности сельскохозяйственных культур является применение методов и средств математического моделирования в оптимизации и управлении технологическими процессами оросительных систем.

Однако применение перечисленных методов на практике встречает ряд трудностей вычислительного характера. Основные трудности при построении математических моделей заключаются в чувствительности большинства методов параметрической идентификации к неоднородности выборки экспериментальных данных и некорректности задачи параметрической идентификации. Преодоление данных трудностей заключается в применении робастной предобработки экспериментальных данных и методов регуляризации при решении задачи параметрической идентификации [1, 2].

Методика решения. Построение математических моделей оросительных систем в сельском хозяйстве может осуществляться в несколько этапов.

На первом этапе производится оценка тесноты и формы связи между входными и выходными параметрами технологического процесса. В соответствии с методикой, описанной в работе [3], задача сводится к определению силы, линейности или нелинейности связи между входными и выходными параметрами. Для этой цели могут быть использованы три критерия:

$$\theta_r = \frac{|r_{xy}|}{\sigma_{r,xy}}; \quad (1)$$

$$\theta_{\eta} = \frac{|\eta_{xy}|}{\sigma_{\eta_{xy}}} \quad (2)$$

$$F = \frac{N-k}{k-2} \frac{\eta_{xy}^2 - r_{xy}^2}{1-\eta_{xy}^2} \quad (3)$$

где r_{xy} – коэффициент корреляции между входным и выходным параметрами; η_{xy} – дисперсионное отношение выходного параметра относительно входного параметра объекта; $\sigma_{r_{xy}}, \sigma_{\eta_{xy}}$ – среднеквадратические отклонения коэффициента корреляции и дисперсионного отношения; N – объем выборки экспериментальных данных; k – число интервалов, на которые разбивается вся выборка экспериментальных данных.

Оценка тесноты и формы связи между входным и выходным параметрами осуществляется по следующим правилам.

Правило 1. Если значение $\theta_r \geq 2.56$, то с вероятностью $P=0.95$ можно утверждать, что между выходным и входным параметрами объекта существует линейная связь. Если $\theta_{\eta} \geq 2.56$, то с вероятностью $P=0.95$ можно утверждать, что связь нелинейная. Если $\theta_r \leq 2.56$ и $\theta_{\eta} > 2.56$, то между выходным и входным параметрами объекта также существует нелинейная связь. Если $\theta_r \leq 2.56$ и $\theta_{\eta} \leq 2.56$, то считается, что выходной и входной параметры объекта являются независимыми и входной параметр рассматривается как незначимый.

Правило 2. Если расчетное значение критерия Фишера $F_{расч}$ окажется меньше табличного $F_{табл}$ (табличное значение выбирается для значений чисел степеней свободы $f_1=N-k, f_2=k-2$ и уровня значимости $p=0.05$), то считается, что расхождения между коэффициентом корреляции и дисперсионным отношением является случайным, а связь между параметрами линейной.

На втором этапе осуществляются робастная предобработка экспериментальных данных и параметрическая идентификация математической модели технологического процесса.

При предварительной обработке экспериментальных данных, обеспечивающей робастность последующего решения задачи параметрической идентификацией, в качестве базового используется метод медианных оценок [4]. В соответствии с данным методом вся выборка значений входных $x_i; i = \overline{1, n}$ и выходного y параметров технологического процесса разбивается на L классов, число которых определяется по правилу Стерджесса $L = INT(1 + 3.322 \lg N)$.

Применительно к каждой паре выходного и входного параметров технологического процесса определяются центры классов ($x_{il}^*; i = \overline{1, n}; y_l^*; l = \overline{1, L}$), как медианы вариационных рядов, состоящих из пяти оценок абсцисс $\overline{x_{il}}, x_{il}^c, x_{il}^p, x_{il}^m, \overline{x_{il}^{0.5}}$ и ординат $\overline{y_l}, y_l^c, y_l^p, y_l^m, \overline{y_l^{0.5}}$.

Пять оценок абсцисс и ординат определяются по формулам, систематизированным в табл. 1.

На третьем этапе решается задача структурной идентификации технологического процесса.

Математическая модель оросительной системы, занятой под выращивание сельскохозяйственной культуры, задается в виде уравнения аддитивной регрессии

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n f_i(x_i, a) \quad (4)$$

где y – выходной параметр (урожайность); x_i – i -й входной параметр (количество воды, идущей на орошение; количество азотистых, фосфорных и других видов удобрений и т.д.); a – параметры математической модели.

Таблица 1

Формулы по определению пяти оценок абсцисс и ординат

№	Формы вычисления оценок абсцисс	Формы вычисления оценок ординат	Примечание
1	2	3	4
1	$\bar{x}_{il} = \frac{1}{n_l} \sum_{j=1}^{n_l} x_{ij}$	$\bar{y}_{il} = \frac{1}{n_l} \sum_{j=1}^{n_l} y_{ij}$	Среднее арифметическое для l -го класса; n_l — число экспериментальных данных в l -м классе
2	$x_{il}^c = \frac{(x_{il}^{0.25} + x_{il}^{0.75})}{2}$	$y_{il}^c = \frac{(y_{il}^{0.25} + y_{il}^{0.75})}{2}$	Центр сгиба; $x_{il}^{0.25}, x_{il}^{0.75}, y_{il}^{0.25}, y_{il}^{0.75}$ — 25% и 75% квантили для l -го класса соответственно
3	$x_{il}^p = (x_{il_1} + x_{il_{n_l}})/2$	$y_{il}^p = (y_{il_1} + y_{il_{n_l}})/2$	Центр размаха для l -го класса
4	$x_{il}^m = x_{il_k};$ $k = \text{int}(n_l/2)$	$y_{il}^m = y_{il_k};$ $k = \text{int}(n_l/2)$	Медиана для l -го класса; int — знак операции округления в сторону ближайшего целого
5	$\bar{x}_{il}^{0.5} = \frac{2}{n_l} \sum_{j=j_1}^{n_l} x_{ij}$	$\bar{y}_{il}^{0.5} = \frac{2}{n_l} \sum_{j=j_1}^{n_l} y_{ij}$	Среднее арифметическое 50% наблюдений; $j_1 = \text{int}(0.25n_l);$ $n_l = \text{int}(0.75n_l)$

При этом в уравнение математической модели включаются только значимые входные параметры технологического процесса, определенные на первом этапе.

В задачу структурной идентификации входит определение вида однофакторных функциональных зависимостей $f_i(x_i, a); i = \overline{1, n}$ по экспериментальным данным. Решение этой задачи может быть осуществлено по следующему алгоритму [5]:

1) Вычисляются средние арифметические, геометрические и гармонические значения для x и y :

$$\bar{x}_{ap} = \frac{x_1 + x_2}{2}; \bar{x}_{geom} = \sqrt{x_1 \cdot x_2}; \bar{x}_{гарм} = \frac{2 \cdot x_1 \cdot x_2}{x_1 + x_2}; \quad (5)$$

$$\bar{y}_{ap} = \frac{y_1 + y_2}{2}; \bar{y}_{geom} = \sqrt{y_1 \cdot y_2}; \bar{y}_{гарм} = \frac{2 \cdot y_1 \cdot y_2}{y_1 + y_2}. \quad (6)$$

По вычисленным $\bar{x}_{гарм}, \bar{x}_{геом}, \bar{x}_{ар}$ на рис. 1, либо интерполированием определяются соответствующие им значения функции: y_1^*, y_2^* и y_3^* .

2) Вычисляются значения невязок

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = |y_1^* - \bar{y}_{ар}|; \varepsilon_2 = |y_1^* - \bar{y}_{геом}|; \varepsilon_3 = |y_1^* - \bar{y}_{гарм}|; \varepsilon_4 = |y_2^* - \bar{y}_{ар}|; \\ \varepsilon_5 = |y_2^* - \bar{y}_{геом}|; \varepsilon_6 = |y_2^* - \bar{y}_{гарм}|; \varepsilon_7 = |y_3^* - \bar{y}_{гарм}|. \end{cases} \quad (7)$$

3) Выбирается значение $\varepsilon_{\min} = \min_{i=1,7} \varepsilon_i$.

4) По полученному минимальному значению ε_{\min} производится выбор вида функциональной зависимости в соответствии с правилом, систематизированным в табл. 2.

На четвертом этапе решается задача параметрической идентификации математической модели, в ходе которой используются полученные значения центров классов.

Таблица 2

Правила выбора функциональных зависимостей

№	ε_{\min}	Вид функции	Тип функциональной зависимости
1	2	3	4
1	ε_1	$y = a + b \cdot x$	Линейная функциональная зависимость
2	ε_2	$y = a \cdot b^x$	Показательная функциональная зависимость
3	ε_3	$y = \frac{1}{a + bx}$	Дробно-рациональная функциональная зависимость
4	ε_4	$y = a + b \cdot \ln(x)$	Логарифмическая функциональная зависимость
5	ε_5	$y = a + x^b$	Степенная функциональная зависимость
6	ε_6	$y = a + b / x$	Гиперболическая функциональная зависимость
7	ε_7	$y = \frac{x}{a + bx}$	Дробно-рациональная функциональная зависимость

Задача параметрической идентификации решается одним из методов нелинейного программирования в следующей постановке:

$$F(a) = \rho(a) + \alpha \|a\|_2^2 \rightarrow \min_{a \in \Omega}, \quad (8)$$

где $\rho(a) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \xi_i)^2$ – функция невязки между экспериментальными y_i и

найденными по модели ξ_j значениями выходного параметра; $\|a\|_2^2 = \sum_{i=0}^n a^2$ –

стабилизатор; $\alpha > 0$ – параметр регуляризации, значение которого определяется на основе итерационного алгоритма; Ω – область допустимых решений, задаваемая прямыми ограничениями на параметры модели

$$a_{j,\min} \leq a_j \leq a_{j,\max}; j = \overline{1, e}.$$

Результаты практического применения. Приведенная выше методика робастной идентификации и оптимизации была применена к оросительной системе, занятой под выращивание хлопчатника.

Программная реализация алгоритмов решения задач робастной предварительной обработки экспериментальных данных и идентификации производилась в среде MATLAB 2015 на компьютере с процессором Intel(R) Core(TM) i5-9400 CPU @ 2.90GHz и оперативной памятью объемом 8.00 ГБ.

Вектор входных параметров технологического процесса включал: оросительную норму на комплексный гектар x_1 (тыс. м³/Га), денежные затраты x_2 (тыс. сум/Га), затраты азотных удобрений x_3 (Т/Га), затраты фосфорных удобрений x_4 (Т/Га), затраты труда x_5 (чел. □ дней/Га).

Результаты оценки тесноты и формы связи между выходным параметром y_1 и входными параметрами $x_1 \div x_5$ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Оценки тесноты и формы связи между выходным и входными параметрами

Входные параметры	r_{xy}	θ_r	θ_η	$F_{\text{расч.}}, F_{\text{табл.}} = 2,93$	Форма связи
x_1	0.60	2.363	5.403	3.5	Нелинейная
x_2	0.26	4.356	1.490	1.4	Линейная
x_3	0.36	3.924	2.336	1.2	Линейная
x_4	0.45	5.356	2.234	1.3	Линейная
x_5	0.25	2.599	1.456	1.5	Линейная

$$F_{расч.} = \frac{S_{ад.}^2}{S_y^2} = \frac{\frac{1}{N-z} \sum_{j=1}^N [y_j^o - y_j^м]^2}{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N [y_j^o - m_y]^2}, \quad (11)$$

где N – объем выборки экспериментальных данных; z – количество значимых коэффициентов уравнения регрессии; m_y – математическое ожидание выходного параметра.

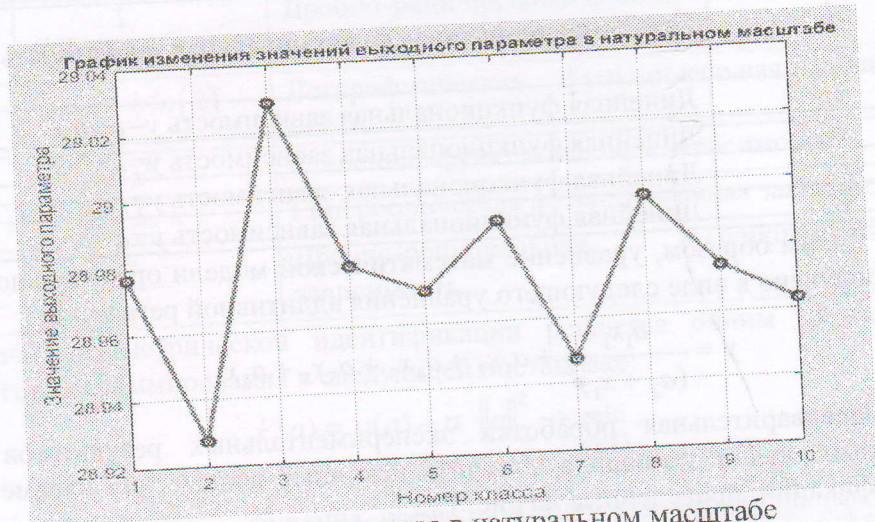


Рис. 2. График выходного параметра в натуральном масштабе

Табличное значение критерия Фишера выбиралось при степенях свободы: $f_1=N-z$, $f_2=N-1$ и уровне значимости $p=0.05$.

Окончательные результаты параметрической идентификации приведены в табл. 5 и на рис. 3.

Таблица 5

Значения коэффициентов и критериев адекватности уравнения регрессии (5)						Среднеквадратическое отклонение	$F_{расч.} = 3.6$ $F_{табл.} = 0.0340$
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6		
420.06	6.49	$2 \cdot 10^{-8}$	0.075	0.075	0.01505	0.0011	

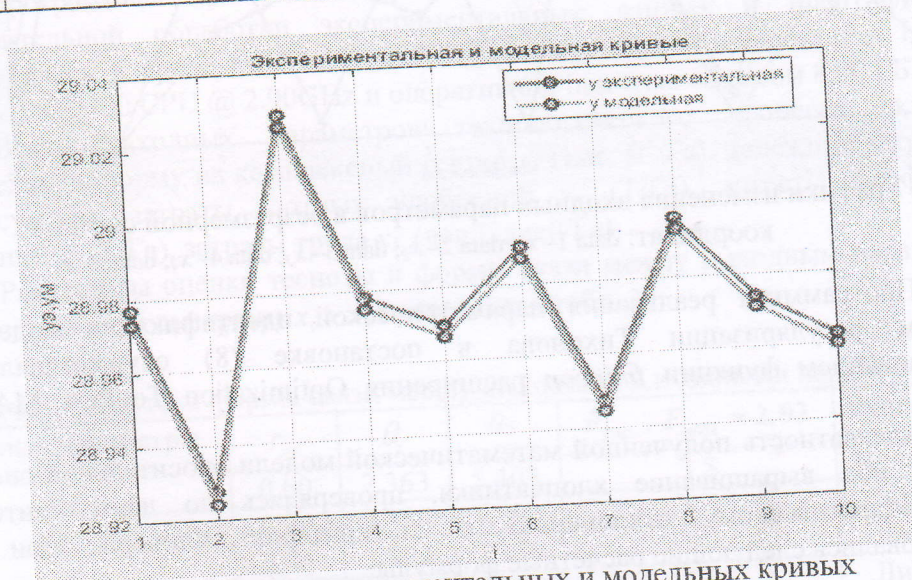


Рис.3. Графики экспериментальных и модельных кривых выходного параметра

Заключение. Осуществленная алгоритмизация описанных выше этапов синтеза математических моделей оросительных систем позволяет автоматизировать процедуры выбора существенных входных параметров, структурной и параметрической идентификации.

Программная реализация разработанных алгоритмов позволила получить математическую модель оросительной системы, задействованной под выращивание хлопчатника, которая отвечает основным требованиям: компактности и адекватности.

Таким образом, можно сделать вывод, что рассмотренная методика, алгоритмы и программные средства ее реализации позволяют эффективно решать задачу синтеза математических моделей оросительных систем в сельском хозяйстве.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоиздат, 1991.– 304 с.
2. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация. М.: Наука, 1990. –230 с.
3. Райбман Н.С. Что такое идентификация? М.: Наука, 1970.–118 с.
4. Кабильджанов А.С. Интеллектуально-алгоритмический подход к построению статических моделей объектов управления // Журнал «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент, 2009. № 6. С. 11–15.
5. Kabildjanov A.S., Okhunboboyeva Ch.Z. Synthesis of optimization models of multidimensional objects in conditions of inhomogeneity of statistics experimental data // Journal of «Sustainable Agriculture». Tashkent, 2018. №1. P. 52–57.

Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и
механизации сельского хозяйства»

Дата поступления
20.09.2022

УДК 577.3.01; 577.38

Д.К.МУХАМЕДИЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ КРОСС-ДИФфуЗИОННЫХ СИСТЕМ

В настоящей статье исследованы вопросы глобальной разрешимости задачи биологической популяции типа Колмогорова–Фиппера и качественные свойства решения задачи на основе автомодельного анализа. Рассмотрены модели двух конкурирующих популяций с двойной нелинейной диффузией. Предложены подходящие начальные приближения для быстросходимого итерационного процесса. Обосновано, что моделирование процессов роста диссипативных структур в реакционно-диффузионных системах вносит вклад в развитие теоретических представлений о колониальной организации популяций.

Ключевые слова: кросс-диффузия, биологическая популяция, параболическая система квазилинейных уравнений, начальное приближение, численное решение, итерационный процесс, автомодельные решения.