

ISSN 2010-7242

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR  
VAZIRLIGI

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

Узбекский журнал  
**ПРОБЛЕМЫ  
ИНФОРМАТИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Uzbek Journal

**OF THE PROBLEMS OF  
INFORMATICS AND ENERGETICS**

**3**

**2025**

FAN VA TEXNOLOGIYA

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI  
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR  
VAZIRLIGI  
МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН

ИНФОРМАТИКА  
VA ENERGETIKA  
MUAMMOLARI

3·2025

---

ПРОБЛЕМЫ  
ИНФОРМАТИКИ  
И ЭНЕРГЕТИКИ

*Журнал под таким названием издается с января 1992 г.  
по 6 номеров в год*

Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi

ТАШКЕНТ– 2025

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Ш.Х. ФАЗЫЛОВ (*главный редактор*)  
Х.М. МУРАТОВ (*зам. главного редактора*)  
Б.М. АЗИМОВ (*ответственный секретарь*)  
О.З.ТОИРОВ (*ответственный секретарь*)  
Ф.Т.АДЫЛОВА  
С.Ф.АМИРОВ  
Р.А.ЗАХИДОВ  
Х.З.ИГАМБЕРДИЕВ  
М.А. ИСМАИЛОВ  
О.Х.ИШНАЗАРОВ  
А.В.КАБУЛОВ  
М.М. КАМИЛОВ  
А.Р.КАРПЕНКО  
Н.М.МИРЗАЕВ  
М.М.МУСАЕВ  
В.Н.ОПАНАСЕНКО  
С.А.САДУЛЛАЕВ  
В.В.СТАРОВОЙТЕВ  
Л.Ф.СУЛЮКОВА  
Г.Н.УЗАКОВ  
С.С.ХАЛИКОВ  
Р.Х.ХАМДАМОВ  
А.А.ШАВАЗОВ

*Адрес редакции:*

100173, г.Ташкент, ул.Фозилтепа, 22б

*Телефоны* +998 90 927 72 13, +998 90 965 43 28

*e-mail:* [informatika-energetika@mail.ru](mailto:informatika-energetika@mail.ru)

«Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi»

ТАШКЕНТ – 2025

УДК 004.93

**А.А.ОРЛОВ, С.С.САДЫКОВ, И.Р.САМАНДАРОВ**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХОХА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

В статье рассмотрены вопросы создания эффективных методов и алгоритмов предварительной обработки и выделения структурных элементов реальных полутонных изображений и объектов на них с помощью преобразования Хоха. Исследованы и практические возможности разработанных алгоритмов на тестовых и реальных изображениях. Кроме того, указано их применение для решения конкретных задач в различных областях, где проводится визуальный анализ по различным изображениям и снимкам: для выделения областей зерен на микроскопических снимках металлов и сплавов для дальнейшего автоматического анализа их внутренней структуры; для выделения объектов на ультразвуковых снимках при дальнейшем определении их характеристик.

**Ключевые слова:** полутонное изображение, анализ изображения, цифровая обработка изображений, предварительная обработка изображений, структурный подход распознавания изображений, микроскопический снимок, микроструктура металлов и сплавов.

**A.A.Orlov, S.S.Sodiqov, I.R.Samandarov**

### **Yarim tonli tasvirlarning tarkibiy elementlarini ajratib ko'rsatish uchun Xoxa transformatsiyasini qo'llash**

Maqolada Xox transformatsiyasi yordamida haqiqiy yarimtonli tasvirlar va obyektning tarkibiy elementlarini oldindan qayta ishlash va ajratib olishning samarali usullari va algoritmlarini yaratish masalalari muhokama qilinadi. Shuningdek, ishlab chiqilgan algoritmlarning sinov va haqiqiy muammolar bo'yicha amaliy imkoniyatlari o'rganildi va tasvirlandi. Bundan tashqari, ularning turli xil tasvirlar va tasvirlar bo'yicha vizual tahlil o'tkaziladigan turli sohalardagi aniq muammolarni hal qilish uchun qo'llanilishi ko'rsatilgan: metall va qotishmalarning mikroskopik tasvirlarida zarra maydonlarini ajratib ko'rsatish, ularning ichki tuzilishini avtomatik ravishda tahlil qilish; ularning xususiyatlarini yanada aniqlash uchun ultratovush tasvirlaridagi obyektlarni ajratib ko'rsatish.

**Kalit so'zlar:** yarim tonli tasvir, tasvirni tahlil qilish, tasvirni raqamli qayta ishlash, tasvirni dastlabki qayta ishlash, tasvirni aniqlashning strukturaviy yondashuvi, mikroskopik tasvir, metall va qotishmalarning mikro tuzilishi.

**A.A.Orlov, S.S.Sadykhov, I.R.Samandarov**

### **Application of the Hoxh transformation for detecting structural elements of half-tone images**

The article discusses the issues of creating effective methods and algorithms for pre-processing and detecting structural elements of real half-tone images and objects on them using the Hoxh transformation. The practical capabilities of the developed algorithms are also investigated and illustrated using test and real images. In addition, their applications are specified for solving specific problems in various fields where visual analysis is performed on various images and photographs: for selecting grain areas on microscopic photographs of metals and alloys for further automatic analysis of their internal structure; for selecting objects on ultrasonic photographs for further determination of their characteristics.

**Keywords:** halftone image, image analysis, digital image processing, image preprocessing, structural approach to image recognition, microscopic image, microstructure of metals and alloys.

**ВВЕДЕНИЕ.** Актуальность проблемы. Основными подходами в теории распознавания образов являются геометрический и структурный. Многие задачи распознавания изображений и объектов на них не могут быть решены методами достаточно развитого и широко используемого геометрического подхода. Поэтому в последние годы в теории распознавания образов большое внимание уделяется вопросам разработки структурных методов распознавания [1–12]. При этом успешно решаются задачи структурного распознавания модельных изображений и объектов на них. Сложным оказалось решение практических задач структурного распознавания реальных полутоновых изображений. Это связано с тем, что выходные данные подавляющего большинства существующих методов и алгоритмов выделения структурных элементов изображений и объектов на них не удовлетворяют требованиям методов и алгоритмов структурного распознавания. В связи с этим актуальным является создание эффективных методов и алгоритмов предварительной обработки и выделения структурных элементов реальных полутоновых изображений и объектов на них.

Классическое преобразование Хоха было предложено для аппроксимации множества точек на бинарном изображении прямыми линиями [1]. Прямая линия задается в параметрической форме в виде уравнения  $x\cos(\theta)+y\sin(\theta)=\rho$ , где  $\rho$  – расстояние, измеренное от начала координат по нормали к прямой;  $\theta$  – угол наклона этой нормали относительно оси X. Идея преобразования Хоха состоит в том, что для каждой точки пространства параметров суммируется количество голосов, поданных за нее, т.е. число точек исходного пространства, порождающих отклики в пространстве параметров, проходящее через данную точку  $(\rho, \theta)$ . После проведения голосования для всех точек координаты ячеек в пространстве параметров, набравшие максимальные значения, будут соответствовать параметрам линий, содержащихся на изображении.

**Разработка алгоритмов.** В данной статье рассмотрены модификации преобразования Хоха для повышения эффективности обработки изображений, преобразования Хоха для кривых высших порядков, обобщенное преобразование Хоха для выделения неаналитически заданных кривых, обнаружения объектов, заданных гладкими кривыми, сегментация изображений с использованием преобразования Хоха.

Приведем методы и алгоритмы обработки и анализа изображений.

*Алгоритм измерения шума и выбора порога бинаризации градиентных изображений.* Алгоритм основан на анализе гистограммы градиентного изображения. Порог выбирается по критерию – максимальное подавление шума при максимальном сохранении полезного сигнала и соответствует  $\sqrt{3}\sigma$ .  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение шума:

$$\sigma : S_{\sigma} = \max_{\sigma_i} (S_{\sigma_i}), \quad (1)$$

где  $S_{\sigma_i}$  – свертка гистограммы и эталона (плотности распределения шума на градиентном изображении) при различных значениях  $\sigma$ .

*Алгоритм обнаружения отрезков линий на полутоновых изображениях.* Основан на преобразовании Хоха, позволяя выделять сегменты границ толщиной в один элемент. Определяются позиция и ориентация каждого сегмента. Обобщенное преобразование Хоха для распознавания отрезков линий в непрерывном пространстве принимает следующий вид:

$$H(x, y, q) = \iint_R f_s(x, y)Q(x', y', q)dx dy, \quad (2)$$

где  $f_s(x, y)$  – градиентное изображение;  $Q$  – эталон, представляющий сегмент границы;  $R$  – область изображения;  $q$  – угол наклона эталона;  $x', y'$  – координаты эталона, полученные с помощью аффинного преобразования.

*Алгоритм построения осевых линий на полутоновых изображениях.* Основан на преобразовании Хоха, позволяя получить единственный отклик на профиль линии (полосы). Определяются позиция, ширина и ориентация каждого сегмента границы. Для автоматического определения толщины контура вводится двумерный фильтр  $F$ , который сопоставляется с эталоном  $Q$ :

$$H(x, y, q, k) = \iint_R f_s(x, y)F(x', y', q, k)dx dy, \quad (3)$$

где  $k$  – ширина сегмента границы

*Алгоритм непосредственного выделения границ объектов на полутоновых изображениях с помощью преобразования Хоха.* Алгоритм позволяет получить единственный отклик на профиль границы. Из параметрического пространства  $H^K(x, y, q, w)$  определяются позиция  $(x, y)$ , длина  $l$ , ширина  $w$  и ориентация  $q$  каждого сегмента границы, используемые для дальнейшей обработки и анализа изображения. Параметрическое пространство формируется с помощью обобщенного преобразования Хоха:

$$H^K(x, y, q, w) = \iint_R f(x, y)F(x', y', q, w)dx dy, \quad (4)$$

где  $f(x, y)$  – исходное двумерное полутоновое изображение;  $F(x', y', q, w)$  – ступенчатый фильтр (детектор границы).

Таким образом, производится суммирование значений ячеек в окрестности каждой точки изображения вдоль каждого направления и занесение полученного результата в соответствующую ячейку параметрического пространства. Производя анализ яркости точек сегмента границы, в зависимости от уровня шума на исходном изображении исключаются из рассмотрения точки, не принадлежащие контурному перепаду. Параметры сегментов определяются в зависимости от максимального значения в параметрическом пространстве.

Непосредственное применение преобразования Хоха к исходному полутоновому изображению (без использования предобработок) позволяет сохранять значительно полезную информацию.

Возможно получение изображения утонченных границ. Граничная точка определяется как центр контурного перепада. Бинаризация изображения осуществляется с порогом, выбранным в зависимости от уровня шума, где значение порога  $p$  находится по гистограмме этого же изображения. Контурное изображение является бинарным и формируется следующим образом:

$$f_1(x, y) = \begin{cases} 1, & \iint_R H^K(x, y, q_{\max}, w_{\max})F(x', y', q_{\max}, w_{\max})dx dy = 0 \text{ \&} \\ H^K(x, y, q_{\max}, w_{\max}) > p, \\ 0, \end{cases} \quad (5)$$

где  $x, y, q_{\max}, w_{\max}$  – параметры найденного сегмента контурного перепада.

На основе анализа параметрического пространства разработаны следующие алгоритмы: соединения контурных точек; подавления шума на полутоновых

изображениях; подчеркивания границ объектов на полутоновых изображениях; восстановления полутоновых изображений из контурного препарата; алгоритмы выделения областей.

*Алгоритм соединения контурных точек* (прослеживание) позволяет преобразовывать выделенные границы в цепной код. Алгоритм основан на использовании параметрических пространств, получаемых в методе выделения линейных объектов или в методе непосредственного выделения границ, а также критерии смежности сегментов. Два сегмента (точки) являются смежными, т.е. подлежат объединению, если

$$\begin{aligned} (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 &\leq d^2, \\ (x_1 - x_2) \cos q_1 + (y_1 - y_2) \sin q_1 &= 0, \\ |(x_1 - x_2) \sin q_1 - (y_1 - y_2) \cos q_1| &\leq 1, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $d$  – расстояние между точками  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$ ;  $q_1$  – ориентация сегмента в точке  $(x_1, y_1)$ .

Первый сегмент должен также обладать свойствами (6) по отношению ко второму. С помощью разработанного алгоритма осуществляется выделение безразрывных контурных линий на полутоновых изображениях.

*Алгоритм подавления шума на полутоновых изображениях* обеспечивает фильтрацию аддитивного шума как на однородных областях изображений, так и в зонах перепадов, без смазывания границ:

$$H_2(x, y) = \begin{cases} \frac{\sum_i H(x_i, y_i, q(x, y))}{N}, & H^K(x, y, q_{\max}, w_{\max}) > p, \\ \frac{\sum_j f(x_j, y_j)}{M}, & \end{cases} \quad (7)$$

где  $H_2(x, y)$  – выходное изображение;  $(x_i, y_i)$  – координаты точек сегмента границы;  $q(x, y)$  – ориентация сегмента границы в точке  $(x, y)$ ;  $N$  – количество точек в сегменте границы;  $(x_j, y_j)$  – координаты точек однородной области;  $M$  – количество точек в однородной области.

*Алгоритм подчеркивания границ объектов на полутоновых изображениях* позволяет устранять зоны перепадов для четкого выявления объектов. Метод также основан на обобщенном преобразовании Хоха и использует параметрическое пространство, получаемое в методе непосредственного выделения границ. В зависимости от уровня шума, изображение делится на области перепадов яркости и на однородные области. Однородные области сглаживаются, а области перепадов делятся по линии границы и сливаются с соответствующими однородными областями. Таким образом, формируется изображение с удаленным шумом и четко выделенными границами:

$$H_2(x, y) = \begin{cases} H_3(x_i, y_i), & H^K(x, y, q_{\max}, w_{\max}) > p, \\ \frac{\sum_j f(x_j, y_j)}{M}, & \end{cases} \quad (8)$$

где  $H_3(x, y)$  – максимальное или минимальное значение яркости в контурном перепаде.

Алгоритм восстановления полутоновых изображений из контурного препарата позволяет получить из внешних и внутренних контуров объектов и яркости в этих точках полутоновое изображение, близкое по своим характеристикам к исходному изображению. Таким образом, появляется возможность сжатия и векторного редактирования полутонового изображения. Восстановление полутонового изображения возможно как многократная фильтрация:

$$h'(x, y) = \begin{cases} g(x, y), M(x, y) = 1, \\ \frac{\sum_i b(x_i, y_i)}{N}, \end{cases} \quad (9)$$

где  $(x_i, y_i)$  – точка окрестности точки  $(x, y)$ ;  $N$  – количество точек в этой

окрестности;  $b(x, y) = \begin{cases} g(x, y), M(x, y) = 1, \\ h(x, y), \end{cases}$   $h'(x, y), h(x, y)$  – старое и новое

значение в точке  $(x, y)$ ;  $g(x, y)$  – яркость точки  $(x, y)$ ,

$M(x, y) = \begin{cases} 1, (x, y) – точка границы контурного перепада, \\ 0. \end{cases}$

Алгоритм квантования мод гистограмм полутоновых изображений, основанный на корреляционном сравнении каждой моды с эталоном, позволяет найти оптимальные пороги квантования. Алгоритм представляет собой многократное сглаживание гистограммы, где при увеличении значения среднеквадратического отклонения уменьшается количество распознаваемых мод:

$$k'(f, g) = \sum f(k)g(l), \quad (10)$$

где  $f(k), g(l)$  – значения гистограммной и эталонной функций соответственно.

Алгоритм применим, если на исходное изображение наложен аддитивный шум, подчиняющийся определенному закону распределения.

Алгоритм подчеркивания границ объектов на полутоновых изображениях позволяет сформировать изображение, которое можно использовать для дальнейшей обработки. Применение алгоритма квантования мод на полученном изображении позволяет четко выделить границы объектов.

Алгоритмы наращивания областей, основанные на предобработке исходного изображения (подчеркивания границ): алгоритм выделения на изображении однородных и алгоритм выделения неоднородных по яркости областей с хаотичным распределением яркости на всем изображении, где невозможно выделить доминирующие уровни яркости. Алгоритм заключается в формировании исходных областей и их последующего объединения ( $D_k = D_i \cup D_j$ ) по заданному критерию:

по яркости  $|I(D_i) - I(D_j)|$ ;

по градиентному признаку  $\sum_{(x,y) \in L} f_s(x, y)$ ;

где  $D_i, D_j$  – две смежные области;  $D_k$  – формируемая область, где  $L$  – линия границы областей;  $I(D) = \sum_{(x,y) \in D} f(x, y)$  – среднее значение яркости в области  $D$ ;

$f_s(x, y)$  – градиентное изображение.

Объединение областей по яркости осуществляется тогда, когда заранее известно, что все точки на каждом объекте на исходном изображении имеют примерно одинаковую яркость. При неравномерном распределении яркости необходимо применять наращивание областей по градиентному признаку.

**Исследование алгоритмов на тестовых изображениях.** Разработан и обоснован алгоритм формирования тестовых изображений, которые необходимы для оценки качества работы разработанных алгоритмов. Сформированы полутоновые тестовые изображения, содержащие объекты различной яркости, формы, площади, ориентации и т.д., что позволяет оценить качество разработанных и известных алгоритмов.

Результаты исследования алгоритма измерения шума (1) на тестовом изображении показывают высокую точность разработанного алгоритма, что подтверждается сравнением известных характеристик шума с измеренными характеристиками (среднее отклонение среднеквадратического отклонения шума (СКО) от реальных значений: 0.21% на фоне и 0.21% на изображении с объектами). Проводились исследования на различных тестовых изображениях: на изображениях с разным уровнем шума и количеством объектов.

Результаты исследования разработанных алгоритмов выделения границ объектов, основанных на формулах (5 - 6), на тестовых и реальном изображении (портретном снимке, взятом в качестве сложного полутонового изображения) показывают, что разработанные алгоритмы производят более качественное выделение границ, чем другие алгоритмы. Алгоритм непосредственного выделения границ (4, 5) обеспечивает определение утонченного контура каждого объекта с сохранением границ с высокой кривизной и границ мелких объектов. Алгоритм позволяет обнаружить яркостной перепад различной ширины и получить границу с наименьшим количеством разрывов. Интегрирование вдоль границы объектов уменьшает влияние шума, что позволяет взять порог бинаризации намного ниже, чем в известных методах, использующих локальные градиентные операторы, и выделить менее контрастные контуры. Прослеживание также позволяет снизить порог бинаризации и получить контуры большей длины. Алгоритмы наращивания областей обеспечивают лучший результат по сравнению с методом квантования мод. Это объясняется тем, что моды на гистограмме не удается разделить полностью. Поэтому для получения лучшего результата сначала необходимо выполнить наращивание областей, а потом квантование мод. Квантование мод в этом случае необходимо для классификации объектов на заданное количество видов. На результатах же известных алгоритмов наблюдаются ложные границы, вызванные зонами перепадов. На рис. 1 представлены результаты обработки тестового изображения и портретного снимка с помощью известных и разработанных алгоритмов.

За основную оценку качества выделения границ на тестовых изображениях взято отношение количества контурных точек, которые не совпали с идеальной границей  $N_2$ , к количеству контурных точек, которые совпали с идеальной

границей  $N_1$  ( $R = \frac{N_2}{N_1}$ ). При обработке тестового зашумленного (СКО=5)

изображения концентрических фигур лучшими оказались: алгоритм непосредственного выделения границ с помощью преобразования Хоха ( $R=0.004$ ); алгоритм получения безразрывных границ соединением точек перепадов ( $R=0.002$ ); метод наращивания областей, основанный на предобработке исходного

изображения с помощью преобразования Хоха ( $R=0.002$ , когда локальные градиентные операторы обеспечивают  $R=0.066$ ).

Результаты исследования разработанного алгоритма подавления шума (7) показывают, что разработанный алгоритм подавляет шум качественней, чем другие фильтры. За оценку качества подавления шума взято среднеквадратичное отклонение яркости тестового изображения до зашумления и после подавления шума ( $K$ ). Производилось сравнение разработанного метода ( $K=2.307$ ) с известными: усредняющим ( $K=5.944$ ), медианным ( $K=4.623$ ), сигма- фильтром ( $K=3.607$ ).

Результаты исследования алгоритма восстановления полутонового изображения из контурного препарата (9) показывают высокую точность восстановления и эффективность сжатия при малом количестве контуров. Оценка производилась на основе вычисления среднеквадратичного отклонения (3.11 – на тестовом, 3.12 – на реальном изображении) и коэффициента сжатия (4.90 – на тестовом, 1.55 – на реальном изображении).

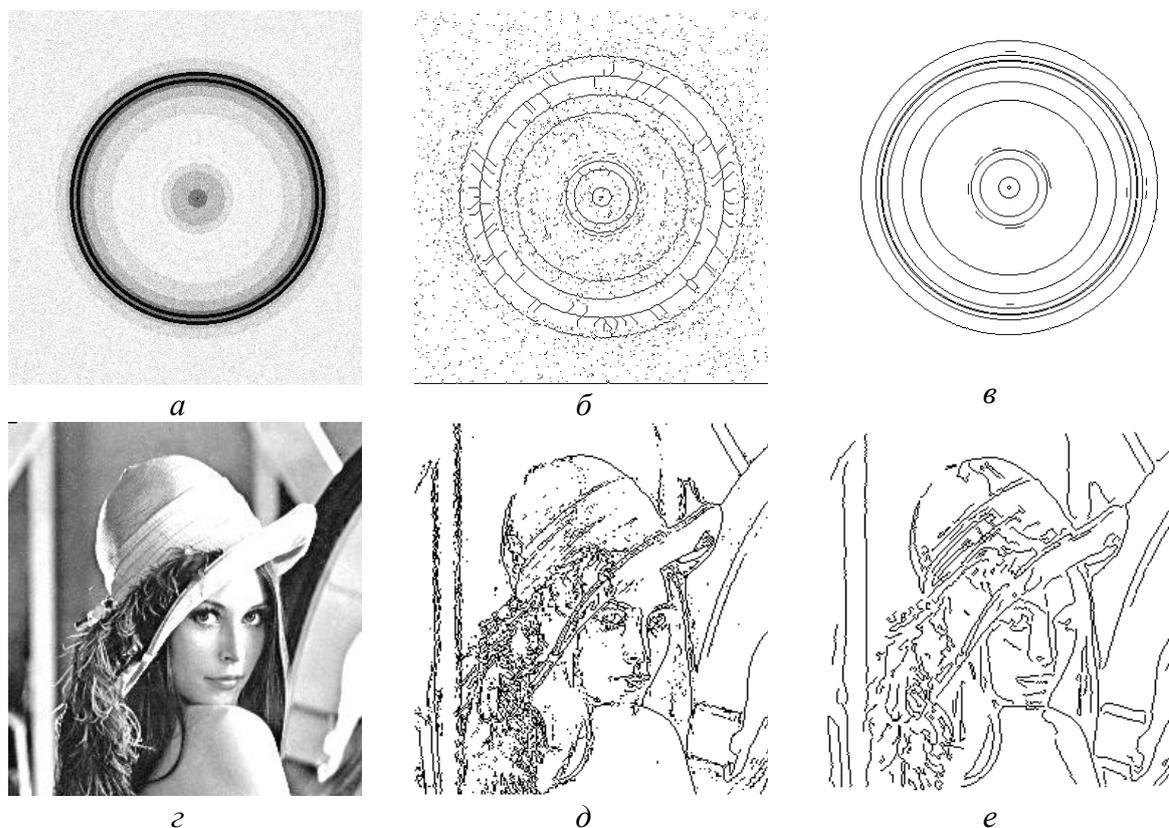


Рис. 1. Результаты выделения границ (*a* – исходное тестовое зашумленное изображение концентрических окружностей; *б* – результат выделения границ с помощью оператора Собела; *в* – результат разработанного алгоритма выделения безразрывных границ, основанного на преобразовании Хоха и соединении точек перепадов; *г* – исходный портретный снимок; *д*, *е* – результаты выделения границ с помощью фильтра Канни и разработанного алгоритма выделения безразрывных границ соответственно)

**Практическое применение.** Проведены работы для обработки и анализа различных изображений: микроскопических снимков шлифов металлов и сплавов, снимков поверхности деталей, рентгеновских снимков сварных швов,

аэроснимков, ультразвуковых (УЗ), медицинских рентгеновских снимков, ангиограмм, томограмм, флюорограмм.

*Результаты обработки изображения шлифа металла.* Разработанные алгоритмы сегментации изображения на основе наращивания областей и квантования мод и преобразования Хоха обеспечивают выделение областей зерен на микроскопических снимках металлов и сплавов для дальнейшего автоматического анализа их внутренней структуры (рис. 2).

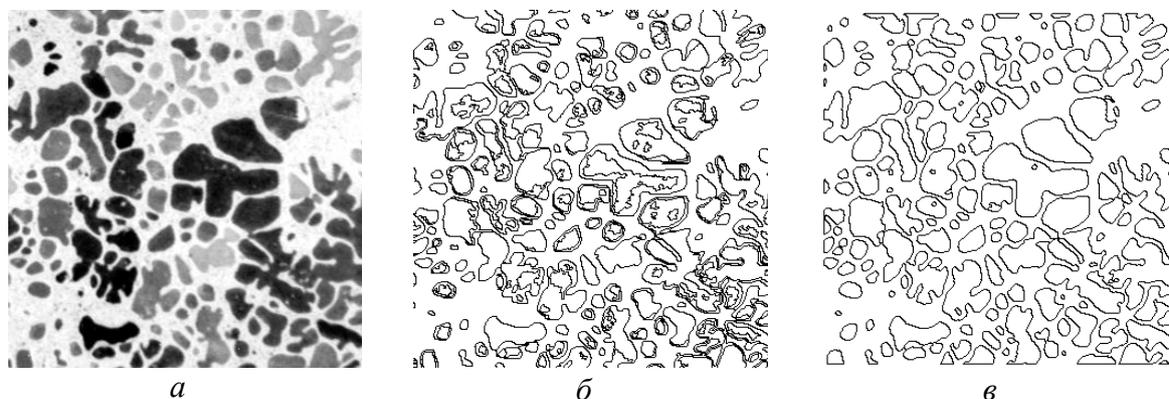


Рис. 2. Результаты обработки изображения шлифа металла (*а* – изображение шлифа металла; *б, в* – результаты выделения областей известным и разработанным методами наращивания областей соответственно)

*Решаемые задачи из других областей.* Разработанный алгоритм выделения безразрывных границ на основе прослеживания позволяет выделять границы на снимке поверхности детали для определения параметров шероховатости.

Разработанный алгоритм непосредственного выделения границ с помощью преобразования Хоха используется для обработки рентгеновского снимка сварного шва для автоматического определения параметров качества сварки.

Разработанный алгоритм выделения безразрывных границ на основе прослеживания позволяет выделять границы на аэроснимке. Выделенные границы используются для описания наземных объектов.

*Результаты обработки ультразвукового снимка.* Разработанный алгоритм подавления шума на полутонных изображениях позволяет устранить шум на ультразвуковых снимках, облегчая визуальный анализ. Разработанный алгоритм выделения областей позволяет выделить объекты на ультразвуковых снимках для дальнейшего определения их характеристик (рис. 3).

*Решаемые задачи из других областей.* Разработанный алгоритм подчеркивания границ позволяет привести яркостные перепады к прямоугольному виду и устранить шум на медицинских рентгеновских снимках, обеспечивая четкое разграничение объектов, тем самым облегчая визуальный анализ.

Разработанный алгоритм сегментации изображения на основе квантования мод и преобразования Хоха обеспечивает выделение сосудистого дерева на ангиограммах, что позволяет врачу более точно оценить геометрические параметры сосудов.

Разработанный алгоритм сегментации изображения на основе квантования мод и преобразования Хоха позволяет отделить на томограммах области костных тканей, мягких тканей и фона друг от друга, контуры которых в дальнейшем используются для геометрических характеристик объектов и планирования лечения.

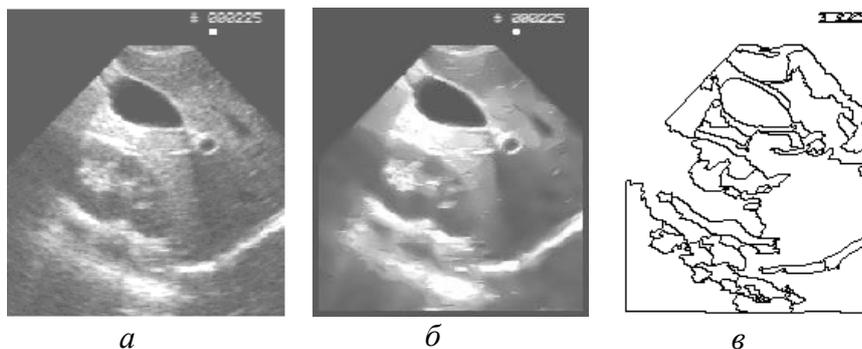


Рис.3. Результаты обработки ультразвукового снимка (*a* – исходное изображение; *б* – результат фильтрации; *в* – полученный контурный препарат)

Разработан алгоритм выделения и подавления изображений ребер, заключающийся в поиске сегментов ребер на исходном изображении с помощью преобразования Хоха:

$$H(x, y, q, k) = \iint_R H(x, y, q) F(q', k) dx dy, \quad (11)$$

где  $H(x, y, q)$  – параметрическое пространство (2);  $F(q', k)$  – одномерный фильтр (профиль изображения ребра).

Алгоритм выделения и подавления изображений ребер на флюорограммах позволяет построить изображение одних только ребер для обнаружения с помощью его патологии и построить изображение с подавленными ребрами, что дает возможность адекватно интерпретировать объекты, изображения которых налагаются на изображения ребер.

На основе разработанных алгоритмов создана библиотека программ, имеющая широкие возможности для автоматизации и диалоговой обработки и анализа различных изображений.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Основные результаты:**

1. Осуществлены обзор и анализ использования известных методов и алгоритмов преобразования Хоха в обработке изображений. Показана необходимость разработки новых и усовершенствования известных алгоритмов обработки и анализа изображений, основанных на преобразовании Хоха.

2. Разработаны и исследованы:

- алгоритмы подавления шума и подчеркивания границ на полутоновых изображениях;
- алгоритм выбора оптимального глобального порога бинаризации изображений;
- алгоритм обнаружения отрезков линий;
- алгоритм построения осевых линий;
- алгоритм непосредственного выделения границ объектов с помощью преобразования Хоха;
- алгоритм соединения контурных точек;
- алгоритм восстановления полутоновых изображений из контурного препарата;
- алгоритмы сегментации полутоновых изображений, квантованием мод гистограмм и наращиванием областей.

3. Выполнено исследование существующих и разработанных алгоритмов обработки и анализа изображений на тестовых изображениях, показывающее высокую точность и качество разработанных алгоритмов.

4. С использованием разработанных алгоритмов решены конкретные задачи, связанные с обработкой различных изображений: микроскопических снимков шлифов металлов и сплавов, снимков поверхности деталей, рентгеновских снимков сварных швов, аэроснимков, ультразвуковых, медицинских рентгеновских снимков, ангиограмм, томограмм, флюорограмм.

Составлена библиотека программ, реализующая разработанные алгоритмы.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов А.А. Преобразование Хоха и области его применения; Муром. Ин-т Владимир. гос. ун-та. Муром, 1999. – 16с.: ил. - Библиогр. 11 назв. - Рус. - Деп. в ВИНТИ 02.12.99, № 3592-99.
2. Садыков С.С., Кан В.Н., Самандаров И.Р. Методы выделения структурных признаков изображений. Монография.Ташкент: Фан, 1990. – 104 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01001527782>.
3. Орлов А.Д., Кульков Я.Ю., Садыков С.С., Самандаров И.Р. Алгоритм определения стороны плоского объекта симметричной формы. Опико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений. Курск, 2021. С. 281 – 283.
4. Садыков С.С., Савичева С.В., Самандаров И.Р. Распознавание отдельных и наложенных реальных плоских объектов по кривизне точек контуров их бинарных изображений. 2022, *Gospodarka i Innowacje*, 22. С. 383 – 398.
5. Садыков С.С., Савичева С.В., Самандаров И.Р. Распознавание отдельных и наложенных реальных плоских объектов по кривизне точек контуров их бинарных изображений. *GOSPODARKA I INNOWACJE* Vol. 22. 2022. ISSN:2545-0573. P.383–398 <https://www.gospodarkainnowacje.pl/index.php/poland/article/view/246>.
6. Буланова Ю.А., Садыков С.С., Самандаров И.Р., Душатов Н.Т., Миратоев З.М. Исследования методов повышения контраста маммографических снимков. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*. Vol.2. 2022. No. 10. P. 304–315. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-metodov-povysheniya-kontrasta-mammograficheskikh-snimkov/viewer>.
7. Буланова Ю.А., Садыков С.С., Самандаров И.Р., Душатов Н.Т., Миратоев З.М. Исследование методов фильтрации шума на маммографических снимках // *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*. Vol.2. 2022. No. 10. P.177–191. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metodov-filtratsii-shuma-na-mammograficheskikh-snimkah/viewer>.
8. Самандаров И.Р., Машуров Ш. Т., Душатов Н.Т., Миратоев З.М. Обработка изображений в С++ с помощью библиотеки Open CV // *UNIVERSUM*. Технические науки. Май, 2023. №5. С.110.
9. Самандаров И.Р., Сулайманова Д. Б. Recognition of separate and superimposed real flat objects by the curvature of the contour points of their binary images using C++. *BioGecko, A jornal for New Zealand Herpetology*. Vol. 12. 2023. Issue 03.2023. ISSN № 2230-5807. P. 4740 – 4751.
10. Bulanova Y.A., Sadykov S.S., Samandarov I.R., Dushatov N.T., Z.M.Miratoyev. A study of algorithms for the isolation of neoplasms on

mammographic images // ECB. Eur.Chem.Bull.2023. №12 (Special Issue 8). P.998 – 1016.

11. Sadykov S.S., Orlov A.A. The Hough transform in processing and analysis of the digital gray-scale images // Proceedings of Sixth International Conference. Pattern recognition and information processing PRIP'2001. Minsk, Republic of Belarus. Vol. 2. May, 2001. P. 47 – 52.
12. Орлов А.А. / Обнаружение и идентификация объектов на полутоновых изображениях // Сб. науч. трудов. “Компьютерные технологии обработки и анализа данных”. Муром: МИ ВлГУ, 2001. С.4 – 8.

Муромский институт филиала Владимирского государственного университета  
Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета  
им. Ислама Каримова

Дата поступления  
06.06.2025

UO'K: 62-50

**B.O. ONORBOYEV, M. B. AZIMOV**

## **TO‘RT G‘ILDIRAKLI TRAKTORNI PASTLIKGA TUSHISHIDAGI GORIZONTAL HARAKATINI MODELASHTIRISH VA OPTIMAL BOSHQARISH**

Maqolada to‘rt g‘ildirakli traktorning turli sharoitlarda qiyaliklarda pastlikga tushishi vaqtidagi gorizontaal harakatini o‘rganish maqsadida modellashtirish va optimal boshqarish usullari ko‘rib chiqiladi. Ikkinchi turdagi Lagranj tenglamasidan foydalanib, to‘rt g‘ildirakli traktorni gorizontaal harakatlarining matematik modeli tuzildi. To‘rt g‘ildirakli traktorning gorizontaal harakatini optimal boshqarish uchun Pontryaginning maksimum prinsipining tez harakat masalasi qo‘llanildi va sifat mezonlari asosida optimal boshqarish uchun zaruriy shart o‘rganildi. Gamilton–Pontryagin funksiyasini shakllantirishi orqali qo‘shma funksiyalar ishlab chiqilgan. Ushbu qo‘shma funksiyalar boshqaruv algoritmining yechimini olishga imkon berganligi ko‘rsatilgan. Ishlab chiqilgan matematik modellar asosida Pontryaginning chegaraviy masalasi shakllantirilgan. Runge–Kutta usullaridan foydalangan holda, berilgan mezon asosida chegaraviy masalalarini hal qilishda obyektning o‘tish jarayonida harakat qiymatlari aniqlandi. Berilgan qarshilik kuchlari va massa orqali to‘rt g‘ildirakli traktorning g‘ildiraklari shinalarni qovushqoqlik va bikrlilik koeffitsiyentlari aniqlanadi. Sonli usulni qo‘llash orqali traktorni har bir g‘ildiragining dala yo‘llarining turli xil notekisliklari sharoitida, qiyaliklarda pastlikga tushishi vaqtidagi harakatlari o‘rganib chiqildi.

**Kalit so‘zlar:** to‘rt g‘ildirakli traktor, gorizontaal harakat, modellashtirish, optimal boshqarish.

**Б.О. Онорбоев, М.Б. Азимов**

### **Моделирование и оптимальное управление горизонтальным движением четырехколесного трактора на спуске**

В статье рассматриваются методы моделирования и оптимального контроля с целью изучения горизонтального движения полноприводного трактора в момент его спуска по склону в различных условиях. На основе использования уравнения Лагранжа второго рода была построена математическая модель вертикального движения четырехколесного трактора. Для оптимального управления движением четырехколесного трактора применена задача быстрогодействия принципа максимума Понтрягина и изучено необходимое условие для оптимального управления на основе критериев качества. Благодаря формированию функции Гамильтона–Понтрягина разработаны сопряженные функции. Показано, что эти сопряженные функции позволили получить решение алгоритма управления. На основе разработанных математических моделей сформулированы

граничные задачи Понtryгина. С использованием методов Рунге–Кутты при решении граничных задач на основе заданного критерия установлены значения движения в переходном процессе объекта. Через заданные силы сопротивления и массы определены коэффициенты вязкого сопротивления и жесткости шин на колесах четырехколесного трактора. Численным методом исследованы движения каждого колеса трактора в условиях различных неровностей дорог в момент их спуска по склонам.

**Ключевые слова:** четырехколесный трактор, горизонтальное движение, моделирование, оптимальное управление.

**B.O. Onorboev, M.B. Azimov**

### **Modeling and optimal control of the horizontal motion of a four-wheel tractor on a slope**

The article discusses methods of modeling and optimal control in order to study the horizontal movement of a four-wheel-drive tractor as it descends a slope under various conditions. Using the second-order Lagrange equation, a mathematical model of the vertical movement of a four-wheel tractor was constructed. For the optimal control of the motion of a four-wheel tractor, the problem of the speed of the Pontryagin maximum principle is applied and the necessary condition for optimal control based on quality criteria is studied. By forming the Hamilton–Pontryagin function, conjugate functions are developed. It is shown that these conjugate functions allowed the solution of the control algorithm. Based on the developed mathematical models, Pontryagin's boundary value problems are formulated. Using the Runge-Kutta methods, the values of the object's motion in the transient process are determined based on the given criterion. The coefficients of viscous resistance and tire stiffness on the wheels of a four-wheel tractor are determined using the given resistance forces and masses. The movements of each tractor wheel were studied numerically under various road conditions, including when the tractors were descending slopes.

**Keywords:** four-wheel tractor, horizontal motion, modeling, optimal control.

Qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarish uchun texnik vositalarning texnik darajalari va iste‘mol xususiyatlarini takomillashtirish, xususan, qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishida va xalq xo‘jaligining boshqa tarmoqlarida mashina traktor agregatlarining optimal texnologik ish rejimlarini ta‘minlash uchun bosqichma-bosqich tartibga solinadigan klirenslilikni takomillashtirilgan universal qatorli traktorni ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega [1 – 18].

Paxtachilikda va xalq xo‘jaligining boshqa tarmoqlarida ishlatiladigan to‘rt g‘ildirakli mahalliy traktorlarning yangi avlodi konstruksiyasini takomillashtirish vazifasini bajarish funksionallik va asosiy texnik xususiyatlarni yaxshilaydi.

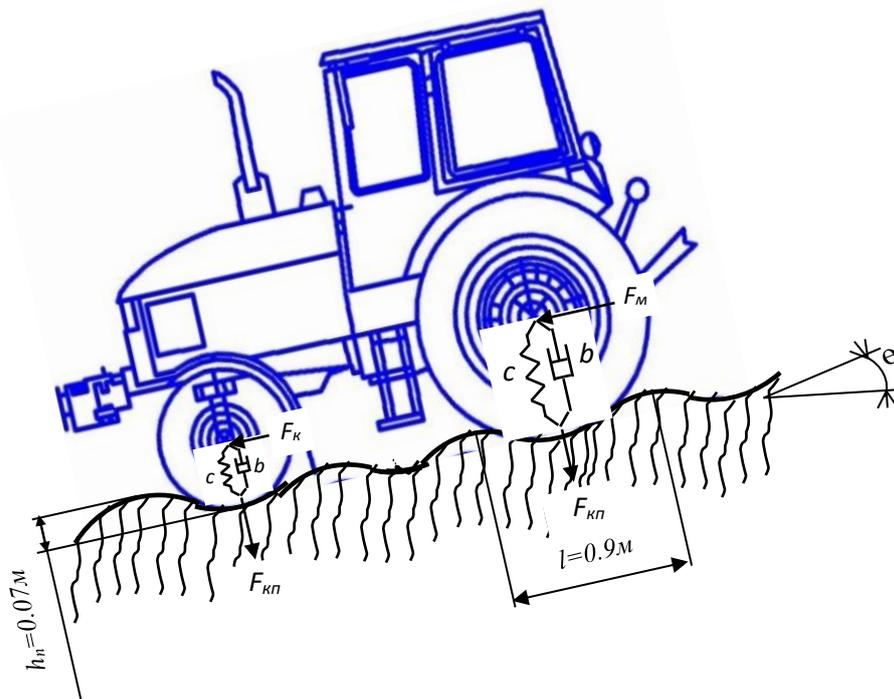
Traktor harakatining xususiyatlari va uning funksional maqsadiga mosligi ko‘p jihatdan uning mukammalligiga bog‘liq. Traktorlarning texnologik imkoniyatlari va ularni qo‘llashni yanada kengaytirish ularning harakatlanish jarayonini chuqur o‘rganishni talab etadi. Ushbu muammoli vaziyatlardan biri mashinalarning dinamik xususiyatlaridan kelib chiqib, modellashtirishda berilgan harakatdan chetga chiqish holatlarini minimallashtirish mezonini, ya‘ni yurish ravonligini ta‘minlab berish hisoblanadi.

Yo‘lning notekisliklarida traktorlarning harakati uning g‘ildiraklarining parametrlari va harakati bilan bog‘liq. G‘ildirak orqali traktorga uni yo‘l bilan bog‘lab turuvchi hamda uning yurishi, to‘xtashi, yo‘nalishlarni o‘zgartirishga majburlovchi kuch kuzatiladi. Oddiy bo‘lib tuyulishiga qaramasdan, g‘ildirak belgilangan yo‘nalishda va aniqlik darajasiga asoslangan harakati turli modellar yordamida tasvirlanadigan va izohlanadigan murakkab qism hisoblanadi (1-rasm) [1-5,11-20].

To‘rt g‘ildirakli traktorning 1-rasm asosida pastlikga tushishdagi gorizontaal tebranma harakatlarining matematik modelini keltiramiz [1-5,14].

$$\left. \begin{aligned}
m_m \ddot{x}_m &= F_m - b_{olch} (\dot{x}_m - \dot{x}_{olch}) - c_{olch} (x_m - x_{olch}) - b_{oro'} (\dot{x}_m - \dot{x}_{olo'g'}) - c_{oro'} (x_m - x_{olo'g'}) - \\
&\quad - b_{orch} (\dot{x}_m - \dot{x}_{orchg}) + c_{orch} (x_m - x_{orchg}) - b_{oro'} (\dot{x}_m - \dot{x}_{oro'g'}) + c_{oro'} (x_m - x_{oro'g'}) \\
m_{olchg'} \ddot{x}_{olchg'} &= b_{olch} (\dot{x}_m - \dot{x}_{olchg'}) + c_{olch} (x_m - x_{olchg'}) + m_{olchg'} (1 - \sin \theta) \frac{2\pi^2 V^2}{l_5^2} h_q \sin \frac{2\pi V_{olchg'}}{l_5} t \\
m_{olo'g'} \ddot{x}_{olo'g'} &= b_{olo'} (\dot{x}_m - \dot{x}_{olo'g'}) + c_{olo'} (x_m - x_{olo'g'}) + m_{olo'g'} (1 - \sin \theta) \frac{2\pi^2 V^2}{l_5^2} h_q \sin \frac{2\pi V_{olo'g'}}{l_5} t \\
m_{orchg'} \ddot{x}_{orchg'} &= b_{orch} (\dot{x}_m - \dot{x}_{orchg'}) + c_{orch} (x_m - x_{orchg'}) + m_{orchg'} (1 - \sin \theta) \frac{2\pi^2 V^2}{l_5^2} h_q \sin \frac{2\pi V_{orchg'}}{l_5} t \\
m_{oro'g'} \ddot{x}_{oro'g'} &= b_{oro'} (\dot{x}_m - \dot{x}_{oro'g'}) + c_{oro'} (x_m - x_{oro'g'}) + m_{oro'g'} (1 - \sin \theta) \frac{2\pi^2 V^2}{l_5^2} h_q \sin \frac{2\pi V_{oro'g'}}{l_5} t
\end{aligned} \right\} , (1)$$

bu yerda  $F_m$  – traktorning tortish kuchi;  $\dot{x}_i$  va  $\ddot{x}_i$  – traktorning old va orqa g'ildiraklarning chiziqli tezligi va tezlashishi;  $b_{olch}$ ,  $b_{olo'}$ ,  $b_{orch}$ ,  $b_{oro'}$ ,  $c_{olch}$ ,  $c_{olo'}$ ,  $c_{orch}$ ,  $c_{oro'}$  – traktorning oldingi chap va o'ng, orqa chap va o'ng g'ildiraklari shinalarining qovushqoqlik va bikrlilik koeffitsiyentlari  $m_{olch}$ ,  $m_{olo'}$ ,  $m_{orch}$ ,  $m_{oro'}$ ,  $m_d$ , – traktorning old chap va o'ng, orqa chap va o'ng g'ildiraklari va dvigatelli bo'ylab massa taqsimlanishi;  $h_n$  – yo'lning notekisligi balandligi;  $V_{olch}$ ,  $V_{olo'}$ ,  $V_{orch}$ ,  $V_{oro'}$  – oldingi chap va o'ng, orqa chap va o'ng g'ildiraklarning harakat tezligi;  $l_5$  – notekisliklar orasidagi masofalar;  $\theta$  – traktorni pastlikga tushish burchagi.



1-rasm. To'rt g'ildirakli traktorni pastlikga tushishidagi harakatining dinamik modeli

To'rt g'ildirakli traktorning pastlikga harakatlanganda inersiya kuchi yo'nalish tomonga bo'ladi.

**To'rt g'ildirakli traktorning pastlikga tushishidagi gorizontaal tebranma harakatini optimal boshqarish algoritmini ishlab chiqish.**

Masalani yechishda optimal tizimlar nazariyasidan foydalanamiz. Bu yerda mezon sifatida tez harakat masalasi muhim rol o'ynaydi [19,20].

Optimal boshqarish masalasini keltiramiz. To'rt g'ildirakli traktor harakati vaqtning boshlang'ich holatidagi quyidagicha ko'rinishda bo'lsin

$$x_i(0) = x_0(0), \quad \dot{x}_i(0) = \dot{x}_0(0). \quad (2)$$

Shunday  $u(t)$  boshqarishni topish kerakki, To'rt g'ildirakli traktor harakatini boshlang'ich holatdan berilgan holatga olib o'tsin:

$$x_i(t) = x_0(t), \quad \dot{x}_i(t) = \dot{x}_0(t) \quad (i=1, n), \quad 0 \leq t \leq T. \quad (3)$$

Bunda o'tish jarayoni vaqti qisqa bo'lishi talab qilinadi. U holda boshqarishdan maqsad funksionalni (2) va (3) shartlar asosida minimumga keltiriladi

$$J(x_0, u(t), x(t)) = \int_{t_0}^T f^0(x(t), u(t), t) dt + g^0(q_0, g(T)). \quad (4)$$

(2), (3) shartlarda

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t) \quad (5)$$

funksiyalar berilgan bo'lsin

$$g^i(q_0, q(T)) \leq 0, \quad i=1, \dots, m; \quad g^i(q_0, q(T)) = 0, \quad i=m+1, \dots, s, \quad (6)$$

$$u \in U, \quad t_0 \leq t \leq T, \quad (7)$$

bu yerda  $f(\dots)$ —uzluksiz-differensiallanuvchi funksiya;  $u(t)$ — $[t_0, T]$  oraliqdagi bo'lakli-uzluksiz funksiya.

To'rt g'ildirakli traktor harakatini optimal boshqarishning zaruriy shartini tadqiq qilish uchun Pontryaginning maksimum prinsipidan foydalanamiz [19,20].

Maksimum prinsipini shakllantirish uchun Gamilton-Pontryagin funksiyasini

$$H = (x, u, t, \psi_i, \psi_0) = -f^0(x, u, t) + \langle \psi, u \rangle \quad (8)$$

va qo'shma tizim

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_1}{dt} &= -\frac{\partial H_m}{\partial x_1} = -m_m^{-1}(c_{och} + c_{oo'} + c_{orch} + c_{oro'})\psi_2, \\ \frac{d\psi_2}{dt} &= -\frac{\partial H_m}{\partial x_2} = -\psi_1 + m_m^{-1}(b_{och} + b_{oo'} + b_{orch} + b_{oro'})\psi_2; \\ \frac{d\psi_1}{dt} &= -\frac{\partial H_{och}}{\partial y_3} = -m_{ochg}^{-1}c_{och}\psi_2, & \frac{d\psi_2}{dt} &= -\frac{\partial H_{och}}{\partial x_4} = -\psi_1 + m_{ochg}^{-1}b_{och}\psi_2; \\ \frac{d\psi_1}{dt} &= -\frac{\partial H_{oo'}}{\partial y_5} = -m_{oo'g}^{-1}c_{oo'}\psi_2, & \frac{d\psi_2}{dt} &= -\frac{\partial H_{oo'}}{\partial x_6} = -\psi_1 + m_{oo'g}^{-1}b_{oo'}\psi_2; \\ \frac{d\psi_1}{dt} &= -\frac{\partial H_{orch}}{\partial y_7} = -m_{ocgg}^{-1}c_{orch}\psi_2, & \frac{d\psi_2}{dt} &= -\frac{\partial H_{orch}}{\partial x_8} = -\psi_1 + m_{ocgg}^{-1}b_{orch}\psi_2; \\ \frac{d\psi_1}{dt} &= -\frac{\partial H_{oro'}}{\partial y_9} = -m_{oro'g}^{-1}c_{oro'}\psi_2, & \frac{d\psi_2}{dt} &= -\frac{\partial H_{oro'g}}{\partial x_{10}} = -\psi_1 + m_{oro'g}^{-1}b_{oro'}\psi_2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

kiritamiz. Boshqarish chegarasi  $|u| \leq 1$ .

Qaralayotgan masalani yechish uchun quyidagi zaruriy shart bajarilishi kerak:

$$H(x_i(t), u(t), t, \psi_i, \psi_0) = \max_{u \in U} H(x_i(t), u, t, \psi_i(t), \psi_0). \quad (10)$$

(8) asosida optimal boshqarishni aniqlashga o'tishdan oldin funksiyani shakllantiramiz.

To'rt g'ildirakli pastlikga tushishdagi harakati uchun

$$\left. \begin{aligned}
x_m &= x_1, \dot{x}_m = x_2, \dot{x}_2 = u_m - m_m^{-1} [b_{och}(\dot{x}_m - \dot{x}_{ochg'}) - c_{och}(x_m - x_{ochg'}) - b_{oo'}(\dot{x}_m - \dot{x}_{oo'g'}) - \\
&\quad - c_{oo'}(x_m - x_{oo'g'}) - b_{orch}(\dot{x}_m - \dot{x}_{orchg'}) - c_{orch}(x_m - x_{orchg'}) - \\
&\quad - b_{oro'}(\dot{x}_m - \dot{x}_{oro'g'}) - c_{oro'g'}(x_m - x_{oro'g'})]; \\
x_{ochg'} &= x_3, \dot{x}_{ochg'} = x_4, \dot{x}_4 = m_{ochg'}^{-1} [b_{och}(\dot{x}_m - \dot{x}_{ochg'}) + c_{och}(x_m - x_{ochg'})] + u_{ochg'}(1 - \sin \theta); \\
x_{oo'g'} &= x_5, \dot{x}_{oo'g'} = x_6, \dot{x}_6 = m_{oo'g'}^{-1} [b_{oo'}(\dot{x}_m - \dot{x}_{oo'g'}) + c_{oo'}(x_m - x_{oo'g'})] + u_{oo'g'}(1 - \sin \theta); \\
x_{orchg'} &= x_7, \dot{x}_{orchg'} = x_8, \dot{x}_8 = m_{orchg'}^{-1} [b_{orch}(\dot{x}_m - \dot{x}_{orchg'}) + c_{orch}(x_m - x_{orchg'})] + u_{orchg'}(1 - \sin \theta); \\
x_{oro'g'} &= x_9, \dot{x}_{oro'g'} = x_{10}, \dot{x}_{10} = m_{oro'g'}^{-1} [b_{oro'}(\dot{x}_m - \dot{x}_{oro'g'}) + c_{oro'g'}(x_m - x_{oro'g'})] + u_{oro'g'}(1 - \sin \theta).
\end{aligned} \right\}, (11)$$

Xuddi shunday, agar  $f^0 \equiv 1$ ,  $g^0 \equiv 0$ , unda  $J(q_0, u(t), q(t)) = T - t_0$  - bu holda (4)-(7) masalalarni tez harakat masalasi deyiladi.

Qaralayotgan obyekt statsionar tizim hisoblanadi va (4) masala shuni ko'rsatadiki, vaqtga bog'liq emas, ya'ni

$$f(t, q, u) = f(q, u), \quad U(t) = U. \quad (12)$$

Agar statsionar masala (4), (12) optimal boshqarish  $u(t)$  va optimal trayektoriya  $x_0(t)$  ga ega bo'lsa, u holda (8) shartni qoniqtiruvchi, trivial bo'lmagan qo'shma o'zgaruvchilar  $(\psi_1(t), \psi_2(t))$ ,  $\psi(t) \in R^n$  nolga teng bo'lmagan vektori mavjudki, ya'ni (10) maksimum sharti bajariladi [19]:

$$\psi_0(t) = const \leq 0. \quad (13)$$

Xuddi shunday (9) qo'shma tizim  $\psi_i$  ga nisbatan bir jinsli hisoblanadi, (13) tenglamadagi o'zgarishni ixtiyoriy tanlash mumkin, shunday qilib

$$\psi_0(t) = -1 \quad 0 \leq t \leq T. \quad (14)$$

$\psi_2 \neq 0$  da  $\max_{|u| < 1} H$  shartidan  $u = \text{sign}\psi_2$  kelib chiqadi, agar  $\psi_2 \neq 0$  bo'lsa, unda maksimum prinsipining chegaraviy masalasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

To'rt g'ildirakli traktorni pastlikga tushishdagi harakati uchun

$$\left. \begin{aligned}
x_m &= x_1, \dot{x}_m = x_2, \dot{x}_2 = \text{sign}\psi_2 - m_m^{-1} [b_{och}(\dot{x}_m - \dot{x}_{ochg'}) - c_{och}(x_m - x_{ochg'}) - b_{oo'}(\dot{x}_m - \dot{x}_{oo'g'}) - \\
&\quad - c_{oo'}(x_m - x_{oo'g'}) - b_{orch}(\dot{x}_m - \dot{x}_{orchg'}) - c_{orch}(x_m - x_{orchg'}) - \\
&\quad - b_{oro'}(\dot{x}_m - \dot{x}_{oro'g'}) - c_{oro'g'}(x_m - x_{oro'g'})]; \\
x_{ochg'} &= x_3, \dot{x}_{ochg'} = x_4, \dot{x}_4 = m_{ochg'}^{-1} [b_{och}(\dot{x}_m - \dot{x}_{ochg'}) + c_{och}(x_m - x_{ochg'})] + \text{sign}\psi_2(1 + \sin \theta); \\
x_{oo'g'} &= x_5, \dot{x}_{oo'g'} = x_6, \dot{x}_6 = m_{oo'g'}^{-1} [b_{oo'}(\dot{x}_m - \dot{x}_{oo'g'}) + c_{oo'}(x_m - x_{oo'g'})] + \text{sign}\psi_2(1 + \sin \theta); \\
x_{orchg'} &= x_7, \dot{x}_{orchg'} = x_8, \dot{x}_8 = (m_{orchg'} - 0.5 \cdot m_d)^{-1} [b_{orch}(\dot{x}_m - \dot{x}_{orchg'}) + c_{orch}(x_m - x_{orchg'})] + \text{sign}\psi_2(1 + \sin \theta); \\
x_{oro'g'} &= x_9, \dot{x}_{oro'g'} = x_{10}, \dot{x}_{10} = (m_{oro'g'} - 0.5 \cdot m_d)^{-1} [b_{oro'}(\dot{x}_m - \dot{x}_{oro'g'}) + c_{oro'g'}(x_m - x_{oro'g'})] + \text{sign}\psi_2(1 + \sin \theta)
\end{aligned} \right\}, (15)$$

Ushbu holatlarda maksimum prinsipining chegaraviy masalasi (15) tizimdan, (10) dan kelib chiqadigan chegara shartlaridan (2) va (3) va (14) shartlardan iborat bo'ladi.

Quyidagi shaklga ega bo'lgan Gamilton-Pontryagin funksiyasini tuzamiz [1-5,19,20]:

$$\left. \begin{aligned}
H_M &= \psi_0 + \psi_1 y_2 + \psi_2 \dot{y}_2 \\
H_1 &= \psi_0 + \psi_1 y_4 + \psi_2 \dot{y}_4 \\
H_2 &= \psi_0 + \psi_1 y_6 + \psi_2 \dot{y}_6
\end{aligned} \right\}. \quad (16)$$

Bundan kelib chiqadiki, (10) shart  $u = \text{sign}\psi_2$ ,  $\psi_2 \neq 0$  funksiyani ajratadi, ya'ni

Bu holda chegara muammosi (15) quyidagilardan iborat

$$H_i = -f^0 u + \psi_2(t) u_m. \quad (17)$$

$u=+1$ ,  $u=-1$  oralig'ida (9), (17) tadqiq qilishga o'tamiz.

$\psi_2(t)$  funksiya  $[t_0, t]$  kesimda birdan ortiq nolga ega bo'lmasligini ko'rsatamiz. Bunday, ya'ni  $\psi_2(t) = 0: t \in [t_0, T]$  bo'lmasin. Unda, agar  $t \in [t_0, T]$  nuqtalarda funksiya  $\psi_2(t) \neq 0$  bo'lsa, u holda (10), doimiy  $\psi_1 = -\dot{\psi}_2(t)$  bo'lsa, bu mumkin emas. Endi  $t_i$  nuqtalaridan birida funksiya grafigi  $t$  o'qiga tegsin. Unda  $\psi_2(t) = 0$ , ya'ni (10) doimiy  $\psi_1 = 0$  kuchga ega. Bu yerdan

$$H \equiv 0, \quad t_0 \leq t \leq T \quad (18)$$

$\psi_0 = 0$  dan kelib chiqadi. Demak, (10), (14) ga zid bo'lgan ayniyat mavjud

$$\psi_2(t) = 0, \quad t \in [t_0, T], \quad \psi_1 = 0, \quad \psi_0 = 0 \quad (19)$$

(19) tenglik mumkin emas, chunki  $\psi_2(t)$  yuqorida faqat bitta nolga ega bo'lishi mumkinligi aniqlangan. Shunday qilib  $\psi_0 \leq 0$ . Bunday holda, (19) dan quyidagilar kelib chiqadi

$$u_k = \text{sign} \psi_2(t) = \begin{cases} 1, & \psi_2(t) > 0 \\ -1, & \psi_2(t) < 0 \end{cases}, \quad k=2, 4, \dots, 2n; \quad (20)$$

Ya'ni boshqarish  $u_k(t)$  bitta nuqtada almashlab ulash imkoniyatiga ega.

To'rt g'ildirakli traktorni pastlikga tushishdagi harakatini tadqiq qilish uchun Embarcadero Delphi XE3 dasturlash muhitida Runge-Kutta sonli usulini qo'llab dastur vositasidan foydalanamiz [4]. Boshlang'ich shart  $t=0$  asosida hisoblash eksperimenti o'tkazildi. 2- rasmda boshlang'ich parametrlar va 3-rasmlarda hisoblash natijalar keltirilgan.

Hisoblash eksperimentlari traktor g'ildiragi shinalarining bukilishlari  $h_{sh}=30\text{mm}=0.03\text{m}$  bo'lganda quyidagi parametrlarda o'tkazilgan.

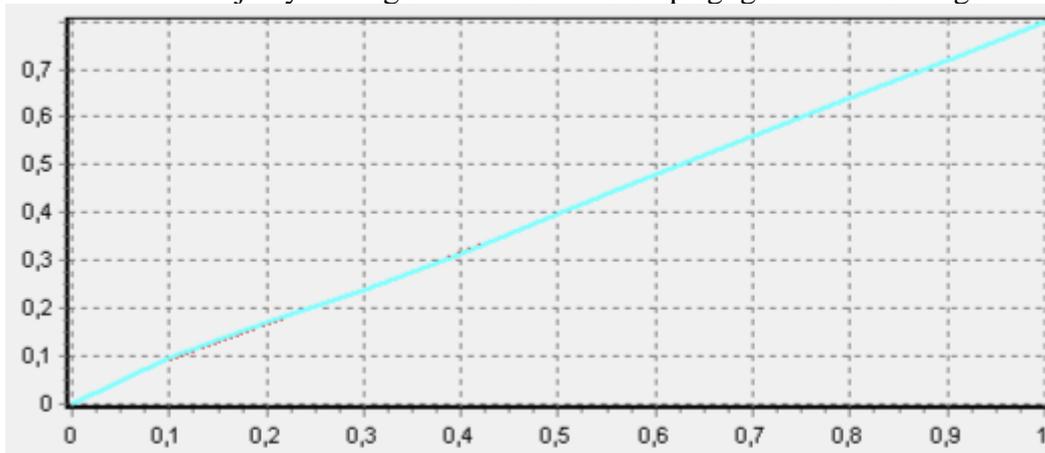
| Kiritish parametrlari                                |         |  |      |
|--|---------|--|------|
| PTMning massasi (J1, kg)                             | 4750,0  | PTMni old ko'prigining eni (Bpk, m)        | 1,8  |
| Oldingi chap g'ildirakning massasi (J2L, kg)         | 895,0   | PTMni orqa ko'prigining eni (Bzk, m)       | 1,8  |
| Oldingi o'ng g'ildirakning massasi (J2P, kg)         | 855,0   | Shinaning bukilishi (hs, m)                | 0,03 |
| Orqa chap g'ildirakning massasi (J3L, kg)            | 1525,0  | Gorizontaal tebranishlar tezligi (vx, m/s) | 1,38 |
| Orqa o'ng g'ildirakning massasi (J3P, kg)            | 1475,0  | PTMni qiyalanish burchagi (beta, grad.)    | 0    |
| Dvigatelnining massasi (J4, kg)                      | 0       | Doimiy (g, m/s^2)                          | 9,81 |
| Massalar markazining balandligi (hc, m)              | 1       | Boshqaruv (uk)                             | 1    |
| PTMni balandlikka ko'tarilish burchagi (teta, grad.) | 7       |  |      |
| Hisoblash parametrlari                               |         |  |      |
| Hisoblash vaqti (t_kon, s)                           | 1       | h printni qiymati                          | 0,1  |
| Hisoblash qadami: h_calcul                           | 0,00001 | Grafiklarni kvantlanishi                   | 4    |

2-rasm. To'rt g'ildirakli traktor harakatini optimal boshqarishni hisoblash uchun boshlang'ich parametrlar

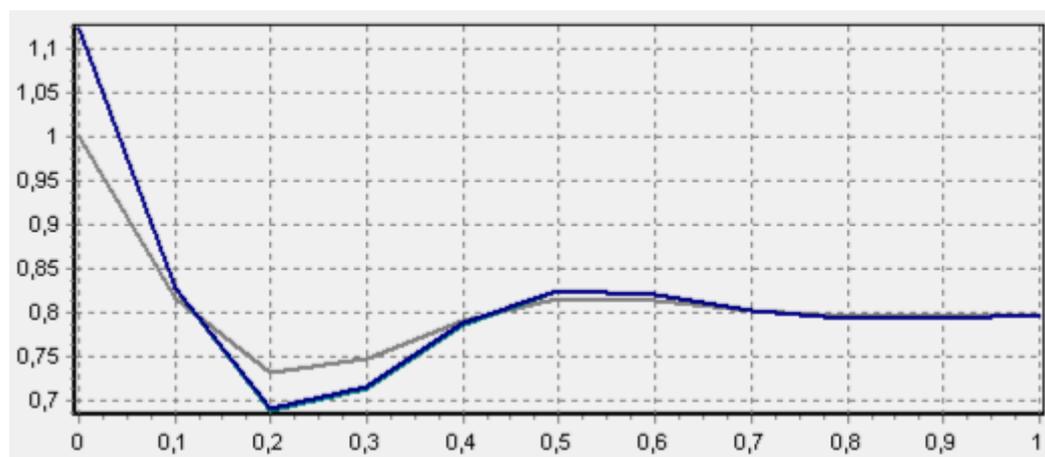
| PTMni pastlikka tushishidagi gorizontal tebranishlari va optimal boshqarish parametrlarining hisoblar |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| t - vaqt  | f1 - PTM | f2 - PTM | f3 - PTM | f4 - PTM | f5 - PTM | f6 - PTM | f7 - PTM | f8 - PTM | f9 - PTM | f10 - PTM |
| 0   | 0        | 1        | 0        | 1,12187  | 0        | 1,12187  | 0        | 1,12187  | 0        | 1,12187   |
| 0,1   | 0,09045  | 0,81594  | 0,09697  | 0,82742  | 0,09697  | 0,82742  | 0,09697  | 0,82742  | 0,09676  | 0,82558   |
| 0,2   | 0,16669  | 0,73007  | 0,17103  | 0,68797  | 0,17103  | 0,68797  | 0,17103  | 0,68797  | 0,17082  | 0,68946   |
| 0,3   | 0,23996  | 0,74639  | 0,24022  | 0,71405  | 0,24022  | 0,71405  | 0,24022  | 0,71405  | 0,24019  | 0,71575   |
| 0,4   | 0,31689  | 0,79123  | 0,31533  | 0,7867   | 0,31533  | 0,7867   | 0,31533  | 0,7867   | 0,31541  | 0,787     |
| 0,5   | 0,39742  | 0,81435  | 0,39629  | 0,82421  | 0,39629  | 0,82421  | 0,39629  | 0,82421  | 0,39635  | 0,8237    |
| 0,6   | 0,47888  | 0,81183  | 0,47875  | 0,82012  | 0,47875  | 0,82012  | 0,47875  | 0,82012  | 0,47876  | 0,81969   |
| 0,7   | 0,55952  | 0,80099  | 0,55988  | 0,80255  | 0,55988  | 0,80255  | 0,55988  | 0,80255  | 0,55986  | 0,80247   |
| 0,8   | 0,63925  | 0,79484  | 0,63954  | 0,79258  | 0,63954  | 0,79258  | 0,63954  | 0,79258  | 0,63952  | 0,79269   |
| 0,9   | 0,7187   | 0,79507  | 0,71875  | 0,79296  | 0,71875  | 0,79296  | 0,71875  | 0,79296  | 0,71875  | 0,79307   |
| 1   | 0,79834  | 0,79767  | 0,79825  | 0,79717  | 0,79825  | 0,79717  | 0,79825  | 0,79717  | 0,79826  | 0,7972    |

3- rasm. Hisoblash natijalari

Hisoblash natijalari 4,5- rasmlarda alohida “Tezliklar”, “Tezlanishlar” harakat parametrlarini o‘tish jarayonining  $u=+l$  va  $u=-l$  oraliqdagi grafiklari keltirilgan.



4-rasm. To‘rt g‘ildirakli traktor harakatini o‘tish jarayonidagi tezliklar grafiklari



5-rasm. To‘rt g‘ildirakli traktor harakatini o‘tish jarayonidagi tezlanishlar grafiklari

To‘rt g‘ildirakli traktorni pastlikka tushishdagi gorizontal tebranma harakatini tadqiq qilish uchun quyidagi boshlang‘ich parametrlarda (6-rasm) hisoblash eksperimenti

o'tkazildi va 7,8-rasmlarda olingan natijalar, 9-11 rasmlarda ularning grafik ko'rinishlari keltirilgan.

### Kiritish parametrlari

|  |                                     |  |                                     |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| PTMning massasi (J1, kg)                             | <input type="text" value="4750,0"/> | Horizontal tebranishlarda PTMni harakatlantiruvchi kuch (M1, N)                          | <input type="text" value="12730"/>  |
| Oldingi chap g'ildirakning massasi (J2L, kg)         | <input type="text" value="895,0"/>  | Yo'ning notekisligi balandligi (hp, m)   | <input type="text" value="0,07"/>   |
| Oldingi o'ng g'ildirakning massasi (j2P, kg)         | <input type="text" value="855,0"/>  | O'ng g'ildiraklar uchun notekisliklar oralig'i (ll, m)                                   | <input type="text" value="0,9"/>    |
| Orqa chap g'ildirakning massasi (J3L, kg)            | <input type="text" value="1525,0"/> | Chap g'ildiraklar uchun notekisliklar oralig'i (lp, m)                                   | <input type="text" value="0,9"/>    |
| Orqa o'ng g'ildirakning massasi (J3P, kg)            | <input type="text" value="1475,0"/> | Boshqariluvchi orqa g'ildiraklarning burilish burchagi (alpha, grad.)                    | <input type="text" value="0"/>      |
| Dvigatelning massasi (J4, kg)                        | <input type="text" value="0"/>      | Boshqariluvchi orqa g'ildiraklarning yonga siljib (toyib) ketish burchagi (delta, grad.) | <input type="text" value="0,01"/>   |
| Horizontal tebranishlar tezligi (vx, m/s)            | <input type="text" value="1,38"/>   | PTMni old ko'prigining kengligi (Bpk, m)   | <input type="text" value="1,8"/>    |
| Massalar markazining balandligi (hc, m)              | <input type="text" value="1"/>      | PTMni orqa ko'prigining kengligi (Bzk, m)  | <input type="text" value="1,8"/>    |
| PTMni qiyalanish burchagi (beta, grad.)              | <input type="text" value="0"/>      | Shinadagi bosim (Si, atm.b.)   | <input type="text" value="103100"/> |
| PTMni orqa g'ildiragining radiusi (rk1, m)           | <input type="text" value="0,785"/>  | Shinaning bukilishi (hs, m)  | <input type="text" value="0,03"/>   |
| PTMni oldingi g'ildiragining radiusi (rk2, m)        | <input type="text" value="0,43"/>   | Doimiy (g, m/s^2)  | <input type="text" value="9,81"/>   |
| PTMni balandlikka ko'tarilish burchagi (teta, grad.) | <input type="text" value="7"/>      |  |                                     |

### Hisoblash parametrlari

|                            |                                      |                          |                                  |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Hisoblash vaqti (t_kon, s) | <input type="text" value="1"/>       | h printni qiymati        | <input type="text" value="0,1"/> |
| Hisoblash qadami: h_calcul | <input type="text" value="0,00001"/> | Grafiklarni kvantlanishi | <input type="text" value="4"/>   |

6-rasm. To'rt g'ildirakli traktorni pastlikga tushishdagi gorizontal tebranishlarini hisoblash uchun boshlang'ich parametrlar

**PTMni pastga tushishdagi gorizontal tebranishlari parametrlarining hisoblangan qiymatlari:**

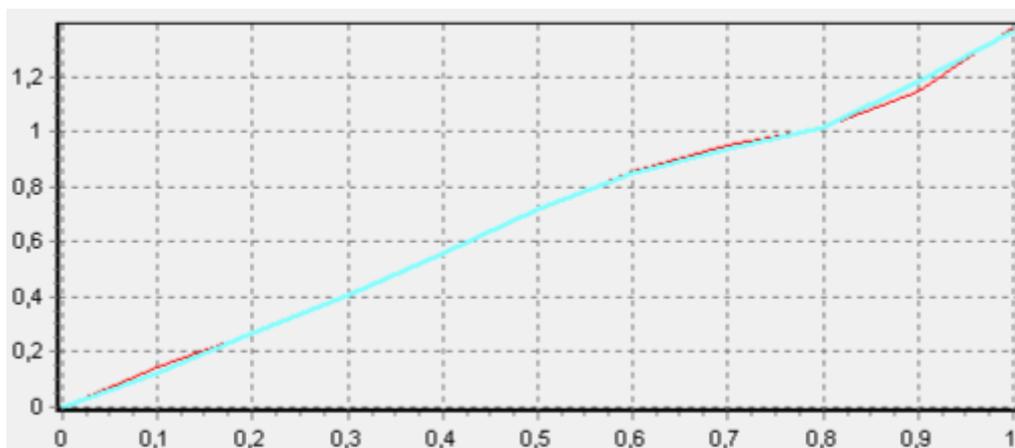
| t - vaqt | f1 - PTM | f2 - PTM | f3 - PTM | f4 - PTM | f5 - PTM | f6 - PTM | f7 - PTM | f8 - PTM | f9 - PTM | f10 - PTM |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 0        | 0        | 2,68     | 0        | -0,28827 | 0        | -0,28827 | 0        | -0,28827 | 0        | -0,28827  |
| 0,1      | 0,14462  | 1,1639   | 0,12341  | 1,51806  | 0,12341  | 1,51806  | 0,12341  | 1,51806  | 0,12341  | 1,51806   |
| 0,2      | 0,26981  | 1,3237   | 0,26771  | 1,3955   | 0,26771  | 1,3955   | 0,26771  | 1,3955   | 0,26771  | 1,3955    |
| 0,3      | 0,40695  | 1,42192  | 0,40869  | 1,44702  | 0,40869  | 1,44702  | 0,40869  | 1,44702  | 0,40869  | 1,44702   |
| 0,4      | 0,55613  | 1,56908  | 0,56002  | 1,58069  | 0,56002  | 1,58069  | 0,56002  | 1,58069  | 0,56002  | 1,58069   |
| 0,5      | 0,71774  | 1,61013  | 0,71885  | 1,52737  | 0,71885  | 1,52737  | 0,71885  | 1,52737  | 0,71885  | 1,52737   |
| 0,6      | 0,86107  | 1,17544  | 0,85031  | 1,06276  | 0,85031  | 1,06276  | 0,85031  | 1,06276  | 0,85031  | 1,06276   |
| 0,7      | 0,94973  | 0,65644  | 0,9361   | 0,72337  | 0,9361   | 0,72337  | 0,9361   | 0,72337  | 0,9361   | 0,72337   |
| 0,8      | 1,01405  | 0,77855  | 1,01555  | 1,01475  | 1,01555  | 1,01475  | 1,01555  | 1,01475  | 1,01555  | 1,01475   |
| 0,9      | 1,14787  | 2,14587  | 1,18292  | 2,44673  | 1,18292  | 2,44673  | 1,18292  | 2,44673  | 1,18292  | 2,44673   |
| 1        | 1,38068  | 1,62329  | 1,36481  | 0,76885  | 1,36481  | 0,76885  | 1,36481  | 0,76885  | 1,36481  | 0,76885   |

7-rasm. To'rt g'ildirakli traktorni pastlikga tushishdagi gorizontal tebranishlarini hisoblash natijalari

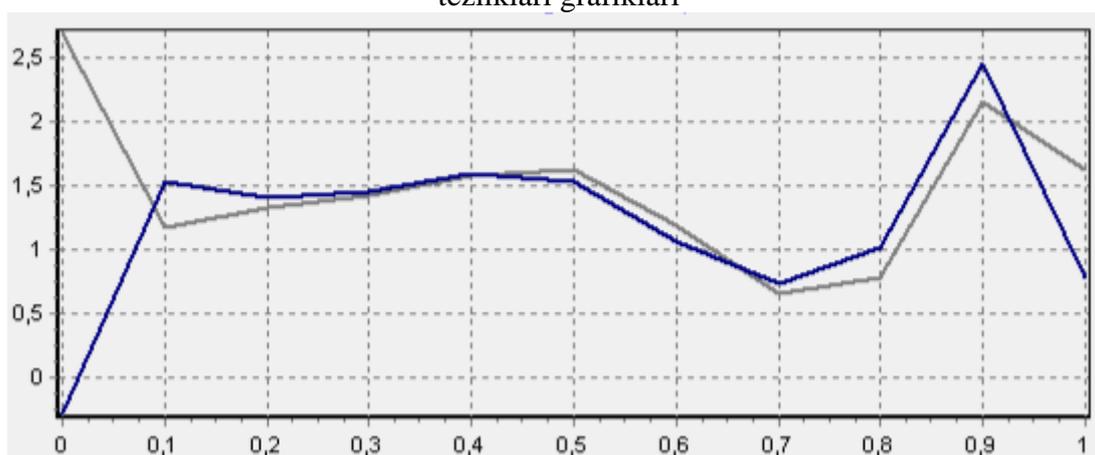
**PTMni pastga tushishdagi gorizontaal tebranishlari parametrlarining hisoblangan qiymatlari:**

| mm - PTi | mk1 - PT | mk2 - PT | mk3 - PT | mk4 - PT | Rapl - PT | Rbpp - P | Razl - PT | Rbzp - P | jm - PTMi | jpl - PTMi | jpp - PTM | jzl - PTMi | jzp - PTM |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| 12730    | -258,003 | -246,472 | -439,615 | -425,201 | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |
| 5528,54E | 1358,66E | 1297,93E | 2315,03E | 2239,13E | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |
| 6287,57E | 1248,96E | 1193,14E | 2128,13E | 2058,35E | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |
| 6754,12E | 1295,08E | 1237,20E | 2206,70E | 2134,35E | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |
| 7453,12E | 1414,71E | 1351,49E | 2410,55E | 2331,52E | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |
| 7648,10E | 1366,99E | 1305,90E | 2329,24E | 2252,87E | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |
| 5583,35E | 951,174E | 908,663E | 1620,71E | 1567,57E | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |
| 3118,06E | 647,419E | 618,484E | 1103,14E | 1066,97E | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |
| 3698,12E | 908,203E | 867,613E | 1547,49E | 1496,75E | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |
| 10192,8E | 2189,82E | 2091,95E | 3731,25E | 3608,92E | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |
| 7710,63E | 688,123E | 657,369E | 1172,50E | 1134,05E | 2194,987  | 2096,887 | 3740,062  | 3617,437 | 4750      | 895        | 855       | 1525       | 1475      |

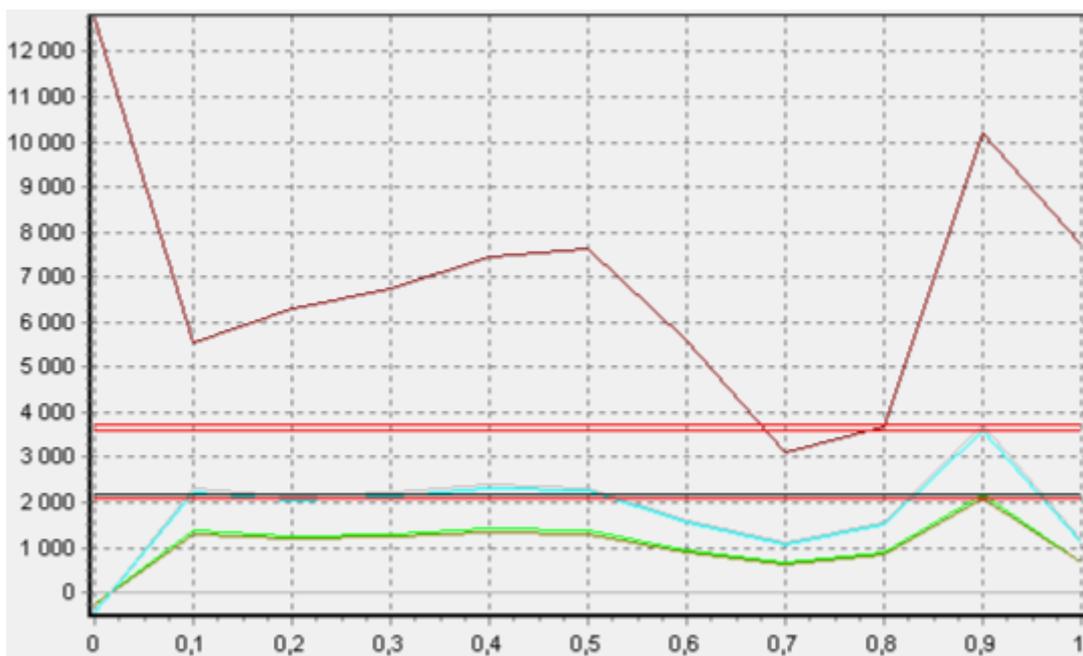
8-rasm. To'rt g'ildirakli traktorni pastlikga tushishdagi gorizontaal tebranishlarini hisoblash natijalari



9-rasm. To'rt g'ildirakli traktorni pastlikga tushishdagi gorizontaal tebranishlarini tezliklari grafiklari



10-rasm. To'rt g'ildirakli traktorni pastlikga tushishdagi gorizontaal tebranishlarini tezlanishlari grafiklari



11-rasm. To‘rt g‘ildirakli pastlikga tushishdagi gorizontaal tebranishlarini kuchlari va qarshilik kuchlari grafiklari

Tashqi kuchlar ta‘siridagi to‘rt g‘ildirakli traktorning funksional-konstruktiv parametrlarini aniqlash uchun pastlikga tushishdagi gorizontaal harakati tavsiflarini tadqiq qilish imkonini beruvchi dinamik jarayonlarini hisoblash eksperimentlarinig dasturiy vositalari ishlab chiqildi.

**Xulosa.** Tashqi kuchlar ta‘siridagi to‘rt g‘ildirakli traktorning pastlikga tushishdagi gorizontaal tebranma harakatini optimal boshqarish algoritmi ishlab chiqildi.

1. Olingan harakat tenglamalari asosida to‘rt g‘ildirakli traktorni pastlikga tushishdagi gorizontaal tebranma harakatlarini optimal boshqarishning algoritmi va Pontryaginining chegaraviy masalasi shakllantirildi.

2. To‘rt g‘ildirakli traktorning  $\theta=7^{\circ}$  qiyalikdagi pastlikga tushishdagi gorizontaal tebranma harakatlarini optimal boshqarishning algoritmi hisoblash eksperimentlarini o‘tkazish imkoniyatini berdi.

3. Olingan harakat tenglamalari asosida to‘rt g‘ildirakli traktorning  $\theta=7^{\circ}$  burchakli qiyalik bo‘ylab pastlikga tushishdagi gorizontaal harakatini hisoblash eksperimentlarining natijalari tortish kuchi gorizontall harakat bo‘yicha  $mm=7710,632 \div 12730$  N oraliqdagi sarfini ko‘rsatdi.

4. To‘rt g‘ildirakli traktorning  $\theta=7^{\circ}$  burchakli qiyalik bo‘ylab pastlikga tushishdagi gorizontaal harakatini hisoblash eksperimentlarinig natijalari yuqoriga ko‘tarilishidagi inersiya kuchlari yo‘nalish tomongai bo‘lganligi sababli tortish kuchi ko‘proq sarf bo‘lishini ko‘rsatdi.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Azimov B.M., Ravutov Sh.T., Saidov S.A., Mirxaitov U.T. TTZ traktorlarining yuritish qismini sinash stendining imitatsiya tizimini loyihalash masalasini qo‘yilishi va yechish usullari // Informatika va energetika muammolari O‘zbekiston jurnali, 2017. №2. 27 – 33 bet.
2. Azimov B.M., Sulyukova L.F., Akhmedov Sh.A., Azimov M.B. Mathematical Modeling of Tractor Movement on the Slope // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD). Vol. 10. Issue

3. Jun 2020. P. 4953–4962. Scopus, CiteScore 2019=0.7. DOI: 10.24247/ijmperdjun2020469. <http://www.tjprc.org/publishpapers/> 2-67-1595841159-469IJMPERDJUN2020469.
3. Azimov B.M., Sulyukova L. F., Azimov M.B. Modeling and Research of the Controllability of Wheeled Tractors// International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). Vol. 9 Issue-1, November 2019. P.2344 – 2351. Scopus, CiteScore 2019=0.6. <https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v9i1/A5246119119>.
4. Azimov B.M., Ro‘ziqulov A.R., Yakubjanova D.K., Ixsanova Sh.Z., Norqulov J.Sh. Mashinatraktorli agregatlarni raqamli loyihalash uchun egri chiziqli, qiyaliklardagi, balandlikka ko‘tarilishi va pastlikka tushishidagi harakatining optimal parametrlarini hisoblash dasturlari majmuasi. O‘zR Adliya vazirligi. EHM uchun dasturni ro‘yxatdan o‘tkazish haqida qaror. № DGU 42305 raqamli guvohnoma. Berilgan sanasi. 11.09.2024 y.
5. Azimov M.B. G‘ildirakli traktorlarni sinash tizimini tadqiq qilish jarayonlarini IDEFO uslubiyati asosida grafikaviy modellashtirish // Informatika va energetika muammolari O‘zbekiston jurnali. 2023. №3. 29 – 35 bet.
6. Ахметов А.А., Усманов И.И., Рузиев Д.А., Ахмедов Ш.А. Высококлиренсный, высокоманевренный универсально-пропашной трактор // Горный вестник. 2014. №3. С. 109 – 112.
7. Ахметов А.А. Универсально-пропашные тракторы для междурядной обработки посевов хлопчатника. Ташкент: Фан, 2017.
8. Бабашев К.А., Азимов М.Б. Математическое моделирование и управление процессами испытания колесных машин// Материалы XVIII Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии». Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации», ООО «Вэлборн». 2018. Т. 5. С. 108 – 113.
9. Гуськов В.В. и др. Тракторы: Теория. М.: Машиностроение, 1988. С.33 – 35.
10. Дубинин Е.А., Полянский А.С. Математическое моделирование движения шарнирно-сочлененного колесного средства транспорта по неровностям// Науковий вісник ТДАТУ. Вип. 5, 2015. Т.1.С.53–66. <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf5t1/9.pdf>.
11. Жилейкин М.М., Ягубова Е.В., Чижов Д.А. Экспериментальное исследование эффективности стабилизации движения трактора при работе на склоне в режиме вспашки на масштабных моделях // Известия высших учебных заведений. МАШИНОСТРОЕНИЕ. 2015. №4 [661]. С.57 – 66.
12. Loghin Fl., Ene T.A., Mocanu V., Capatîna I. Dynamic modeling of technical system tractor - seed drill // Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series II: Forestry Wood Industry • Agricultural Food Engineering • Vol. 5 (54). 2012. No. 1. P.155–160.
13. Norkulov J.Sh., Ihsanova Sh.Z. Investigation of the function of a four-wheeled tractor on a slope //Of Turin polytechnic university in Tashkent «Acta». Tashkent. July 2020. P. 1 – 10.
14. Onorboev B.O., Sulyukova L.F., Azimov M.B. Modeling and research of the controllability of wheeled tractors // Сборник докладов республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы применения цифровых технологий и искусственного интеллекта в управлении. Ташкент, 6 – 7 сентября 2021г. С.172 – 181.
15. Поддубный В.И., Поддубная М.Л. Математическое моделирование управляемого движения колесной машины по задаваемой траектории//

- Ползуновский вестник. 2014. №4. Т.1. [http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2014\\_04\\_1/pdf/040poddubniy.pdf](http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2014_04_1/pdf/040poddubniy.pdf).
16. Рузикулов А.Р., Азимов М.Б., Абдуллаев Ж.Э., Идрисов Р. Программный комплекс расчета оптимальных параметров горизонтальных и вертикальных колебаний четырехколесного универсально-пропашного трактора при различных условиях движения // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент, 2020. №4.
  17. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. М.: Машиностроение, 1990. С.173 – 278.
  18. Тарасова С.В. Методика и исследование результатов взаимодействия протектора с наклонной опорной поверхностью в режиме варьирования углами увода пневматических шин // Известия ОГАУ. 2015. №2. С.84 – 87.
  19. Афанасьев В.Н. Теория оптимального управления непрерывными динамическими системами. М.: Изд-во физического факультета МГУ. 2011. – 170 с.
  20. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1988. С. 421 – 485.

Ўзбекистон Республикаси Raqamli texnologiyalar vazirligi  
huzuridagi Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektni  
rivojlantirish ilmiy-tadqiqot instituti

07.07.2025-у.  
qabul qilingan

UDK 004.93'1

**O.R. YUSUPOV**

## **STATIK YO'NALTIRISHGA ASOSLANGAN PANSHARPENING ALGORITMIK KOMPOZITSIYASINING PARAMETRLARINI KO'P MEZONLI OPTIMALLASHTIRISH ASOSIDA SOZLASH**

Ushbu maqolada pansharpening algoritmik kompozitsiyasi parametrlarini statik yo'naltirish asosida ko'p mezonli optimallashtirish orqali sozlash yondashuvi taklif etilgan. Modelda klassik pansharpening usullari (IHS, PCA, Brovey, GS, GSA, BDS) ekspertlar kompozitsiyasi (MoE) shaklida birlashtirildi. Statik yo'naltirish mexanizmi PAN va MS tasvirlarning gradiyent, dispersiya va entropiya kabi statistik belgilariga asoslanib, ekspert vaznlarini oldindan aniqlaydi. Parametrlar NSGA-II evolyutsion algoritmi yordamida PSNR, SSIM, ERGAS va SAM mezonlari bo'yicha optimallashtirildi. Yakuniy optimal yechim TOPSIS, VIKOR va AHP kabi MCDM usullari yordamida tanlandi. PairMax Dataset asosida o'tkazilgan tajribalar modelning fazoviy tafsilotlarni tiklash va spektral yaxlitlikni saqlashda samaradorligini tasdiqladi.

**Kalit so'zlar:** pansharpening, algoritmik kompozitsiya, statik yo'naltirish, NSGA-II, ko'p mezonli optimallashtirish, MCDM.

**O.P. Юсупов**

### **Настройка параметров алгоритмической композиции паншарпенинга, базирующейся на статической маршрутизации, на основе многокритериальной оптимизации**

В статье предложен подход к настройке параметров алгоритмической композиции паншарпенинга на основе статической маршрутизации и многокритериальной оптимизации. Классические методы (IHS, PCA, Brovey, GS, GSA, BDS) объединены в композицию экспертов

(MoE). Весовые коэффициенты экспертов определяются по статическим признакам изображений PAN и MS (градиент, дисперсия, энтропия). Оптимизация параметров выполнялась с использованием эволюционного алгоритма NSGA-II по критериям PSNR, SSIM, ERGAS и SAM. Для выбора единственного оптимального решения применены методы MCDM (TOPSIS, VIKOR, AHP). Эксперименты на наборе PairMax Dataset показали высокую эффективность модели в восстановлении пространственных деталей и сохранении спектральной согласованности.

**Ключевые слова:** паншарпенинг, алгоритмическая композиция, статическая маршрутизация, NSGA-II, многокритериальная оптимизация, MCDM.

**O.R. Yusupov**

### **Tuning the parameters of a pansharpening algorithmic composition based on static routing using multi-objective optimization**

This paper proposes an approach to tuning the parameters of a pansharpening algorithmic composition based on static routing and multi-objective optimization. Classical methods (IHS, PCA, Brovey, GS, GSA, BDSD) are combined into a Mixture of Experts (MoE) framework. The expert weights are determined from statistical features of PAN and MS images, such as gradient, variance, and entropy. Parameter optimization is performed using the NSGA-II evolutionary algorithm considering PSNR, SSIM, ERGAS, and SAM criteria. To select the final optimal solution, MCDM methods (TOPSIS, VIKOR, AHP) are applied. Experiments on the PairMax Dataset demonstrate the proposed model's effectiveness in preserving spectral fidelity while enhancing spatial details.

**Keywords:** pansharpening, algorithmic composition, static routing, NSGA-II, multi-objective optimization, MCDM.

**KIRISH.** Masofaviy zondlash texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida yer yuzasining yuqori fazoviy va spektral aniqlikdagi tasvirlarini olish imkoniyati kengaymoqda. Bunda, PAN (panxromatik) tasvirlar yuqori fazoviy, MS (multispektral) tasvirlar esa yuqori spektral aniqlikka ega bo'lib, ularni uyg'unlashtirish orqali fazoviy va spektral jihatdan mazmunli tasvirlarni hosil qilish imkonini beruvchi pansharpening texnologiyasi asosiy rol o'ynaydi [1,2].

Pansharpening algoritmlari orasida klassik yondashuvlar (IHS, PCA, Brovey, GS, GSA va b.) soddaligi hamda tezkorligi bilan ajralib turadi. Biroq, ularning har biri ma'lum cheklolarga ega: ayrimlari fazoviy obyektini yaxshi tiklasa-da, spektral xususiyatlarni buzadi va aksincha [1-3]. Shu bois, bu usullarni o'zaro uyg'unlashtirish masalasi dolzarb hisoblanadi [4].

So'nggi yillarda ekspertlar aralashmasiga asoslangan (Mixture of Experts – MoE) algoritmik kompozitsiyasi bu muammoni yechishda istiqbolli yondashuv sifatida qarash mumkin. Har bir klassik pansharpening algoritmi mustaqil ekspert sifatida ko'riladi va yakuniy tasvir ularning kombinatsiyasi orqali shakllantiriladi. MoE algoritmik kompozitsiyasining muvaffaqiyatli ishlashi uchun har bir piksel yoki lokal soha uchun mos ekspertlarga qanday vazn qiymat berilishi muhim ahamiyat kasb etadi. Buning uchun shlyuz komponenti har bir piksel uchun fazoviy va spektral xususiyatlarga asoslangan yo'naltirishni amalga oshiradi [5].

Ushbu maqolada biz statik yo'naltirishga asoslangan MoE algoritmik kompozitsiyasini ko'rib chiqamiz. Shlyuz PAN va MS tasvirlardan olinadigan oddiy statistik xususiyatlar (gradiyent, o'rtacha qiymat, standart og'ish) asosida SoftMax vaznlarini hisoblaydi. Bu vaznlar har bir ekspert natijalarining hissasini aniqlab beradi. Biroq, yo'naltirish vektorlari tasodifiy tanlanganda optimal natijalar bermaydi.

Shu sababli, yo'naltirish vektorlarini optimal tanlash masalasi ko'p mezonli optimallashtirish masalasiga keltiriladi. Taklif etilayotgan yondashuvda yo'qotish funksiyasi sifatida PSNR, SSIM, SAM, va ERGAS metrikalari tanlanadi [3, 6, 7]. Har bir metrika ma'lum jihatlarni baholaydi: PSNR va SSIM – umumiy sifat, SAM – spektral burchak, ERGAS – global nisbiy xato. Ular birgalikda tasvir sifatini har tomonlama baholash imkonini beradi.

Yo‘naltirish vektorlari ushbu metrikalarni minimallashtiruvchi shaklda NSGA-II algoritmi yordamida optimallashtiriladi. Bu esa pansharpening algoritmik kompozitsiyasini har bir piksel uchun optimal ekspertlar birikmasini aniqlashni amalga oshiradi.

**Masalaning qo‘yilishi.** Masofadan zondlash texnologiyalari yordamida olingan multispektral (MS) va panxromatik (PAN) tasvirlar fazoviy va spektral jihatdan farqlanadi. Yuqori fazoviy aniqlik PAN tasvirlarda, yuqori spektral aniqlik esa MS tasvirlarda mavjud bo‘lib, har ikkala xususiyatni birlashtirgan yuqori sifatli tasvirlarni olish muhim amaliy va ilmiy masaladir. Masalani matematik qo‘yilishi  $\mathcal{F}: \mathbb{R}^{H \times W} \times \mathbb{R}^{\lfloor \frac{H}{k} \rfloor \times \lfloor \frac{W}{k} \rfloor \times C} \rightarrow \mathbb{R}^{H \times W \times C}$  quyidagicha ifodalanadi,

$$\mathcal{F} = \mathcal{P}(\mathcal{J}_{pan}, \mathcal{J}_{MS}),$$

bu yerda  $\mathcal{J}_{pan} \in \mathbb{R}^{H \times W}$  – panxromatik tasvir,  $\mathcal{J}_{MS} \in \mathbb{R}^{\lfloor \frac{H}{k} \rfloor \times \lfloor \frac{W}{k} \rfloor \times C}$  – multispektral tasvirlar,  $H, W$  – tasvirlar o‘lchamlari,  $C$  – kanallar soni,  $k$  – panxromatik va multispektral tasvir o‘lchamlarini nisbati.

Masala  $\mathcal{P}$  funksiyani amalga oshiruvchi usul yoki algoritmni ishlab chiqish bo‘lib, uni shunday qurish kerakki, natijaviy multispektral tasvirlarda spektral va fazoviy buzilishlar minimal bo‘lishini ta’minlashishi lozim.

**Masalani yechish usuli.** Taklif etilayotgan usulning asosiy g‘oyasi – PAN tasvirdan yuqori fazoviy tafsilotlarni, MS tasvirdan esa spektral rang xususiyatlarini ajratib olish va ularni ekspertlar aralashmasi (MoE) algoritmik kompozitsiyasi [7] orqali birlashtirishdan iborat. MoE algoritmik kompozitsiyasi doirasida har bir ekspert klassik (o‘qitishga asoslanmagan) pansharpening usulini ifodalaydi (masalan, IHS, Brovey, PCA, GSA va h.k.), va shlyuzlar PAN va MS tasvirdan olingan xususiyatlar asosida har bir piksel (yoki lokal soha) uchun mos ekspertlarga vazn qiymatlarini taqsimlaydi.

**MoE** pansharpening algoritmik kompozitsiyasini quyidagi shaklda ifodalaymiz,

$$\mathcal{F}^c(x, y) = \mathcal{C} \left( \sum_{t=1}^T g_t(x, y) \mathcal{E}_t \left( \mathcal{J}_{pan}(x, y), \check{\mathcal{J}}_{MS}^c(x, y) \right) \right), c = 1..C,$$

bu yerda  $\mathcal{C}(\cdot)$  – natijalarni korreksiyalash funksiyasi,  $T$  – ekspertlar soni,  $g_t(x, y)$  – kompetentlik funksiyasi (shlyuz),  $\mathcal{E}_t$  –  $t$ -ekspert (pansharpening algoritmi),  $\check{\mathcal{J}}_{MS}^c$  – interpolyatsiya usullari asosida PAN kanal o‘lchamiga keltirilgan  $c$ -MS kanal tasviri, ya’ni  $\check{\mathcal{J}}_{MS} = (\check{\mathcal{J}}_{MS}^1, \check{\mathcal{J}}_{MS}^2, \dots, \check{\mathcal{J}}_{MS}^c) \in \mathbb{R}^{H \times W \times C}$ . Agar  $g_t(x, y)$  qiymati qanchalik katta bo‘lsa,  $\mathcal{J}_{pan}(x, y)$  va  $\check{\mathcal{J}}_{MS}(x, y)$  piksellarni birlashtirish algoritmi  $\mathcal{E}_t$  ning natijasida aniqlangan  $(x, y)$  piksel qiymati shunchalik katta ta’sir bilan hisobga olinadi. To‘plam

$$\Omega_t = \{(x, y) | x \in \{1, 2, \dots, H\}, y \in \{1, 2, \dots, W\}: g_t > g_s, s = 1, \dots, T, s \neq t\}$$

asos algoritm  $\mathcal{E}_t$  ning kompetentlik sohasi deb ataladi [5].

Ekspert sifatida shakllantiriladigan  $\mathcal{F}_t: \mathbb{R}^{H \times W} \times \mathbb{R}^{H \times W \times C} \rightarrow \mathbb{R}^{H \times W \times C}$  algoritm mustaqil klassik pansharpening algoritmi asosida amalga oshiriladi,

$$\mathcal{F}_t = \mathcal{E}_t(\mathcal{J}_{pan}, \check{\mathcal{J}}_{MS}), t = 1, 2, \dots, T.$$

bu yerda  $\mathcal{F}_t$  –  $t$ -ekspert tomonidan hosil qilingan tasvir.

Shlyuz natijaviy piksel intensivlik qiymatida ekspert algoritmlar tomonidan hisoblangan har bir piksel intensivligining ta’sirini aniqlashda vazn qiymatlarini hisoblashni amalga oshiradi. Har bir  $(x, y)$  piksel uchun tabiiy bo‘lgan normallashtirish sharti quyidagicha bo‘ladi,

$$\mathfrak{S}(x, y) = [g_1(x, y), g_2(x, y), \dots, g_t(x, y)] \in \mathbb{R}^T,$$

$$\sum_{t=1}^T g_t(x, y) = 1, \quad g_t(x, y) \geq 0, \quad \forall x \in \{1, 2, \dots, H\}, \forall y \in \{1, 2, \dots, W\}.$$

Biz [5] maqolamiz asosida statik yoʻnaltirishdan foydalandik. Unda PAN tasvir va uning gradiyenti, multispektral kanallar tasvirlari oʻrtachasi va kvadratik chetlanishdan foydalanildi. PAN tasvir va uning gradiyenti fazoviy belgilarni, multispektral kanallar tasvirlari oʻrtachasi va dispersiyasi esa spektral belgilarni yaxshi ifodalaydi. PAN tasvir gradiyentini hisoblash Sobel operatori asosida amalga oshiriladi.

Ushbu usulni amalga oshirishda quyidagi pansharpening algoritmi asosida amalga oshirildi. Algoritm asosiy asoslari [5] maqolamizda berilgan.

**Berilgan maʼlumotlar:**  $J_{pan}$  – PAN tasviri;  $J_{MS}$  – multispektral tasvirlar;  $T$  ta  $\mathcal{E}_t$  klassik pansharpening algoritmlari.

**Chiquvchi maʼlumotlar:**  $\mathcal{F}$  – yuqori fazoviy ruxsatli va oʻlchamli multispektral tasvirlar.

**1-qadam.** Interpolyatsiya usuli asosida berilgan barcha  $J_{MS}$  multispektral tasvirlar oʻlchami  $K$  marta kattalashtiriladi:

$$\tilde{J}_{MS} = UpSampled(Interpolatsiya, J_{MS}, K).$$

**2-qadam.**  $\tilde{J}_{MS}$  multispektral tasvirlarning har bir kanal boʻyicha intensivlik qiymati Min-Max usuli asosida normallashtiriladi,

$$\hat{j}_{MS}^c(x, y) = \frac{\check{j}_{MS}^c(x, y) - \check{j}_{min}^c}{\check{j}_{max}^c - \check{j}_{min}^c + \zeta}, \quad c = 1..C,$$

bu yerda  $\zeta$ -maxrajni 0 qiymatga olib kelmaslikni taʼminlovchi kichik qiymat,  $\check{j}_{min}^c = \min_{t \in \{1,2,\dots,H\}, s \in \{1,2,\dots,W\}} \check{j}_{MS}^c(t, s)$ ,  $\check{j}_{max}^c = \max_{t \in \{1,2,\dots,H\}, s \in \{1,2,\dots,W\}} \check{j}_{MS}^c(t, s)$ .

**3-qadam.**  $J_{pan}$  PAN tasvirining intensivlik qiymati Min-Max usuli asosida normallashtiriladi,

$$\hat{j}_{pan}(x, y) = \frac{J_{pan}(x, y) - J_{min}^p}{J_{max}^p - J_{min}^p + \bar{\zeta}},$$

bu yerda  $\bar{\zeta}$  – maxrajni 0 qiymatga olib kelmaslikni taʼminlovchi kichik qiymat,  $J_{min}^p = \min_{t \in \{1,2,\dots,H\}, s \in \{1,2,\dots,W\}} J_{pan}(t, s)$ ,  $J_{max}^p = \max_{t \in \{1,2,\dots,H\}, s \in \{1,2,\dots,W\}} J_{pan}(t, s)$ .

**4-qadam.** Berilgan har bir ekspert asosida  $\mathcal{F}_t$  yuqori oʻlchamli multispektral tasvirlarni hosil qilish amalga oshiriladi,

$$\mathcal{F}_t = \mathcal{E}_t(J_{pan}, \hat{j}_{MS}), t = 1, 2, \dots, T.$$

**5-qadam.** Shlyuzni yoʻnaltirish uchun fazoviy belgilarni ifodalaydigan Sobel operator gradiyentini hisoblash amalga oshiriladi:

$$\nabla J_{pan} = Sobel(\hat{j}_{pan}).$$

**6-qadam.** Shlyuzni yoʻnaltirish uchun spektral belgilarni ifodalaydigan multispektral tasvirlarning har bir pikselining intensivlik qiymatlari boʻyicha oʻrtacha, kvadratik chetlanishlarni hisoblashlar amalga oshiriladi:

$$\mu_{MS}(x, y) = \frac{1}{C} \sum_{c=1}^C \hat{j}_{MS}^c(x, y);$$

$$\sigma_{MS}(x, y) = \sqrt{\frac{1}{C} \sum_{c=1}^C (\hat{j}_{MS}^c(x, y) - \mu_{MS}(x, y))^2}.$$

**7-qadam.** SoftMax yumshoq hisoblash funksiyasi asosida har bir ekspert vazn qiymatlarini hisoblash amalga oshiriladi:

$$g_t(x, y) = \frac{e^{\langle \tilde{g}(x, y), \beta_t \rangle}}{\sum_{k=1}^T e^{\langle \tilde{g}(x, y), \beta_k \rangle}}, \quad t = 1, 2, \dots, T,$$

bu yerda  $\tilde{g}(x, y) = [\hat{J}_{pan}(x, y), \nabla J_{pan}(x, y), \mu_{MS}(x, y), \sigma_{MS}(x, y)]$ ,  $\beta_t$  –  $t$ -ekspertning shlyuz parametr vektori.

**8-qadam.** Ekspertlar natijalarini birlashtirish asosida yakuniy multispektral kanal tasvirlari hosil qilinadi:

$$\mathcal{F}^c(x, y) = \mathcal{C} \left( \sum_{t=1}^T g_t(x, y) \mathcal{F}_t^c(x, y) \right), c = 1..C,$$

bu yerda  $\mathcal{F}_t = (\mathcal{F}_t^1(x, y), \mathcal{F}_t^2(x, y), \dots, \mathcal{F}_t^c(x, y))$ .

**9-qadam.** Algoritm yakunlanadi.

Algoritm dagi  $UpSampled(Interpolatsiya, J_{MS}, k)$ ,  $Sobel(\hat{J}_{pan})$  va  $\mathcal{E}_t(J_{pan}, \hat{J}_{MS})$  lar tegishli hisoblashlarni amalga oshiruvchi protseduralar hisoblanadi.

Mazkur pansharpening algoritmini hisoblashni amalga oshirish uchun parametrlash bosqichini amalga oshirish lozim. 7-qadam hisoblash jarayonida har bir ekspertning shlyuz parametr vektori  $\beta_i = (\beta_{i_1}, \beta_{i_2}, \dots, \beta_{i_r})$  dan foydalaniladi. Ushbu parametrlar to‘plami asosida taklif etilgan pansharpening algoritmnining parametrlar fazosi  $\pi^\ell$  ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\pi^\ell = (\{\beta_1\}, \{\beta_2\}, \dots, \{\beta_T\}).$$

Parametrlash bosqichini amalga oshirish, ya’ni pansharpening algoritmlar oilasi bilan sonli parametrlar to‘plami o‘rtasidagi birma-bir moslikni o‘rnatish, mazkur algoritmlar oilasi doirasida optimallashtirish masalasini qo‘yish va parametrlar fazosida optimallashtirish jarayonlarini amalga oshirishning mumkin bo‘lgan yo‘llarini belgilash imkonini beradi.

Optimallashtirish parametrlar to‘plamining qaysi biri orqali algoritmlar oilasi aniqlanishiga bog‘liq bo‘lgan  $\varrho$  o‘lchovli fazoda yoki uning sohasida amalga oshiriladi. Shu ma’noda, pansharpening aniq algoritmini qurish masalasi ko‘rib chiqilayotgan algoritmlar oilasi doirasida optimallashtirish masalasiga keltiriladi. Umumiy holda optimallashtirish masalasini quyidagicha ifodalash mumkin,

$$\pi^{\ell*} = \arg \inf_{\pi^\ell \in \pi} Q(\mathcal{A}(\pi^\ell, \bar{\mathcal{S}}^l)), \quad (1)$$

bu yerda  $\bar{\mathcal{S}}^l$  – ruxsat etilgan  $l$  ta obyektlar.

Optimallashtirish ikkita holatdagi masalasi yechishni talab etadi: etalonli va etalonsiz. Biz qarayotgan masalada etalon mavjud bo‘lgan holat olingan. Masalada parametrlar shunday aniqlanishi kerakki, ular yordamida hosil qilingan tasvirlar bilan etalon tasvirlar o‘rtasidagi farqni ifodalovchi funksiya minimumga ega bo‘lsin. Bunda yechim sifatida, odatda, farqlilikni minimallashtirish sifatini baholovchi funksiyalardan foydalaniladi.

Masalaning asosiy murakkabligi shundaki, tasvir aniqligini oshirish sifatini baholash o‘zi alohida masala bo‘lib, u uchun umumqabul qilingan yagona sifat mezonini mavjud emas. Boshqa bir muammo esa – baholash funksiyasini o‘zi aniqligi oshiriladigan usulga to‘g‘ridan to‘g‘ri integratsiya qilish qiyin, ya’ni usul parametrlarini bevosita sozlash emas, balki natija va etalon tasvir o‘rtasidagi taqqoslash orqali bilvosita amalga oshiriladi.

Yana bir muammo sun’iy yo‘ldosh tasvirlarining olinishi bilan bog‘liq. Bu holatda, yaxshilanishi lozim bo‘lgan multispektral tasvir sun’iy ravishda yaratiladi. Sababi – kosmik apparat bortidagi sensorlar Yer yuzasidan qaytgan nurni turli qabul qiluvchilarga yozib oladi. Natijada bir xil sahna turli spektral to‘lqin uzunliklarida tasvirlanadi. Odatda, ularning biri – butun ko‘rinadigan spektrni qamrab oluvchi va yuqori fazoviy aniqlikka ega bo‘lgan panxromatik kanal bo‘ladi. Multispektral tasvir esa, aksincha, pastroq fazoviy aniqlikda, har biri tor spektral diapazonlarda yozib olingan bir nechta kanallarni o‘z ichiga oladi.

Aslida bitta fazoviy aniqlikdagi multispektral tasvir mavjud bo'lgani sababli, sifatni baholash yoki algoritmi sozlash uchun sun'iy ravishda etalon tasvir yoki past aniqlikdagi boshlang'ich multispektral tasvirlarni yaratishni taqozo etadi.

(1) masalani ko'p mezonli optimallashtirish masalasini quyidagicha shakllantiramiz. Hosil qilinadigan multispektral tasvirning sifatini baholash metrikalari sifatida quyidagilar olinadi:

**PSNR.** Tasvirning aniqlik darajasini (ya'ni, shovqinsizligi) baholaydi. U etalon (asl) tasvir bilan tiklangan (fused) tasvir orasidagi o'rtacha kvadratik xatolik (MSE) asosida hisoblanadi. PSNR qiymati qanchalik yuqori bo'lsa, tasvir sifati shunchalik yaxshi. Odatda 30 dB dan yuqori PSNR yaxshi sifat deb hisoblanadi;

**SSIM.** SSIM tasvirlar orasidagi struktura, kontrast va yorqinlik o'xshashligini hisobga olgan holda ularning o'xshashligini baholaydi. SSIM qiymati 0 dan 1 gacha bo'ladi. 1 ga yaqin bo'lsa, tasvirlar juda o'xshash hisoblanadi;

**SAM.** SAM ikki tasvirning spektral vektorlari orasidagi burchak farqini o'lchaydi. SAM qiymati burchak (gradus yoki radian) bilan o'lchanadi. Qiymat qanchalik kichik bo'lsa, spektral o'xshashlik shunchalik yuqori;

**ERGAS.** ERGAS – tasvirlar orasidagi umumiy nisbiy xatolikni foiz shaklida baholovchi metrikadir. U barcha spektral kanallardagi MSE va ularning o'rtacha qiymatlari asosida hisoblanadi. ERGAS qiymati qanchalik kichik bo'lsa, natijaviy tasvir shunchalik sifatli hisoblanadi. Ko'pgina holatlarda 3–5 oralig'idagi qiymat yaxshi natija deb qaraladi.

Ushbu baholash metrikalari asosida mezonlarni quyidagicha yozamiz,

$$\begin{aligned}\Phi_1(\pi^\ell) &= \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l PSNR(\bar{\mathcal{S}}_i, \mathcal{A}(J_{pan}, \check{J}_{MS}, \pi^\ell)) \rightarrow \max, \\ \Phi_2(\pi^\ell) &= \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l SSIM(\bar{\mathcal{S}}_i, \mathcal{A}(J_{pan}, \check{J}_{MS}, \pi^\ell)) \rightarrow \max, \\ \Phi_3(\pi^\ell) &= \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l SAM(\bar{\mathcal{S}}_i, \mathcal{A}(J_{pan}, \check{J}_{MS}, \pi^\ell)) \rightarrow \min, \\ \Phi_4(\pi^\ell) &= \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l ERGAS(\bar{\mathcal{S}}_i, \mathcal{A}(J_{pan}, \check{J}_{MS}, \pi^\ell)) \rightarrow \min.\end{aligned}$$

Mezonlarning ikkitasi maksimallashtirish, 2 tasi minimallashtirishni talab etadi. Ko'p mezonli optimallashtirishda esa, mezonlar odatda, bir yo'nalishdagi mezonlarda bo'lishni talab etadi. Biz optimallashtirish masalasini yechish uchun minimallashtirish yo'nalishini tanladik va  $\Phi_1, \Phi_2$  mezonlarni qayta quyidagicha ifodalaymiz:

$$\begin{aligned}\Phi_1(\pi^\ell) &= -\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l PSNR(\bar{\mathcal{S}}_i, \mathcal{A}(J_{pan}, \check{J}_{MS}, \pi^\ell)) \rightarrow \min, \\ \Phi_2(\pi^\ell) &= -\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l SSIM(\bar{\mathcal{S}}_i, \mathcal{A}(J_{pan}, \check{J}_{MS}, \pi^\ell)) \rightarrow \min.\end{aligned}$$

Optimallik mezonlarini vektor-funksiyasi quyidagicha ifodalanadi,

$$\Phi(\pi^\ell) = [\Phi_1(\pi^\ell), \Phi_2(\pi^\ell), \Phi_3(\pi^\ell), \Phi_4(\pi^\ell)], \quad (2)$$

bu yerda  $\Phi(\pi^\ell)$  qiymatlari  $\{\Phi\} = \mathbb{R}^{|\Phi|}$  maqsadli fazoda aniqlangan vektor-funksiya bo'lib, uning aniqlanish sohasi  $\pi^\ell \in \pi$  da berilgan.

$\pi$  sohada optimallik mezonlarini minimallashtirish masalasini, ya'ni ko'p mezonli optimallashtirishni quyidagicha ifodalaymiz,

$$\min_{\pi^{\varrho} \in \pi} \Phi(\pi^{\varrho}) = \Phi(\pi^{\varrho^*}) = \Phi^*. \quad (3)$$

Ko'p mezonli optimallashtirish masalasi  $\pi^{\varrho}$  parametrlarni aniqlashdan iborat bo'lib, bu (2) formuladagi optimallik mezonlarining ekstremum qiymatlariga erishish maqsadida (3) formula asosida amalga oshiriladi.

Ko'p mezonli optimallashtirish masalalarida bir vaqtning o'zida bir nechta qarama-qarshi mezonlarni (masalan, fazoviy va spektral sifatni) hisobga olish zarurati yuzaga keladi. Bunday masalalarni yechishda klassik optimallashtirish usullari, odatda, yagona yechim topishga qaratilgan bo'lib, mezonlar o'rtasidagi muvozanatni ta'minlay olmaydi. Shu bois ko'p mezonli optimallashtirish usullari, xususan, NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) algoritmi, pansharpening algoritmining parametrlarini sozlash uchun samarali yechimlar taqdim etadi [8].

NSGA-II algoritmining asosiy g'oyasi – Pareto optimal yechimlar majmuasini topishdir. Bunday yechimlar to'plamida har bir yechim boshqa bir yechimdan barcha mezonlar bo'yicha ustun bo'lmaydi. Boshqacha aytganda, bunday yechimlar muqobil hisoblanib, biror mezonda yutuq bo'lishi uchun boshqa mezonda yo'qotishga to'g'ri keladi. NSGA-II evolyutsion algoritmi bo'lib, genetik algoritmlar prinsipi asosida ishlaydi va har bir avlodda dominant bo'lmagan (ya'ni, Pareto optimal) yechimlarni tanlab, ularni crossover va mutatsiya yordamida yangilab boradi.

Pansharpening usulidagi  $\pi^{\varrho^*}$  parametrlarni aniqlash uchun ko'p mezonli optimallashtirish masalasini yechishga evolyutsion algoritmlar oilasiga kiruvchi Pareto-approksimatsiyaga asoslangan NSGA-II algoritmi [8] qo'llanildi.

NSGA-II evolyutsion algoritmi asosida pansharpening algoritmik kompozitsiyasining parametrlarini sozlash algoritmi quyidagi bosqichlardan iborat.

**1-bosqich.** *Boshlang'ich populyatsiyani yaratish.* Tasodifiy qiymat berish orqali  $\mathcal{N}$  ta yo'naltirish vektorlardan iborat boshlang'ich populyatsiya yaratiladi:

$$\mathfrak{P}_0 = \{\pi_1^{\varrho}, \pi_2^{\varrho}, \dots, \pi_{\mathcal{N}}^{\varrho}\},$$

bu yerda  $\pi_i^{\varrho} = (\{\beta_{i_1}\}, \{\beta_{i_2}\}, \dots, \{\beta_{i_T}\})$ ,  $\beta_{i_j} \in \mathbb{R}^4$ ,  $\beta_{i_j}^k \sim \mathcal{U}(-a, a)$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, \mathcal{N}\}$ ,  $k \in \{1, 2, 3, 4\}$ ,  $\mathcal{N}$  – populyatsiya hajmi.

**2-bosqich.** *Statik MoE pansharpening algoritmining hisoblashlarini amalga oshirish.* Har bir individ asosida algoritmi hisoblash amalga oshirilib, ruxsat etilgan  $l$  ta obyektlar uchun multispektral tasvirlar hosil qilinadi.

**3-bosqich.** *Fitnes funksiyalarini hisoblash.* Har bir individ uchun

$$\Phi(\pi_i^{\varrho}) = [\Phi_1(\pi_i^{\varrho}), \Phi_2(\pi_i^{\varrho}), \Phi_3(\pi_i^{\varrho}), \Phi_4(\pi_i^{\varrho})], i \in \{1, 2, \dots, \mathcal{N}\},$$

maqsad funksiyalarini hisoblash amalga oshiriladi.

**4-bosqich.** *Pareto dominant bo'lmagan tartiblashni (Pareto-non-dominated sorting) amalga oshirish.* Har bir individ  $\pi_i^{\varrho}$  uchun boshqa individlarga nisbatan dominantlik quyidagicha aniqlanadi:

$$\pi_a^{\varrho} < \pi_b^{\varrho} \Leftrightarrow \forall i, \Phi_i(\pi_a^{\varrho}) \leq \Phi_i(\pi_b^{\varrho}), \exists j, \Phi_j(\pi_a^{\varrho}) < \Phi_j(\pi_b^{\varrho}).$$

Bu qoidaga ko'ra  $\pi_a^{\varrho}$  parametrlar asosidagi mezonlar  $\pi_b^{\varrho}$  parametrlardagi mezonlardan yomon emasligi hamda kamida bitta mezon bo'yicha  $\pi_a^{\varrho}$  ustunligini bildiradi. Mazkur qoida asosida barcha individlar Pareto frontlarga quyidagicha ajratiladi:

1. Birinchi front  $\mathfrak{F}_1$  aniqlanadi. Pareto-optimal yechim bu to'plamdagi har bir yechim hech bir boshqa yechim tomonidan dominant qilinmaslik asosida aniqlanadi,

$$\mathfrak{F}_1 = \{\pi_c^{\varrho} \in \mathfrak{P}_t \mid \nexists \pi_{c^*}^{\varrho} \in \mathfrak{P}_t, \pi_{c^*}^{\varrho} < \pi_c^{\varrho}\},$$

bu yerda  $t$  populyatsiya tartibi;

2. Ikkinchi front  $\mathfrak{F}_2$  aniqlanadi. Bu to'plamdagi har bir yechim faqat  $\mathfrak{F}_1$  front yechimlar tomonidan dominant qilinadi,

$$\mathfrak{F}_2 = \{\pi_c^e \in \mathfrak{F}_t \mid \nexists \pi_{c^*}^e \in \mathfrak{F}_t \setminus \mathfrak{F}_1, \pi_{c^*}^e < \pi_c^e\};$$

3. Uchinchi front  $\mathfrak{F}_3$  va keyingi frontlar iterativ tarzda aniqlanadi. Har bir keyingi front oldingi barcha frontlar tomonidan dominant qilinadigan yechimlarni o‘z ichiga olish orqali iterativ aniqlanadi.

$$\mathfrak{F}_e = \{\pi_c^e \in \mathfrak{F}_t \mid \nexists \pi_{c^*}^e \in \mathfrak{F}_t \setminus \bigcup_{i=1}^{e-1} \mathfrak{F}_i, \pi_{c^*}^e < \pi_c^e\}.$$

**5-bosqich.** *Yechimlar orasidagi to‘planish masofasini (Crowding distance) hisoblash amalga oshiriladi.* Bu masofa Pareto-frontdagi dominatsiya darajasi bir xil bo‘lganda xilma-xillikni saqlash maqsadida foydalaniladi. Bu xilma-xillik Pareto chiziq bo‘ylab teng taqsimlangan yechimlar olishga xizmat qiladi. Har bir frontdagi individlar uchun to‘planish masofasi quyidagicha aniqlanadi:

$$CD_r(\pi_i^e) = \sum_{j=1}^4 \frac{\Phi_j(\pi_{i+1}^e) - \Phi_j(\pi_{i-1}^e)}{\Phi_j^{\max} - \Phi_j^{\min}},$$

bu yerda  $r$  – front tartibi,  $\pi_{i-1}^e, \pi_{i+1}^e$  – front ichidagi individlarni  $\Phi_i$  mezon qiymatlari bo‘yicha tartiblashdan so‘ng,  $\pi_i^e$  dan oldin va keyin keladigan parametrlar, ya’ni qo‘shni parametrlar. Front ichidagi individlarni mezon bo‘yicha tartiblashda birinchi va oxirida joylashgan individlarning to‘planish masofasini qiymatlari  $\infty$  qilib olinadi,  $\Phi_i^{\max} = \max_{\pi_i^e \in \mathfrak{F}_r} \Phi_i(\pi_i^e)$ ,  $\Phi_i^{\min} = \min_{\pi_i^e \in \mathfrak{F}_r} \Phi_i(\pi_i^e)$ .

**6-bosqich.** *Seleksiyasi protsedurasi amalga oshiriladi.* Bu protsedura yaxshi individlarni tanlab, keyingi avlodni yaratish uchun ishlatiladigan ota-onalarni tanlash yondashuvidir.  $\mathcal{N}$  marta turnir amalga oshiriladi. Har bir turnirda  $\pi_x^e, \pi_y^e$  2 ta individ  $x \neq y$  shart asosida bir ehtimollik bilan tasodifiy tanlaniladi. G‘olib individni tanlash front tartib raqami asosida amalga oshiriladi. Agar 2 ta individning front tartibi bir xil bo‘lsa, tanlash to‘planish masofasi bo‘yicha amalga oshiriladi,

$$\pi_j^* = \begin{cases} \pi_x^e, & \mathfrak{R}(\pi_x^e) < \mathfrak{R}(\pi_y^e); \\ \pi_y^e, & \mathfrak{R}(\pi_x^e) > \mathfrak{R}(\pi_y^e); \\ \pi_x^e, & \mathfrak{R}(\pi_x^e) = \mathfrak{R}(\pi_y^e) \text{ va } CD_r(\pi_x^e) > CD_r(\pi_y^e); \\ \pi_y^e, & \text{aks holda,} \end{cases}$$

bu yerda  $j \in \{1, 2, \dots, \mathcal{N}\}$ ,  $\mathfrak{R}(\ast)$  – front tartib raqamini aniqlash funksiyasi,  $r = \mathfrak{R}(\pi_x^e)$ .

Seleksiya natijasida aniqlangan individlar to‘plami quyidagicha aniqlanadi,

$$B_t = \{\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_{\mathcal{N}}^*\}.$$

**7-bosqich.** *Krossover protsedurasi amalga oshiriladi.* Bu protsedura ikki “ota-ona” individdan yangi “farzand” individlar yaratish operatori bo‘lib, u genetik algoritmlarda asosiy eksplotatsiya mexanizmi hisoblanadi. Uning maqsadi – yaxshi yechimlarning kombinatsiyasi orqali yanada yaxshiroq yechimlar olish.  $\mathcal{N}/2$  ota-ona juftligini tanlash quyidagicha aniqlanadi. Undan dastlab  $\pi_a^*$  bitta individ tasodifiy tanlaniladi. Keyin  $\pi_b^*$  bitta individ  $a \neq b$  shartga ko‘ra tasodifiy tanlaniladi. Shu tarzda  $(\pi_a^*, \pi_b^*)$  ota-ona juftligi hosil qilinadi. Tanlangan ota-ona juftligidan yangi avlodlar hosil qilinadi. Bu yondashuvda biz simulyatsiya qilingan ikkilik crossover (Simulated Binary Crossover, SBX) strategiyasidan foydalanamiz.

Ikkita ota-ona quyidagicha ko‘rinishda berilgan bo‘lsa,

$$\pi_a^* = (\pi_{a,1}^*, \pi_{a,2}^*, \dots, \pi_{a,d}^*),$$

$$\pi_b^* = (\pi_{b,1}^*, \pi_{b,2}^*, \dots, \pi_{b,d}^*),$$

bu yerda  $d = 4T$ .

U holda SBX strategiyasida  $\gamma_q$  qiymati quyidagicha aniqlanadi,

$$\gamma_q = \begin{cases} (2u_q)^{\frac{1}{\eta_c+1}}, & u_q \leq 0.5; \\ \left(\frac{1}{2(1-u_q)}\right)^{\frac{1}{\eta_c+1}}, & u_q > 0.5, \end{cases}$$

bu yerda  $u_q \sim \mathcal{U}(0,1)$  ehtimollikdagi tasodifiy son,  $\eta_c > 0$  crossover kuchini aniqlovchi parametr.

2 ta yangi avlodning har bir genini aniqlash esa quyidagicha amalga oshiriladi,

$$\pi_{c_l,i}^* = \frac{(1+\gamma_q)\pi_{a,i}^* + (1-\gamma_q)\pi_{b,i}^*}{2},$$

$$\pi_{q_m,i}^* = \frac{(1-\gamma_q)\pi_{a,i}^* + (1+\gamma_q)\pi_{b,i}^*}{2}.$$

Barcha hosil qilingan individlar to'plami quyidagicha aniqlanadi,

$$K_t = K_t^1 \cup K_t^2,$$

bu yerda  $K_t^1 = \{\pi_{c_l}^* \mid l \in \{1,2,\dots,\mathcal{N}/2\}\}$ ,  $K_t^2 = \{\pi_{q_m}^* \mid m \in \{1,2,\dots,\mathcal{N}/2\}\}$ .

**8-bosqich.** *Mutatsiya protsedurasi amalga oshiriladi.* Evolyutsion algoritmlarda qo'llaniladigan diversifikatsiyani oshiruvchi operator bo'lib, u mavjud individlardagi qiymatlarni tasodifiy ravishda ozgina o'zgartirish orqali yangi qidiruv sohaslariga chiqish imkonini beradi. Buni amalga oshirishda biz ko'p hadli mutatsiya usulidan foydalandik. Bu usulda  $i$ -genning qiymatini mutatsiya qilish quyidagicha aniqlanadi,

$$\pi_{k,i}^m = \pi_{k,i} + \delta_i(\pi_i^{\max} - \pi_i^{\min}),$$

bu yerda  $\delta_i$  – ko'p hadli perturbatsiya,  $\pi_i^{\max}$ ,  $\pi_i^{\min}$  –  $i$ -genning aniqlanish sohasining yuqori va quyi chegara qiymatlari,  $\pi_{k,i}^*$  –  $i$ -genning mutatsiyadan keyingi qiymati. Ko'p hadli perturbatsiyani hisoblash quyidagi shaklda amalga oshiriladi,

$$\delta_i = \begin{cases} (2u_i)^{\frac{1}{\eta_m+1}}, & u_i \leq 0.5; \\ 1 - (2(1-u_i))^{\frac{1}{\eta_m+1}}, & u_i > 0.5, \end{cases}$$

bu yerda  $u_i \sim \mathcal{U}(0,1)$  ehtimollikdagi tasodifiy son,  $\eta_m$  – mutatsiya tarqoqlik darajasi parametri,  $\delta_i \in [-1; 1]$ .  $\eta_m$  qiymati qanchalik katta bo'lsa, mutatsiya kichik o'zgarishlarga olib keladi.  $\eta_m$  qiymati kichik bo'lsa, mutatsiya katta o'zgarishlarga olib keladi.

Mutatsiya har bir individning genlari bo'yicha amalga oshiriladi. Bu jarayon  $\mathcal{N}$  marta amalga bajariladi. Natijaviy to'plam quyidagi shaklda aniqlanadi,

$$\mathbb{M}_t = \{\pi_1^m, \pi_2^m, \dots, \pi_{\mathcal{N}}^m\}.$$

**9-bosqich.** *Populyatsiya va mutatsiyani birlashtirilish amalga oshiriladi.*

$$\mathcal{R}_t = \mathfrak{F}_t \cup \mathbb{M}_t,$$

bu yerda  $|\mathcal{R}_t| = 2\mathcal{N}$ .

10-bosqich. *Eng yaxshi  $\mathcal{N}$  ta individni tanlash amalga oshiriladi.* Dastlab  $\mathcal{R}_t$  to'plam bo'yicha 4 va 5-bosqichlar qayta amalga oshiriladi. Natijada pareto dominant bo'lmagan tartiblash hamda yechimlar orasidagi to'planish masofasini aniqlash bajariladi.

Ushbu bosqichlar bajarilganda so'ng eng yaxshi  $\mathcal{N}$  ta individni tanlash esa quyidagi qadamlarda amalga oshiriladi.

**1-qadam.**  $|\mathbb{U}| < \mathcal{N}$  shart qanoatlantiriladigan  $\mathbb{U}$  to'plam elementlari aniqlanadi,

$$\mathbb{U} = \bigcup_{j=1}^{r-1} \mathfrak{F}_j,$$

bu yerda  $r$  qiymati  $\sum_{j=1}^{r-1} |\mathfrak{F}_j| < \mathcal{N}$ ,  $\sum_{j=1}^r |\mathfrak{F}_j| \geq \mathcal{N}$  shartlar asosida aniqlanadi.

**2-qadam.**  $r$ -frontning elementlari to‘planish masofasi bo‘yicha kamayish tartibidagi vektori aniqlandi,

$$\mathfrak{F}^r = (\pi^r_{1^*}, \pi^r_{2^*}, \dots, \pi^r_{\mathcal{N}^*}), \quad \pi^r_{i^*} > \pi^r_{i+1^*}, \quad i \in [1.. \mathcal{N} - 1].$$

**3-qadam.**  $\mathfrak{F}^r$  vektordan  $\mathfrak{h} = \mathcal{N} - \sum_{j=1}^{r-1} |\mathfrak{F}_j|$  ta elementli to‘plam hosil qilinadi,

$$\mathbb{S} = \bigcup_{j=1}^{\mathfrak{h}} \{\pi^r_{j^*}\}.$$

**4-qadam.** Eng yaxshi  $\mathcal{N}$  ta individ to‘plami, ya’ni populyatsiya aniqlanadi,

$$\mathfrak{P}_{t+1} = \mathbb{U} \cup \mathbb{S}.$$

**11-bosqich.** Agar  $t + 1 \geq T$  shart tekshiriladi: agar shart bajarilsa, u holda  $t \leftarrow t + 1$  hisoblash amalga oshirilib, keyingi qadamga o‘tiladi, aks holda  $t \leftarrow t + 1$  hisoblash amalga oshirilib, keyingi populyatsiyani amalga oshirish uchun 2-bosqichga o‘tiladi.

**12-bosqich.** *Pareto optimal yechimlar to‘plamini aniqlash amalga oshiriladi.*

$\mathfrak{P}_T$  populyatsiyadan birinchi front  $\mathfrak{F}^*$  aniqlanadi. Pareto-optimal yechim bu to‘plamdagi har bir yechim hech bir boshqa yechim tomonidan dominant qilinmaslik asosida aniqlanadi,

$$\mathfrak{F}^*_1 = \{\pi_c^\ell \in \mathfrak{P}_t \mid \nexists \pi_{c^*}^\ell \in \mathfrak{P}_T, \pi_{c^*}^\ell < \pi_c^\ell\}.$$

PSNR, SSIM, ERGAS, SAM mezonlar asosida ko‘p mezonli optimallashtirish masalasini yechish NSGA-II algoritmi bilan amalga oshirildi. Ushbu algoritm natijasida bir vaqtning o‘zida bir-birini ustun qilmaydigan bir nechta yechimlardan iborat Pareto optimal yechimlar to‘plami hosil bo‘ladi. Biroq, amaliy holatlarda bu yechimlar ichidan bitta yakuniy optimal yechimni tanlash talab etiladi. Bu esa optimallashtirishdan keyingi tanlov bosqichi hisoblanadi. Pareto yechimlar to‘plamidan yagona yechimni tanlash masalasi ko‘p mezonli qaror qabul doirasida qaraladi. Bu jarayonda quyidagi asosiy yondashuvlar keng qo‘llaniladi:

vaznli yig‘indi yondashuvi – har bir mezon uchun muhimlik darajasiga asoslangan vazn qiymatlari belgilanadi va yechimlar umumiy ball asosida baholanadi. Bu usul intuitiv va soddaligi sababli keng qo‘llaniladi, biroq vazn og‘irliklarini aniqlash subyektiv bo‘lishi mumkin [8].

metrikalarga asoslangan yondashuv – har bir yechim ideal (utopia) nuqtaga masofasi asosida baholanadi va eng yaqin yechim tanlanadi. Masalan, Chebychev yoki Evklid masofasi orqali baholash mumkin. Bu yondashuv mezonlar o‘rtasidagi muvozanatni saqlashda samarali hisoblanadi [9,10].

entropiya yoki dispersiyaga asoslangan muvozanatli tanlov yondashuvi – har bir mezon bo‘yicha o‘zgaruvchanlik (variyans yoki entropiya) darajasiga qarab ularning muhimligi avtomatik tarzda aniqlanadi. Bu yondashuv subyektiv og‘irlik belgilash muammosini kamaytiradi va muvozanatli yechimlarni tanlashga yordam beradi [11,12].

TOPSIS [13], VIKOR [14], AHP [15] usullari – murakkab holatlarda tanlovni formalashtirish uchun ishlatiladi. Ushbu usullar Pareto frontdagi yechimlarni reytinglash orqali eng optimalini aniqlaydi. Masalan, TOPSIS yechimlarni ideal va anti-ideal nuqtalarga masofa asosida baholaydi, VIKOR kompromis yechimni tanlaydi, AHP esa juft taqqoslash orqali mezon vaznlarini belgilaydi.

Ushbu yondashuvlarning har biri muayyan sharoit va maqsadlar uchun o‘ziga xos afzalliklarga ega. Masalan, agar biror mezon – eng muhim ko‘rsatkich sifatida qaralsa,

unga yuqoriroq vazn berish maqsadga muvofiq bo'ladi. Aksincha, ayrim holatlarda barcha mezonlarni teng ahamiyatda, ya'ni muvozanatli baholash zarur bo'ladi.

Bundan tashqari, Pareto frontdan yakuniy yechim tanlash jarayoni foydalanuvchi afzalliklari va sektor talablari – masalan, geologik monitoring, qishloq xo'jaligi, shaharsozlik yoki ekologik tahlil – hamda ekspert baholari asosida moslashtirilishi mumkin.

Ushbu yondashuvlarning har biri turli vaziyatlar uchun afzalliklarga ega. Masalan, agar biror mezon (masalan, SAM) spektral jihatidan muhimroq bo'lsa, unga yuqoriroq vazn berish mumkin. Boshqa holatlarda esa barcha mezonlar muvozanatda baholanishi zarur. Shu bilan birga, Pareto ichidan tanlovni foydalanuvchi afzalliklari, sektor ehtiyojlari, masalan, geologik monitoring, qishloq xo'jaligi, shaharsozlik yoki ekspert baholari asosida sozlash ham mumkin.

Shu bois, Pareto to'plamidan optimal yechimni aniqlash masalasi sun'iy intellekt asosidagi avtomatik qaror qabul qilish tizimlarida muhim modul sifatida namoyon bo'ladi. Bu bosqich pansharpening natijalarining sifatini obyektiv baholash va amaliy qo'llashda hal qiluvchi ahamiyatga ega hisoblanadi.

**Tajriba natijalari va tahlili.** Tajriba ishlarini amalga oshirish uchun PairMax Dataset dan foydalanildi. Ushbu ma'lumotlar to'plami pansharpening algoritmlarini baholash uchun mo'ljallangan yuqori sifatli benchmark to'plam hisoblanadi. PairMax to'plamida multispektral va panxromatik juft tasvirlar mavjud bo'lib, ular WorldView-3, QuickBird, va GeoEye-1 kabi sun'iy yo'ldoshlar tomonidan olingan turli sahnalardan iborat.

PairMax Dataset o'zida quyidagi xususiyatlarni mujassam etadi: PAN tasvirlar yuqori fazoviy aniqlikka (0.3–0.5 m/piksel) ega; MS tasvirlar 4–8 ta spektral kanalni o'z ichiga oladi; har bir juftlik aniq geometrik va radiometrik moslik asosida oldindan qayta ishlangan; etalon tasvirlar mavjud bo'lib, ular algoritmlarni PSNR, SSIM, SAM, ERGAS kabi metrikalar asosida obyektiv baholash imkonini beradi.

PairMax Dataset'dagi sahnalar shaharsozlik, qishloq xo'jaligi, o'rmon, va sohil zonalari kabi turli landshaft turlarini qamrab oladi. Bu esa taklif etilgan MoE algoritmik kompozitsiyasining turli spektral va fazoviy sharoitlarda sinovdan o'tishiga imkon berdi.

Shu bois, barcha tajriba natijalari PairMax ma'lumotlar to'plami asosida o'tkazilgan bo'lib, taklif etilgan MoE + NSGA-II yondashuvi mavjud klassik ekspertlar bilan solishtirildi.

Taklif etilgan statik yo'naltirishga asoslangan MoE algoritmik kompozitsiyasi bir nechta tajriba sharoitlarida sinovdan o'tkazildi. Ushbu modelda olti turdagi klassik ekspert algoritmlar IHS, PCA, Brovey, GS, GSA va BDSF [3] – mustaqil ekspert sifatida tanlandi. Har bir ekspert turli matematik prinsiplarga asoslanib, fazoviy va spektral xususiyatlarni ifodalashda o'ziga xos yondashuvni ta'minladi.

Tajriba jarayonida multispektral tasvirlar panxromatik tasvir o'lchamiga Lanchosh interpolatsiyasi yordamida moslashtirildi. Keyingi bosqichda yuqorida keltirilgan NSGA-II evolyutsion algoritmi parametrlar sozlash uchun qo'llanilib, PSNR, SSIM, ERGAS va SAM asosiy sifat mezonlarini birgalikda minimallashtiruvchi ko'p mezonli optimallashtirish amalga oshirildi.

Optimallashtirish jarayonida populyatsiya hajmi 100 individ etib belgilandi, umumiy avlodlar soni esa 200 ni tashkil etdi. Tajriba davomida hosil bo'lgan har bir individ uchun Pareto front yechimlari shakllantirildi. Pareto frontda joylashgan yechimlar o'rtasidan yakuniy yagona optimal yechimni tanlash uchun Multi-Criteria Decision Making (MCDM) yondashuvlaridan – ya'ni TOPSIS, VIKOR va AHP usullaridan – foydalanildi. Shu tarzda taklif etilgan MoE modeli ko'p mezonli optimallashtirish asosida fazoviy va spektral muvozanatni ta'minlovchi eng maqbul yechimni aniqlash imkonini berdi.

Pareto front tahlili. NSGA-II algoritmi 200 avlod yakunida dominant bo‘lmagan Pareto yechimlar to‘plamini hosil qildi. Yechimlar PSNR↑, SSIM↑, ERGAS↓, SAM↓ kabi qarama-qarshi yo‘nalishli mezonlar asosida baholandi.

Tahlil natijalariga ko‘ra:

PSNR qiymati oshgan sari ERGAS biroz kamayadi, bu esa fazoviy tafsilotlarning kuchayishi evaziga global nisbiy xatolikning pasayishini bildiradi;

SSIM  $\geq 0.95$  va SAM  $\leq 3^\circ$  oraliqlaridagi yechimlar eng maqbul kompromis sifatida aniqlangan;

Pareto front chizig‘i bo‘ylab yechimlar xilma-xilligi optimal taqsimlangan.

PairMax Dataset bo‘yicha pansharpening tajribalar natijalari

| Usullar                | PSNR         | SSIM         | ERGAS       | SAM (°)     | Izoh   |
|------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--|
| IHS                    | 36.85        | 0.925        | 5.12        | 4.96        | Rang komponenti asosida fazoviy tafsilotlarni kuchaytiradi, ammo spektral buzilish mavjud.         |
| Brovey                 | 38.21        | 0.932        | 4.81        | 4.35        | PAN nisbati asosida kontrastni oshiradi, lekin spektral sadoqat pasayadi.                          |
| PCA                    | 39.14        | 0.940        | 4.46        | 3.90        | Asosiy komponent almashtirish orqali fazoviy yaxshilanish beradi, ammo ozgina rang og‘ishi mavjud. |
| GS                     | 39.82        | 0.947        | 4.15        | 3.64        | Ortogonal proyeksiya orqali spektral izchillikni saqlaydi.   |
| GSA                    | 40.10        | 0.951        | 3.95        | 3.42        | PAN va MS regressiyasi orqali muvozanatli natija beradi.   |
| BDSB                   | 40.45        | 0.954        | 3.72        | 3.21        | Har kanal uchun adaptiv fazoviy modulyatsiyani qo‘llaydi.  |
| <b>Vaznli yig‘indi</b> | <b>41.05</b> | <b>0.960</b> | <b>3.53</b> | <b>2.93</b> | Mezonlarga belgilangan og‘irliklar asosida umumiy ballni maksimalashtiradi.                        |
| <b>TOPSIS</b>          | <b>41.20</b> | <b>0.962</b> | <b>3.42</b> | <b>2.87</b> | Ideal va anti-ideal nuqtalar orasidagi masofa asosida eng yaqin yechimni tanlaydi.                 |
| <b>VIKOR</b>           | <b>41.18</b> | <b>0.961</b> | <b>3.46</b> | <b>2.90</b> | Kompromis yechimni aniqlaydi, Pareto frontning markaziy qismidan yechim tanlaydi.                  |
| <b>AHP</b>             | <b>41.10</b> | <b>0.959</b> | <b>3.49</b> | <b>2.92</b> | Juft taqqoslash orqali mezonlar ustuvorligini aniqlab, yakuniy reytingni shakllantiradi.           |

Jadvalda PairMax Dataset asosida o‘tkazilgan pansharpening tajribalarining asosiy sifat ko‘rsatkichlari keltirilgan. Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, taklif etilgan MoE + NSGA-II modelining yakuniy natijalari (Vaznli yig‘indi, TOPSIS, VIKOR, AHP yondashuvlari) klassik ekspert usullariga nisbatan sezilarli darajada yaxshilangan.

Klassik algoritmlar orasida GSA va BDSB eng yuqori sifatni ko‘rsatgan. GSA usuli regressiya asosida PAN va MS o‘rtasidagi bog‘liqlikni o‘rganib, PSNR = 40.10 dB, SSIM = 0.951, ERGAS = 3.95, va SAM = 3.42° natijalarini bergan. BDSB esa har bir spektral kanal uchun PANning mos og‘irliklarini adaptiv tarzda tanlash orqali PSNR = 40.45 dB, SSIM = 0.954, ERGAS = 3.72, SAM = 3.21° qiymatlarni qayd etgan.

Biroq, ko'p mezonli optimallashtirish asosida o'tkazilgan MoE algoritmik kompozitsiyasi bu natijalardan ham yuqoriroq samaradorlikni namoyish qildi. Jumladan:

Vaznli yig'indi yondashuvi – soddaligi bilan ajralib turadi, barcha mezonlar uchun oldindan belgilangan og'irliklar asosida umumiy ballni hisoblab chiqadi. Natijada PSNR = 41.05 dB, SSIM = 0.960, ERGAS = 3.53, SAM = 2.93° qiymatlar olindi.

TOPSIS yondashuvi – ideal va anti-ideal nuqtalarga masofa hisoblash orqali eng muvozanatli yechimni tanladi. Bu usul eng yuqori natijani berdi: PSNR = 41.20 dB, SSIM = 0.962, ERGAS = 3.42, SAM = 2.87°. Shunday qilib, u eng optimal Pareto yechim sifatida belgilandi.

VIKOR yondashuvi – kompromis yechimni tanlab, Pareto frontning markaziy qismidan muvozanatli natijani berdi.

AHP yondashuvi – juft taqqoslash asosida mezonlar ustuvorligini qayta baholab, yakuniy reytingni shakllantirdi.

Umuman olganda, MCDM yondashuvlari (Vaznli yig'indi, TOPSIS, VIKOR, AHP) o'zaro juda yaqin natijalar bergan bo'lib, bu tanlov barqarorligini va Pareto frontning silliq tuzilishini tasdiqlaydi. Eng yuqori PSNR va SSIM qiymatlari TOPSIS usuli tomonidan qayd etilgan, bu esa taklif etilgan algoritmnining fazoviy tafsilotlarni tiklash va spektral sadoqatni saqlash bo'yicha eng muvozanatli yechimni ta'minlaganini ko'rsatadi.

Spektral burchak (SAM) qiymatining 4.9° dan 2.87° gacha pasayishi rang sadoqatining yaxshilanganini, ERGAS qiymatining 5.12 dan 3.42 gacha kamayishi esa umumiy nisbiy xatolikning sezilarli ravishda kamayganini bildiradi. Bu esa MoE algoritmik kompozitsiyasining klassik usullarga nisbatan yanada aniqroq, izchil va spektral moslikni saqlagan holda natijalar berish qobiliyatini namoyon etadi.

Natijalar tahlili shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan MoE + NSGA-II modeli barcha klassik ekspert algoritmlaridan yaxshiroq fazoviy-spektral muvozanatni ta'minladi. Xususan, TOPSIS va VIKOR yondashuvlari bilan tanlangan Pareto yechimlar PSNR ≈ 41.2 dB va SSIM ≈ 0.962 qiymatlarni ko'rsatib, eng yuqori sifat natijalariga erishildi.

Vaznli yig'indi yondashuvi soddaligi bilan ajralib tursa-da, TOPSIS va VIKOR natijalari unga nisbatan biroz yaxshiroq bo'ldi. AHP esa subyektiv og'irliklarni inobatga olgan holda muvozanatli yechim tanladi. Barcha MCDM yondashuvlari o'zaro yaqin natijalar bergani ularning tanlov barqarorligini ko'rsatadi.

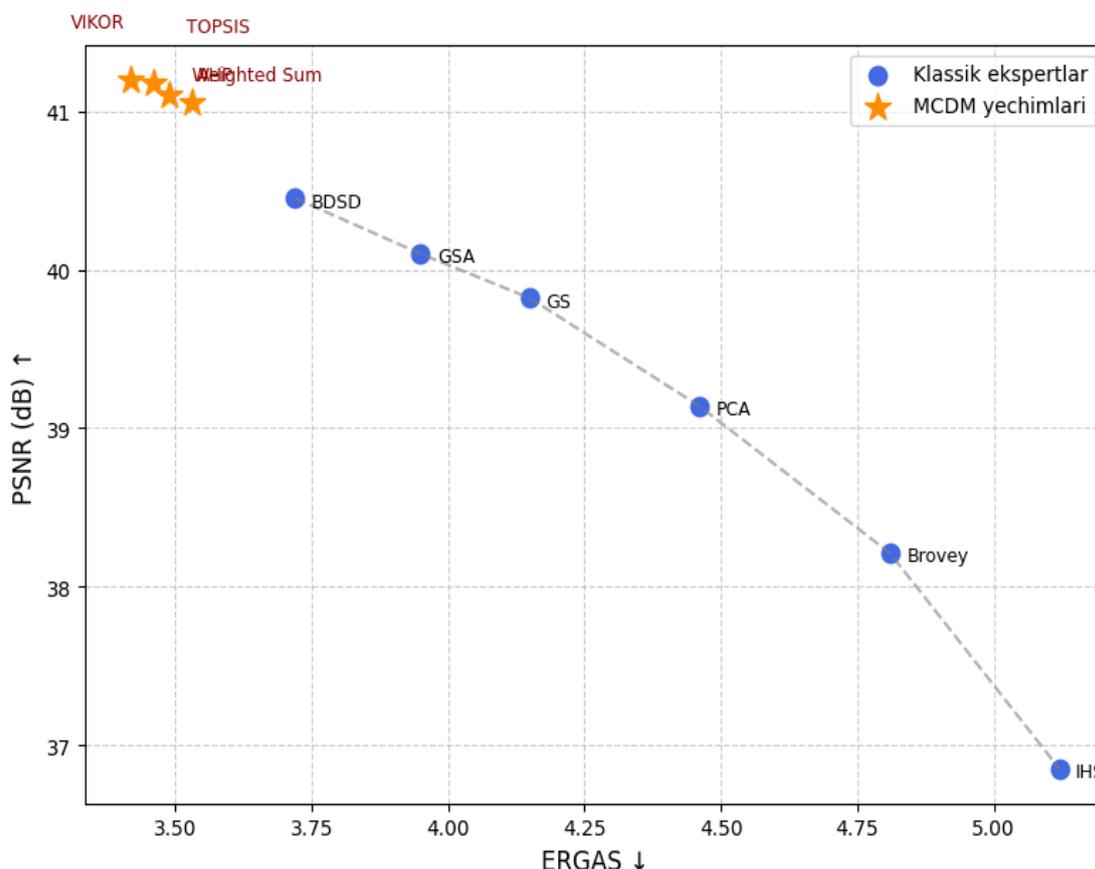
Shuningdek, PSNR bo'yicha GSA va BDSO usullari bilan solishtirganda 1.0–1.2 dB, SSIM bo'yicha esa 0.010–0.012 ustunlik kuzatildi. Bu kichik farq bo'lsa-da, vizual tahlilda fazoviy tafsilotlarning tiklanishi va spektral sadoqatning yaxshilanishi aniq sezildi.

Rasmda klassik pansharpening ekspertlari (IHS, Brovey, PCA, GS, GSA, BDSO) va MCDM asosida tanlangan Pareto optimal yechimlar (Vaznli yig'indi, TOPSIS, VIKOR, AHP) o'rtasidagi natijalar taqqoslangan. Gorizonttal o'qda ERGAS (umumiy nisbiy xato) qiymati, vertikal o'qda esa PSNR (fazoviy aniqlik) qiymati joylashtirilgan. Grafikdagi chap yuqori burchak eng maqbul natijani bildiradi, ya'ni PSNR yuqori, ERGAS past.

Klassik ekspertlar tahlili. Klassik usullar fazoviy-spektral muvozanat bo'yicha sezilarli farq ko'rsatadi. IHS va Brovey fazoviy tafsilotlarni kuchaytiradi, biroq spektral sadoqatni buzadi. PCA va GS muvozanatli natijalar beradi, lekin rang noaniqliklari saqlanib qoladi. GSA va ayniqsa BDSO Pareto frontga yaqin joylashib, eng barqaror muvozanatni ta'minlaydi.

MoE + NSGA-II modeli asosida tanlangan MCDM yechimlari grafikning chap yuqori qismida joylashgan. TOPSIS eng optimal natijani beradi (PSNR = 41.2 dB, ERGAS = 3.42), VIKOR esa unga yaqin, biroq biroz katta xato bilan (ERGAS = 3.46).

Vaznli yig'indi va AHP yondashuvlari ham yuqori PSNR va past ERGAS qiymatlari bilan barqaror yechimlarni ta'minlaydi.



Pareto front: PSNR–ERGAS asosida yechimlar taqsimoti

ERGAS kamaygan sari PSNR ortmoqda, bu esa algoritmik kompozitsiyaning xatolikni kamaytirish bilan birga fazoviy aniqlikni oshirganini ko'rsatadi. Natijada Pareto front silliq va turg'un yo'nalishda shakllanib, optimallashtirish jarayonining izchil ishlashini tasdiqlaydi.

**XULOSA.** Ushbu tadqiqotda taklif etilgan statik yo'naltirishga asoslangan MoE algoritmik kompozitsiyasi PairMax Dataset ma'lumotlari asosida sinovdan o'tkazildi. Modelda olti xil klassik ekspert — IHS, PCA, Brovey, GS, GSA va BDS algoritmlari mustaqil tahlil qilinib, ularning natijalari MoE algoritmik kompozitsiyasi NSGA-II evolyutsion algoritmi yordamida PSNR, SSIM, ERGAS va SAM mezonlari bo'yicha ko'p mezonli optimallashtirish asosida parametrlarni sozlash amalga oshirildi. Natijada hosil bo'lgan Pareto front yechimlari orasidan MCDM usullari – vaznli yig'indi, TOPSIS, VIKOR va AHP orqali yagona optimal yechim tanlandi. Tahlil natijalariga ko'ra, TOPSIS yondashuvi eng muvozanatli yechimni ta'minlab, PSNR = 41.2 dB, SSIM = 0.962, ERGAS = 3.42, va SAM = 2.87° qiymatlarni qayd etdi. Bu natijalar klassik ekspertlarga nisbatan fazoviy tafsilotlarni yaxshiroq tiklash va spektral sadoqatni saqlash bo'yicha sezilarli ustunlikni ko'rsatdi. Ayniqsa, ERGAS va SAM qiymatlarining kamayishi algoritmik kompozitsiyasining spektral xatolikni kamaytirish va rang muvozanatini saqlash qobiliyatini ko'rsatdi.

Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, MoE +NSGA-II+ MCDM integratsiyasi fazoviy–spektral kompromisni muvozanatli ta'minlash, Pareto front barqarorligini saqlash, hamda optimal yechimlarni avtomatik tanlash imkonini beradi. Shunday qilib,

taklif etilgan yondashuv pansharpening sifatini yaxshilash va sun'iy intellekt asosidagi qaror qabul qilish tizimlarida samarali komponent sifatida qo'llanishi mumkin.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Yusupov O.R. Komponentni o'zgartirishga asoslangan pansharpening usullari, Hisoblash va amaliy matematika muammolari. 2025. №2/1 (65).101 – 109-betlar.
2. Fazilov Shavkat, Yusupov Ozod, Radjabov Sobirjon, Eshonqulov Erali, Abdieva Khabiba. Analysis of pansharpening methods for multispectral satellite imagery // AIP Conf. Proc. 27 November, 2024. 3244 (1). 030080.
3. Fazilov Sh., Yusupov O., Eshonqulov E., Abdieva K., Malikov Z., YUV Color Model-Based Adaptive Pansharpening with Lanczos Interpolation and Spectral Weights // Mathematics. 2025. №13. P.28 – 68.
4. Фазылов Ш.Х., Ганченко В.В., Инютин А.В., Юсупов О.Р. Перспективы использования алгоритмических ансамблей для анализа изображений ДЗЗ // «Информатика ва энергетика муаммолари» Ўзбекистон журнали. Тошкент, 2023. 6-сон. 3 – 10 бетлар.
5. Yusupov O.R. Zich ekspertlar aralashmasi strategiyasi asoslangan pansharpening algoritmik kompozitsiyasi // Informatika va energetika muammolari (O'zbekiston jurnali). Toshkent, 2024. 6-son. B. 7–14.
6. Yusupov O. Quality assessment parameters of the images obtained with pansharpening methods // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2024. T. 3244. №. 1.
7. Adaptive mixtures of local experts / Jacobs R.A., Jordan M.I., Nowlan S.J., Hinton G.E. // Neural Computation. 1991. №. 3. P. 79 – 87.
8. Deb K. , Pratap A. , Agarwal S., Meyarivan T. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: nsga-II // Trans. Evol. Comp. April 2002. №6(2). P.182–197.
9. Steuer R.E. Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application. Wiley, 1986.
10. Zitzler et al. Performance Assessment of Multiobjective Optimizers // IEEE Trans. Evol. Comput., 2003.
11. Shannon C.E. A Mathematical Theory of Communication. Bell System Tech. J., 1948.
12. Zou et al., Entropy-based Weighting in Multi-Criteria Decision Making, Expert Systems with Applications, 2006.
13. Hwang & Yoon, “Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications,” Springer, 1981.
14. Opricovic & Tzeng, “Compromise Solution by MCDM: The VIKOR Method,” Eur. J. Oper. Res., 2004.
15. Thomas L.Saaty. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, 1980.

## KORPORATIV SOLIQ TIZIMLARI UCHUN AXBOROT ALMASHINUVI JARAYONLARINI OPTIMALLASHTIRISH VA KOORDINATSION BOSHQARUV ALGORITMI

Ushbu maqolada korporativ soliq tizimlarida axborot almashinuvini jarayonlarini optimallashtirish va koordinatsion boshqaruv algoritmi taklif etiladi. Tadqiqotda tizimli tahlil yondashuvi asosida axborot oqimlarining murakkabligi hisobga olinadi, jarayonlar o'zaro bog'liqligi grafik modellash orqali ifodalanadi. Shuningdek, boshqaruv algoritmlari samaradorligi hisoblash tajribalari orqali baholanadi. Natijalar korporativ soliq tizimlarida axborot xavfsizligi va uzluksiz ishlashni ta'minlashda amaliy ahamiyatga ega.

**Kalit so'zlar:** korporativ soliq tizimi, axborot almashinuvi, koordinatsion boshqaruv, optimallashtirish, algoritim.

M.M.Фозилова, Д.Н.Учкунова

### Оптимизация процессов обмена информацией и алгоритм координационного управления для корпоративных налоговых систем

В данной статье предлагаются методы оптимизации процессов обмена информацией и алгоритм координационного управления в корпоративных налоговых системах. В исследовании учитывается сложность информационных потоков на основе системного анализа, а взаимосвязь процессов представляется с помощью графического моделирования. Эффективность предложенных алгоритмов управления оценивается с использованием вычислительных экспериментов. Полученные результаты имеют практическое значение для обеспечения информационной безопасности и бесперебойного функционирования корпоративных налоговых систем.

**Ключевые слова:** системный анализ, корпоративная налоговая система, обмен информацией, координационное управление, математическая модель, алгоритм.

M.M.Fozilova, D.N.Uchqunova

### Optimization of Information Exchange Processes and Coordination Control Algorithm for Corporate Tax Systems

This article proposes an optimization method for information exchange processes and a coordination control algorithm in corporate tax systems. The study takes into account the complexity of information flows based on a systems analysis approach, and the interconnections of processes are represented through graphical modeling. In addition, the efficiency of the proposed control algorithms is evaluated through computational experiments. The results have practical significance in ensuring information security and uninterrupted operation in corporate tax systems.

**Keywords:** systems analysis, corporate tax system, information exchange, coordination control, mathematical model, algorithm.

**Kirish.** Hozirgi davrda korporativ soliq tizimlari davlat va biznes subyektlari o'rtasidagi axborot almashinuvini jarayonlarining markaziy tuguni hisoblanadi [1–14]. Bunday tizimlarda yuzlab subyektlar — soliq organlari, yuridik va jismoniy shaxslar, banklar, audit xizmatlari — axborot oqimlarida ishtirok etadi. Ushbu murakkab jarayonlarni nazorat qilish va samarali boshqarish tizimning ishonchliligi, shaffofligi va tezkorligiga bevosita ta'sir qiladi [1].

An'anaviy yondashuvlarda axborot almashinuvini ko'pincha markazlashgan ma'lumotlar bazalari yoki oddiy verifikatsiya mexanizmlari orqali amalga oshiriladi. Ammo soliq tizimlarining o'sib borayotgan hajmi, xavfsizlik talablarining ortishi va real vaqt rejimida ishlash zarurati yangi koordinatsion boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqishni talab etmoqda [2].

Maqolaning maqsadi – korporativ soliq tizimlarida axborot almashinuvi jarayonlarini nazoratlash va koordinatsion boshqarishning matematik modelini ishlab chiqish hamda algoritmik yechimlarini taklif qilishdir.

**Usullar. 1. Tadqiqot metodologiyasi.** Tadqiqotda boshqaruv nazariya-sining koordinatsion modellariga tayangan algoritmik yondashuv qo‘llanilgan. Ushbu yondashuv tizimdagi axborot oqimlarini optimallashtirish, ularning o‘zaro muvofiqligini ta‘minlash va boshqaruv qarorlarini qabul qilish jarayonini avtomatlashtirish imkonini beradi [3]. Modellar asosida ishlab chiqilgan algoritmlar har bir boshqaruv darajasida ma‘lumotlarning tahlilini, qayta ishlanishini va natijalarning koordinatsion uzatilib borishini ta‘minlaydi. Natijada, tizim komponentlari o‘rtasida samarali axborot almashinuvi shakllanadi va boshqaruv jarayonining barqarorligi oshadi. Matematik jihatdan **koordinatsion boshqaruv model axborot oqimlari grafi** ko‘rinishida ifodalanadi, bunda tugunlar boshqaruv markazlari yoki axborot bloklarini, yo‘nalishlar esa ularning o‘zaro ta‘sirini bildiradi. Har bir aloqa uchun kechikish, ishonchlilik va o‘tkazuvchanlik ko‘rsatkichlari aniqlanadi [4].

**2. Koordinatsion boshqaruv modeli.** Model quyidagi asosiy komponentlardan iborat:

- **Axborot tugunlari** – soliq subyektlari, buxgalteriya tizimlari, davlat soliq inspeksiyasi va boshqa xizmatlar.

- **Koordinatsion markaz** – ma‘lumot almashuvini nazorat qiluvchi va sinxronlashtiruvchi modul [5].

- **Nazorat mexanizmi** – kelayotgan ma‘lumotlarni tahlil qilib, xatolik, takror yoki kechikish holatlarini aniqlaydi.

- **Optimallashtirish moduli** – tarmoqli yuklanishni kamaytirish va javob vaqtini qisqartirish uchun ustuvorlik asosida so‘rovlarni qayta ishlaydi [6].

**3. Matematik modeli.** Faraz qilaylik, bizda 3 ta asosiy oqim bor:

$$F = \{f_1(t), f_2(t), f_3(t)\}. \quad (1)$$

Bu yerda  $f_1(t)$  -korxonalar oqimi;  $f_2(t)$  -bank oqimi;  $f_3(t)$  -audit oqimi.

Har bir oqimning **maqsadli qiymati** oldindan belgilanadi:

$$T = \{t_1 = 40, t_2 = 40, t_3 = 20\}. \quad (2)$$

**4. Xatolik funksiyasi. Har bir oqim uchun xatolik:**

$$e_i(t) = t_i - f_i(t). \quad (3)$$

**5. Koordinatsion ta‘sir funksiyasi.** Koordinatsion boshqaruv shunday ishlaydi:

- Agar bir oqim ortib ketsa, boshqalar kamayadi (balans saqlanadi) [7];

- Barqarorlik sharti:

$$f_1 + f_2 + f_3 = 100. \quad (4)$$

**6. Dinamik yangilanish tenglamalari**

Har bir vaqt oralig‘ida oqimlar yangilanadi:

$$\begin{cases} f_1(t+1) = f_1(t) + k_1 \cdot e_1(t) - \alpha(f_2 - t_2) \\ f_2(t+1) = f_2(t) + k_2 \cdot e_2(t) - \alpha(f_1 - t_1) \\ f_3(t+1) = f_3(t) + k_3 \cdot e_3(t) \end{cases} \quad (5)$$

bu yerda  $k_i$  - har bir oqim uchun o‘rganish (moslashuv) koeffitsiyenti;  $\alpha$  - koordinatsion ta‘sir darajasi (ya‘ni oqimlar bir-biriga qanchalik ta‘sir qiladi) [8].

**7. Koordinatsion boshqaruv algoritmi.**

**a) Koordinatsion boshqaruv.** Boshlang‘ich oqim qiymatlarini belgilash.

$$e_i = t_i - f_i \quad (6)$$

- Har bir oqim uchun xatolikni hisoblash:

- Har bir oqimni koordinatsion model bo'yicha yangilash.
- Balansni tekshirish va 100 ga normallashtirish.
- Jarayon barqarorlashgunga qadar (xatolik  $< \varepsilon$ ) davom ettirish.

**b) Koordinatsion boshqaruvsiz model.** Bu holda oqimlar o'zaro ta'sir qilmaydi, shuning uchun tizim balansga kelmasligi yoki sekin barqarorlashishi mumkin:

$$f_1(t+1) = f_1(t) + k_1 \cdot e_1(t). \quad (7)$$

Oddiy soliq tizimi statik va sekin, koordinatsion algoritmi esa dinamik va moslashuvchan [9].

Bizning algoritmning ustunligi – oqimlarni balanslab, tezkor va sinxron ishlashni ta'minlashi (1-rasm, 2-rasm).

### Natija

```
# Natijalarni saqlash
history = []

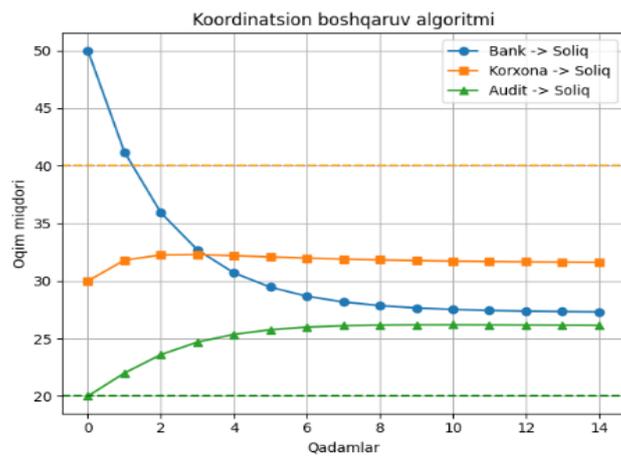
for t in range(steps):
    # boshqaruv signali U = k * (X_target - X)
    U = [k * (X_target[i] - X[i]) for i in range(3)]

    # yangi oqimlarni hisoblash (soddalashtirilgan model)
    X = [X[i] + U[i] for i in range(3)]

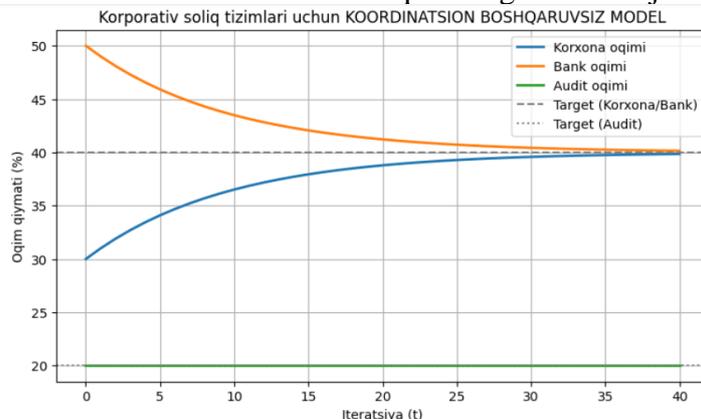
    # natijani jadvalga yozish
    history.append((t, X[0], X[1], X[2]))

# Natijalarni chiqarish
print("Qadam | Bank->Soliq | Korxonaga->Soliq | Audit->Soliq")
for h in history:
    print(f"{h[0]:5d} | {h[1]:12.2f} | {h[2]:14.2f} | {h[3]:12.2f}")
```

1-rasm. Ishlab chiqilgan algoritm



2-rasm. Koordinatsion boshqaruv algoritmi natijasi



3-rasm. Oddiy koordinatsion boshqaruvsiz soliq tizimining ishlashi

• Oddiy koordinatsion boshqaruvsiz soliq tizimida oqimlar tartibsiz o'zgaradi, muvozanatga kelmaydi. Bank oqimi pasayishi mumkin, korxonada oqimi sekin ko'tariladi, audit oqimi esa o'zgarishsiz qoladi (3-rasm).

• Koordinatsion boshqaruv modelida esa oqimlar asta-sekin maqsadli qiymatlarga yaqinlashadi. Tizim barqaror bo'ladi (4-rasm).

### Muhokama

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, soliq tizimida qo'llanilayotgan an'anaviy (koordinatsiyasiz) boshqaruv modeli ko'p hollarda ma'lumotlar almashinuvi jarayonida kechikishlar, takroriy ma'lumotlar oqimi va resurslarning nomutanosib taqsimlanishiga olib keladi. Bunday sharoitda turli bo'limlar o'rtasida qaror qabul qilish jarayoni izchillikni yo'qotadi, bu esa tizim samaradorligini pasaytiradi. Shunga qarshi tarzda, taklif etilgan koordinatsion boshqaruv modeli boshqaruv darajalari o'rtasida vertikal va gorizontal axborot almashinuvini muvofiqlashtirish orqali tizimning ichki barqarorligini oshiradi. Model yordamida soliq ma'lumotlari yagona axborot bazasida qayta ishlanadi va ularning o'zaro bog'liqligi algoritmik asosda tahlil qilinadi (jadval, 5-rasm).

Taqqoslash natijalari quyidagilarni ko'rsatdi:

### Modellar tahlili

| Ko'rsatkichlar                | Koordinatsiyasiz model      | Koordinatsion boshqaruv modeli           |
|-------------------------------|-----------------------------|--|
| Ma'lumot almashinuvi tezligi  | Past (fragmentar)           | Yuqori (markazlashgan)                   |
| Qaror qabul qilish jarayoni   | Sekin, bo'limlarga bog'liq  | Avtomatlashtirilgan, muvofiqlashtirilgan |
| Ma'lumotlarning ishonchliligi | Takroriy va xatolarga moyil | Yagona manbadan tasdiqlangan             |
| Resurslardan foydalanish      | Nomutanosib                 | Optimal taqsimlangan                     |
| Tizim moslashuvchanligi       | Past                        | Dinamik, o'zgarishlarga mos              |
| Boshqaruv samaradorligi       | 60–70%                      | 85–95% (model natijalariga ko'ra)        |

| Iteratsiya | Korxonada | Bank  | Audit |
|------------|-----------|-------|-------|
| 0          | 30.00     | 50.00 | 20.00 |
| 1          | 31.00     | 49.00 | 20.00 |
| 2          | 31.90     | 48.10 | 20.00 |
| 3          | 32.71     | 47.29 | 20.00 |
| 4          | 33.44     | 46.56 | 20.00 |
| 5          | 34.10     | 45.90 | 20.00 |
| 6          | 34.69     | 45.31 | 20.00 |
| 7          | 35.22     | 44.78 | 20.00 |
| 8          | 35.70     | 44.30 | 20.00 |
| 9          | 36.13     | 43.87 | 20.00 |
| 10         | 36.51     | 43.49 | 20.00 |
| 11         | 36.86     | 43.14 | 20.00 |
| 12         | 37.18     | 42.82 | 20.00 |
| 13         | 37.46     | 42.54 | 20.00 |
| 14         | 37.71     | 42.29 | 20.00 |
| 15         | 37.94     | 42.06 | 20.00 |
| 16         | 38.15     | 41.85 | 20.00 |

4-rasm. Oddiy tizim

| Qadam | Bank->Soliq | Korxonada->Soliq | Audit->Soliq |
|-------|-------------|------------------|--------------|
| 0     | 47.00       | 33.00            | 20.00        |
| 1     | 44.90       | 35.10            | 20.00        |
| 2     | 43.43       | 36.57            | 20.00        |
| 3     | 42.40       | 37.60            | 20.00        |
| 4     | 41.68       | 38.32            | 20.00        |
| 5     | 41.18       | 38.82            | 20.00        |
| 6     | 40.82       | 39.18            | 20.00        |
| 7     | 40.58       | 39.42            | 20.00        |
| 8     | 40.40       | 39.60            | 20.00        |
| 9     | 40.28       | 39.72            | 20.00        |

5-rasm. Koordinatsion boshqaruvli tizim

Bank oqimi 50 dan 40 ga pasaymoqda, Korxonada oqimi 30 dan 40 ga ko'tarilmoqda, Audit oqimi esa 20 da barqaror qolmoqda.

**Xulosa.** Tadqiqot natijalariga ko'ra, soliq tizimida axborot almashinuvi va boshqaruv jarayonlarining samaradorligini oshirish uchun **koordinatsion boshqaruv modeli** muhim ahamiyat kasb etishi aniqlandi. Ushbu model boshqaruv darajalari o'rtasidagi o'zaro aloqalarni algoritmik tarzda muvofiqlashtirish orqali tizimda

**barqaror, sinxron va ishonchli axborot oqimini** ta'minlaydi. An'anaviy (koordinatsiyasiz) boshqaruv modelida kuzatiladigan ma'lumotlarning takrorlanishi, kechikishlar va nomutanosib resurs taqsimoti muammolari koordinatsion yondashuvda **optimallashtirilgan boshqaruv algoritmlari** orqali bartaraf etiladi.

Kelgusida modelni ko'p agentli tizimlar, blokcheyn asosidagi verifikatsiya va sun'iy intellekt yordamida optimallashtirish yo'nalishlarida kengaytirish rejalashtirilmoqda.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Abdurahmonov S. Soliq tizimida boshqaruv va koordinatsiya. Toshkent: Soliq va moliya nashriyoti, 2023 y. 15–25 b.
2. Smith J. Implementing Tax Coordination // Journal of Tax Policy. 1999 y. №10(3). 102–107 b.
3. Toshpulatov A. Soliq tizimida koordinatsiya va integratsiya. Toshkent: Moliya akademiyasi nashriyoti, 2024 y. 45–55 b.
4. Blaine G. Saito. Context, Purpose and Coordination in Taxation // AQSH da Connecticut Law Review jurnali. Vol. 55. 2022. N.2. – 375.
5. Brown R. Tax Coordination: The Importance of Institutions. Public Finance Quarterly, 2002 y. 143–149 b.
6. Wilson K. Tax Administration Reform Project in Uzbekistan. World Bank Report. 2018 y. 10 – 20 b.
7. Raximova D. Soliq tizimida xalqaro tajriba va O'zbekistonga tatbiqi. – T.: Universitet nashriyoti, 2025. 75–85 b.
8. Bektemirov J. Soliq tizimida boshqaruv va nazorat mexanizmlari. – T.: Iqtisodiyot nashriyoti, 2022. 30–40 b.
9. Hakim o'g'li K. Soliq nazorati samaradorligini oshirish usullari. CAJITMF jurnali, 2025 y. 15–22 b.
10. Ergashev N. Soliq tizimida raqamli texnologiyalar va ularning boshqaruvga ta'siri. – T.: Axborot texnologiyalari nashriyoti, 2023. 60–70 b.
11. Davis M. Tax-Planning vs. Coordination: The Dual Role of Internal Capital Allocation // Corporate Tax Journal, 2020 y. 162–168 b.
12. Bohodirovna A. D. Xalqaro soliq boshqaruvi siyosatlarini. IJMEF jurnali. 2023. 30–35 b.
13. Gadoev E.F., Toshmatov Sh., Koike H., Boymurodov S., Norboyev N., & Adjurayev A. Soliq yig'ish va uning to'lanishi. – T.: Soliq akademiyasi nashriyoti, 2010. 1–68 b.
14. Kasimova N. Soliq ma'muriyatini takomillashtirish: O'zbekiston tajribasi // Yevropa iqtisodiyoti, moliya va biznes rivojlanishi jurnali. 2024 y. 47–55 b.

Raqamli texnologiyalar vazirligi huzuridagi  
Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektni  
rivojlantirish ilmiy-tadqiqot instituti

10.10.2025-y.  
qabul qilingan

## MEXANIK ISHLOV BERISH TEXNOLOGIK TIZIMINING PARAMETRLARINI ANIQLASH VA BAHOLASH

Ushbu maqolada bikrligi kam bo'lgan yuqori aniqlikdagi vallarga mexanik ishlov berish texnologik tizimini modellashtirish va boshqarish masalalari keltirilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi elastik deformatsiyalangan holatda ishlov berish aniqligini ta'minlovchi matematik modelni ishlab chiqishdan iborat. Ishda kesish parametrlari, elastik deformatsiyalar va qo'shimcha boshqaruv ta'sirlari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni aks ettiruvchi texnologik tizimning matematik modeli taklif etilgan. Ishlab chiqilgan model kam bikrlikli detallarga ishlov berish texnologik jarayonlarini optimallashtirish va ularning samaradorligini oshirish uchun nazariy asos bo'lib xizmat qiladi.

**Kalit so'zlar:** detal, model, texnologik tizim, elastik deformatsiya, simmetriya, bikrlik, val, kesish parametrlari, barqaror rejim, adaptiv boshqaruv.

С.Н. Джумаев

### Определение и оценка параметров технологической системы механической обработки

В данной статье рассматриваются вопросы моделирования и управления технологической системой механической обработки высокоточных валов малой жесткости. Основной целью исследования является разработка математической модели, обеспечивающей точность обработки в упругодеформированном состоянии. Предлагается математическая модель технологической системы, отражающая взаимосвязь между параметрами резания, упругими деформациями и дополнительными управляющими воздействиями. Разработанная модель служит теоретической основой для оптимизации технологических процессов обработки деталей малой жесткости и повышения их эффективности.

**Ключевые слова:** деталь, модель, технологическая система, упругая деформация, симметрия, жесткость, вал, параметры резания, устойчивый режим, адаптивное управление.

S.N. Djumaev

### Determination and evaluation of the parameters of the technological system of mechanical processing

This article presents issues of modeling and controlling the technological system for mechanical processing of high-precision low-rigidity shafts. The main objective of the research is to develop a mathematical model that ensures machining accuracy in the elastically deformed state. The work proposes a mathematical model of the technological system that reflects the relationship between cutting parameters, elastic deformations, and additional control actions. The developed model serves as a theoretical basis for optimizing the technological processes of processing low-rigidity parts and increasing their efficiency.

**Keywords:** part, model, technological system, elastic deformation, symmetry, stiffness, shaft, cutting parameters, stable mode, adaptive control.

**Kirish.** Mexanik ishlov berish texnologik tizimlarining (TT) dinamikasi bo'yicha zamonaviy tadqiqotlarda barqaror rejimlarda matematik modelni ishlab chiqishga o'tish tizimli tahlilning hal qiluvchi bosqichi hisoblanadi. Bu o'tish "dastgoh-asbob-detal" bo'g'inlarining barqaror o'zaro ta'siri qonuniyatlarini aniqlash va xomashyoning elastik deformatsiyalangan holati sharoitida ishlov berish aniqligini hamda sifatini belgilovchi parametrlarni aniqlash zarurati tufayli yuzaga keladi.

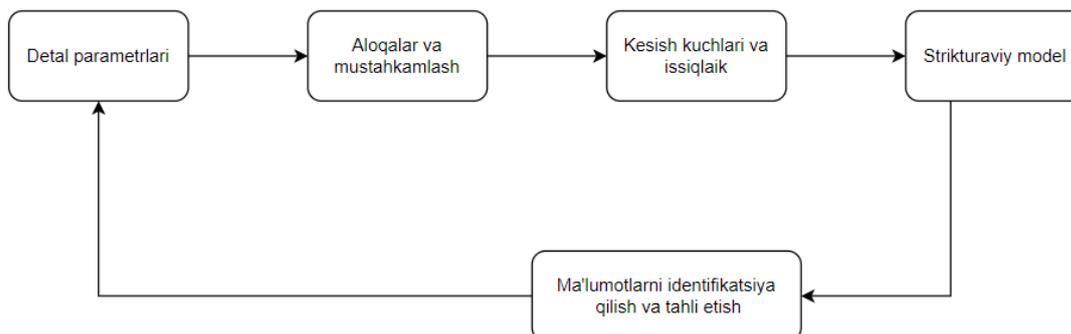
Bikrligi kam bo'lgan yuqori aniqlikdagi vallarga ishlov berish texnologik tizimini boshqarishda qo'llaniladigan matematik modellar jarayonlarni optimallashtirish va ushbu tizimning samaradorligini oshirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Bu modellar materiallarning elastik deformatsiyalarini hisobga olgan holda ularning xatti-harakatlarini bashorat qilish imkonini beradi, bu esa detallarga aniq ishlov berishda muhim ahamiyat kasb etadi [1].

Muayyan model turini tanlash masalasi faqatgina mustahkamlash usuli va modelni qurish, parametrik identifikatsiyalash hamda imitatsion modelda olingan natijalarning eksperimental ma'lumotlarga yaqinligini tahlil qilish bo'yicha yakuniy konstruktiv qaror qabul qilingandan so'ng hal etilishi mumkin. Ushbu usullarni birlashtirish natijasida kam birk vallarga ishlov berish texnologik jarayonining turli jihatlarini aks ettiruvchi mukammal raqamli modellarni yaratish imkoniyati paydo bo'ladi. Bu esa murakkab ishlov berish jarayonlarini modellashtirish paytida yanada aniqroq va haqiqatga yaqinroq natijalar olishga imkon beradi [2].

**Valning barqaror rejimlarda tokarlik ishlov berishning texnologik tizimini modellashtirish.** Real sharoitlarda ishlov berish kesishning barqaror rejimlarida amalga oshiriladi. Bunda o'tish jarayonlarining ta'siri (kiritish, siqish, asbobni chiqarish) ikkinchi darajali bo'lib qoladi. Yuzaning shakli, o'lchami va sifatini belgilovchi kuchlar, deformatsiyalar va tezliklar balansi hal qiluvchi ahamiyatga ega bo'ladi [3].

Shu sababli, aynan barqarorlashgan rejim tizimni matematik tasvirlash uchun asos bo'lib xizmat qiladi va empirik bog'liqliklardan barqaror holatning tahliliy tenglamalariga o'tish imkonini beradi.

O'qqa nisbatan simmetrik bo'lgan egiluvchan valga ishlov berish jarayonining matematik modelini strukturaviy identifikatsiyalash masalasi ko'rinishida tasavvur qilish mumkin. Bunday masalaning asosiy maqsadi yetarlicha sodda, ammo haqiqatga mos keladigan modelni yaratishdir. Ushbu vazifa doirasida bir tomondan, jarayonning fizik-mexanik xususiyatlari, texnologik tizim elementlari o'rtasidagi aloqa turlari va parametrlari haqidagi dastlabki ma'lumotlarni hisobga olish zarur. Boshqa tomondan esa, ishlov berishning aniqlik ko'rsatkichlariga hal qiluvchi ta'sir ko'rsatadigan omillarni aniqlash talab etiladi.



1-rasm. Strukturaviy identifikatsiyalash sxemasi

Jarayonning aniqligiga bevosita ta'sir ko'rsatadigan asosiy omillar sifatida detalning geometrik va elastik xususiyatlari, mahkamlash va bazalash shartlari, hamda kesuvchi asbobning kuch ta'siri ko'rib chiqiladi. Materialning geometrik parametrlari va mexanik xossalari (elastiklik moduli, Puasson koeffitsiyenti) yuzaga keladigan elastik deformatsiyalarning xarakteri va miqdorini belgilaydi.

Strukturaviy identifikatsiya jarayonida "moslama-asbob-detal" elementining dinamik o'zaro ta'siri hisobga olinadi (1-rasm). Chunki bu jarayonning barqarorligi va aniqligiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Muhim jihat shundaki, statsionar sharoitlar va kuch ta'sirining davriyligini formallashtirish orqali matematik tavsifni soddalashtirish mumkin.

Xususan, bu tizimning qattqlik va dempferlash kabi dinamik parametrlarining detal holatiga o'zaro ta'sirini baholashni hamda belgilangan ishlov berish rejimlarida texnologik tizimning umumiy barqarorligini tahlil qilishni nazarda tutadi.

Detalni mahkamlash shartlarini aniqlash ham muhim jihat hisoblanadi. Bu shartlarga bazalash turi, mahkamlash qattqligi va tayanch nuqtalarining joylashuv

konfiguratsiyasi kiradi. Aniq mahkamlash sharoitlariga qarab, modelda elastik yoki mutlaq qattiq bog‘lanishlar qo‘llaniladi.

Keyingi bosqich elastik deformatsiyalarni modellashtirishning mos usulini tanlashdir. Eng keng tarqalgan yondashuv chekli elementlar usuli (ChEU) dan foydalanishdir, ammo detalning geometriyasi nisbatan sodda va deformatsiyalar ahamiyatsiz bo‘lgan hollarda analitik yoki yarim analitik usullarni qo‘llash mumkin.

Modelni qurishda detal bilan kesuvchi asbob orasidagi kuch o‘zaro ta‘siriga alohida e‘tibor beriladi. Bu yerda kesish rejimlari - tezlik, surish, kesish chuqurligi, kesuvchi qirraning shakli va holatiga bog‘liq bo‘lgan kesish kuchlarining kattaligi va xarakterini baholash muhimdir. Bunda ishlov berish jarayonida keskichning ta‘sir etish davriyligini hisobga olish zarur.

Quyida qabul qilingan farazlarni hisobga olgan holda tokarlik ishlovi sharoitida masalaning formallashtirilgan matematik qo‘yilishi keltirilgan.

Tokarlik ishlov berish texnologik tizimining ishlashini fizik-matematik modellashtirish nuqtayi nazaridan kichik tizimlar - dastgoh, asbob va xomashyo o‘rtasidagi kuch, kinematik va energetik bog‘lanishlar majmuasi orqali tavsiflash mumkin.

Uskunalarining aniqlik ishonchligini ta‘minlash uchun ijrochi elementlar (keskich, shpindel, lyunetlar va boshqalar) berilgan fazoviy holatni yoki harakat yo‘nalishini egallashi lozim. Tizimning chiqish koordinatalari elastik deformatsiyalar  $y(t)$  bo‘lib, ular asbob va detal holatining o‘zgarishini belgilaydi. Bu deformatsiyalar ishlov berilgan detal  $Y(t) = f(y(t))$  yuzasining shakli, diametri, g‘adir-budurligi va to‘lqinsimonligidagi xatoliklarga ta‘sir ko‘rsatadi.

Boshqaruvchi ta‘sirlar vektori kirish koordinatalari sifatida xizmat qiladi:

$$\vec{u}(t) = \{n(t), v_f(t), \alpha(t)\}, \quad (1)$$

bunda  $n$  – shpindelning aylanish tezligi,  $v_f(t)$  – surish tezliklari,  $\alpha(t)$  esa asbobni o‘rnatish va yo‘naltirish burchagini ifodalaydi.

Bu ta‘sirlar natijasida shakl berish shartlarini belgilaydigan texnologik o‘zgaruvchilar vektori shakllanadi:

$$\vec{Y}(t) = \{V(t), S(t), t, y_v(t)\}, \quad (2)$$

bunda  $V(t)$  – kesishning oniy tezligi;  $S(t)$  – bir aylanishga to‘g‘ri keladigan uzatma;  $t$  – jarayonning joriy vaqti;  $y_v(t)$  – ishlov berish jarayonida tayyorlama o‘qining elastik deformatsiyasi.

Shunday qilib, elastik-deformatsiyalangan holatdagi texnologik tizimning matematik modeli umumiy ko‘rinishda quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$\dot{Y}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Df(t), \quad y(t) = Cx(t), \quad (3)$$

bunda  $Y(t)$  – holat vektori (elastik deformatsiyalar, tebranishlar, asbob va tayyorlamaning og‘ishi);  $u(t)$  – boshqaruv ta‘sirlari vektori (tezliklar, kesish kuchi, cho‘zuvchi kuch);  $f(t)$  – g‘alayonlanish vektori (kesish kuchlari, issiqlik va tebranish ta‘sirlari);  $A, B, C, D$  – identifikatsiya va tajribalar asosida aniqlanadigan dinamik tizim parametrlari matritsalaridir.

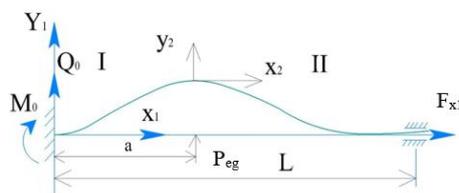
$X$  o‘qi bilan mos keladigan o‘qqa ega bo‘lgan val (detal) ko‘rib chiqiladi. Tayyorlamaning uzunligi  $L$  ga teng bo‘lib,  $x$  koordinatasi oldingi babkadan ( $x = 0$ ) orqa babkagacha ( $x = L$ ) o‘lchanadi. Detalning radial yo‘nalishda  $w(x)$  kattalikka egilishga qodir ekanligini taxmin qilamiz va buni izlanayotgan funksiya sifatida qabul qilamiz.

Barqaror (statsionar) sharoitlarda o'zgarmas kesish kuchlari va o'q bo'yicha  $P$  yuklanish ta'sirida, kichik deformatsiyalar holatida, detalning elastik chizig'ini bo'ylama kuchni inobatga olgan holda Eyle-Bernulli differensial tenglamasi yordamida ifodalash mumkin:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + F_x \frac{d^2 y}{dx^2} = q(x), \quad x \in [0, L], \quad (4)$$

bunda  $y(x)$  – valning radial egilishi;  $E$  – detal materialining elastiklik moduli;  $I$  – detalning ko'ndalang kesimi neytral o'qqa nisbatan inersiya momenti;  $F_x$  – orqa babka, mahkamlash elementlari va boshqalar hosil qiladigan o'q bo'yab cho'zuvchi kuch;  $q(x)$  – ekvivalent taqsimlangan ko'ndalang yuk (agar kuch ta'siri chegaraviy shartlar yoki to'plangan kuchlar orqali modellashtiriladigan bo'lsa, 0 ga teng bo'ladi).

Detailning barcha  $E, I, P$  parametrlari hamda shakli uning uzunligi bo'yab o'zgarmas (yoki qismlar bo'yicha o'zgarmas) deb hisoblanadi.



2-rasm. Markaziy cho'zilish (siqilish) holatida detalning mahkamlanish sxemasi

Soddalashtirilgan holda, oldingi babka valning boshlanish qismini qattiq mahkamlaydi, orqa babka esa o'q bo'yicha ta'sir ko'rsatib, tayanch vazifasini bajaradi deb faraz qilinadi. Tipik holat (chap tomonda qattiq mahkamlash va o'ng tomonda sharnirli tayanch - markaziy cho'zilish misolida) quyidagicha belgilanishi mumkin:

I-qism uchun (oldingi babka,  $x = 0$ , mahkamlangan joy):

$$y(0) = 0, \quad \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=0} = 0.$$

II qism uchun (orqa babka,  $x = L$ , momentsiz tayanch):

$$EI \left. \frac{d^2 y}{dx^2} \right|_{x=L} = 0, \quad EI \left. \frac{d^3 y}{dx^3} \right|_{x=L} + F_x \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=L} = 0.$$

Haqiqiy mahkamlash turiga qarab, bu shartlar o'zgarishi mumkin. Masalan, orqa babkada  $X$  o'qi bo'yab siljish imkoniyatisiz qattiqroq qisish bo'lsa, vaziyat boshqacha bo'lishi mumkin va hokazo.

Shunday qilib, masalaning matematik qo'yilishi to'rtinchi tartibli chiziqli differensial tenglama uchun chegaraviy masalani yechishga keltiriladi:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + F_x \frac{d^2 y}{dx^2} = 0, \quad x \in (0, L); \quad (5)$$

Chegaraviy shartlar quyidagicha:

$$y(0) = 0, \quad \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad x = 0;$$

$$EI \left. \frac{d^2 y}{dx^2} \right|_{x=L} = 0, \quad EI \left. \frac{d^3 y}{dx^3} \right|_{x=L} + F_x \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=L} = 0. \quad (6)$$

Farazlarga ko'ra, detalning silindriklikdan chetlanishi tegishli kesimdagi egilish miqdoriga mutanosib deb qabul qilinadi. Shaklning mahalliy xatosi (berilgan radiusdan og'ish)  $e(x)$  bilan belgilansin. U holda:

$$e(x) = k \cdot y(x), \quad (7)$$

bu yerda  $k$  – mutanosiblik koeffitsiyenti (geometriya va o‘lchash usuliga bog‘liq). Shaki xatosini minimallashtirish masalasi amalda  $0 \leq x \leq L$  oraliqda  $|y(x)|$  ning maksimal qiymatini cheklashga keltiriladi.

Statsionar jarayon uchun boshlang‘ich shartlar (dinamik qo‘yilishga xos bo‘lgan) soddalashtirilishi mumkin. Asbobning “tegish” payti va taranglik hosil bo‘lish vaqti faqatgina kuch ta’sirining dastlabki darajasini belgilaydi. Biroq barqarorlashgan statsionar model uchun ko‘p hollarda chegaraviy shartlar bilan ishlashning o‘zi yetarli hisoblanadi.

Ko‘pincha, kesish kuchlari keskich sohasida mahalliy tarzda qo‘llanilganda,  $q(x)$  o‘rniga kontakt nuqtasidagi moment yoki ko‘ndalang kuch uchun tegishli chegaraviy shartlardan foydalaniladi. Xuddi shunday, valni bir necha qismga bo‘lib, tutashtirish shartlarini qo‘llagan holda, har bir qism uchun o‘xshash tenglamalarni yozish mumkin.

Valning ikki qismga bo‘linganligini qabul qilamiz:

I qism:  $0 \leq x \leq a$

II qism:  $a \leq x \leq L$

Har bir qismda o‘ziga xos egilish funksiyasini kiritamiz:

$$y_I(x), x \in [0, a]; \quad y_{II}(x), x \in [a, L].$$

Barqaror (deyarli statik) sharoitlarda har bir uchastka uchun  $F_x$  o‘q kuchiga ega bo‘lgan to‘rtinchi tartibli differensial tenglamadan foydalaniladi:

$$\begin{cases} EI \frac{d^4 y_I}{dx^4}(x) + F_x \frac{d^2 y_I}{dx^2}(x) = 0, & 0 \leq x \leq a, \\ EI \frac{d^4 y_{II}}{dx^4}(x) + F_x \frac{d^2 y_{II}}{dx^2}(x) = 0, & a \leq x \leq L. \end{cases} \quad (8)$$

bunda  $F_x$  – cho‘zilish kuchining o‘q bo‘yicha tashkil etuvchisi (masalan, orqa babkadan yoki agar u taranglik hosil qilsa, tsangali qisqichdan) bo‘lib, tarqalgan ko‘ndalang kuch  $q(x)$  yo‘q deb taxmin qilinadi va barcha “g‘alayonlar” yoki chegara shartlariga, yoki to‘plangan kuchlarga, yoki eguvchi momentga to‘g‘ri keladi.

Yechim ikkita funksiyaga bo‘linganligi sababli,  $x = a$  o‘tish nuqtasida bog‘lanish shartlari bajarilishi kerak.

Ko‘chishlarning (egilishlarning) uzluksizligi quyidagi ko‘rinishda:

$$y_I(a) = y_{II}(a).$$

Burilish burchaklarining uzluksizligi:  $y'_I(a) = y'_{II}(a)$

Shundan so‘ng, to‘plangan kuch omillari inobatga olinadi:

$x = a$  nuqtasidagi to‘plangan ko‘ndalang kuch  $Q_1$  (masalan, kesuvchi asbobdan hosil bo‘lgan) ichki ko‘ndalang kuchda uzilish paydo qiladi.

Eyler-Bernulli balkasining klassik nazariyasiga ko‘ra,  $F_x$  o‘q kuchini inobatga olgan holda, ichki ko‘ndalang kuch quyidagicha ifodalanadi:

$$F(x) = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} - F \frac{dy}{dx}.$$

Shu sababli, bu kuchning  $x = a$  nuqtasidagi "sakrash" sharti:

$$[F_{II}(a) - F_I(a)] = Q_1 \Rightarrow -EI[y''_{II}(a) - y''_I(a)] - F_x[y'_{II}(a) - y'_I(a)] = Q_1.$$

$x = a$  nuqtasida joylashgan markazlashgan eguvchi moment  $M_1$  ichki eguvchi moment  $M(x)$  da uzilish hosil qiladi. Klassik to‘sin nazariyasiga asosan:

$$M(x) = -EI y''(x),$$

Bunday holda, momentlarning "sakrash" sharti quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$[M_{II}(a) - M_I(a)] = M_1 \Rightarrow -EI[y''_{II}(a) - y''_I(a)] = M_1.$$

Shunday qilib, to'plangan kuchlar va momentlar mavjud bo'lgan holda ikki qismga ajratilgan val uchun masalaning to'liq qo'yilishi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$EI \frac{d^4 y_i}{dx^4}(x) + F_x \frac{d^2 y_i}{dx^2}(x) = 0, \quad i \in \{1, 2\}. \quad (9)$$

Chegaraviy shartlarda:  $x = 0$  va  $x = L$  bo'lganda, mahkamlash sxemasi va  $x = a$  nuqtadagi tutashish shartiga bog'liq holda  $y$  va  $y'$  ning uzluksizligi,  $M_1$  moment ta'sirida  $y''$  ning sakrashi hamda  $Q_1$  ko'ndalang kuch ta'sirida  $y'''$  ning sakrashi kuzatiladi.

Oldingi babkadagi mahkamlash joyidagi  $Q_0$ ,  $M_0$  ning, erkin uchidagi yoki orqa babkadagi  $F_x$  ning, shuningdek,  $P_{eg}$  (asbobdan ko'ndalang kuch) yoki  $M_1$  (kesuvchi asbobning o'q bo'yicha eksentrik ta'sir etuvchi kuch momenti) kattaliklarining aniq qiymatlarini qo'yib, masalani bir qiymatli hal qilish va tegishli ravishda birinchi hamda ikkinchi qismlarda egilish funksiyasi  $y_I(x)$  va  $y_{II}(x)$  ni olish mumkin.

O'qqa nisbatan simmetrik detalning bo'ylama-ko'ndalang egilishining boshlang'ich tenglamasi, o'q bo'ylab kuch ta'sir etgan holda, o'zgaras koeffitsiyentli 4-tartibli chiziqli bir jinsli differensial tenglama hisoblanadi. Shu sababli, uni yechish uchun quyidagi ko'rinishdagi almashtirishni qo'llaymiz:

$$y(x) = e^{rx},$$

bu yerda  $e$  – eksentrisitet, detalning silindrsimonlikdan chetlanishi;  $r$  – ishlov beriladigan detalning radiusi.

Boshlang'ich tenglamaga qo'yib, xarakteristik tenglamani hosil qilamiz:

$$EI r^4 + F_{x1} r^2 = 0 \Rightarrow r^2 (EI r^2 + F_{x1}) = 0.$$

Uning yechimlari quyidagilardir:

$$r_{1,2} = 0, \quad r_{3,4} = \pm \sqrt{-\frac{F_{x1}}{EI}} = \pm \alpha, \quad \text{bunda} \quad \alpha = \sqrt{-\frac{F_{x1}}{EI}}.$$

Bu yerda, siqilishdagi o'q bo'yicha kuch manfiy  $F_x < 0$  bo'lgani uchun (cho'zilish uchun musbat bo'ladi), ildiz ostidagi qiymat musbat bo'ladi va natijada  $\alpha$  ning haqiqiy qiymatin

(8) tenglamaning yechimini har bir qism uchun quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

-  $0 \leq x \leq a$  bo'lganda, I uchastka uchun

$$y_1(x_1) = \frac{Q_0}{\alpha F_{x1}} sh(\alpha x_1) + \frac{M_0}{F_x} ch(\alpha x_1) - \frac{Q_0 x_1 + M_0}{F_x}; \quad (10)$$

-  $a \leq x \leq L$  bo'lganda, II uchastka uchun

$$y_2(x_2) = \frac{Q_0 ch(\alpha a) + M_0 \alpha sh(\alpha a) + P_{eg}}{\alpha P_x} sh(\alpha x_2) + \frac{Q_0 sh(\alpha a) + M_0 \alpha ch(\alpha a)}{\alpha P_{x1}} ch(\alpha x_2) - \frac{[Q_0 ch(\alpha a) + M_0 \alpha sh(\alpha a) + P_{eg}] x_2 + [Q_0 sh(\alpha a) + M_0 \alpha ch(\alpha a)]}{F_x} \quad (11)$$

Umumiy yechim quyidagi ko'rinishni oladi:

$$y(x) = A + Bx + Csh(\alpha x) + Dch(\alpha x), \quad (12)$$

bunda  $A, B, C, D$  – chiziqli ko‘chishlar (siljish, burilish burchagi) uchun mas‘ul bo‘lgan doimiy koeffitsiyentlar;  $sh(\alpha x)$ ,  $ch(\alpha x)$  – o‘q bo‘ylab cho‘zuvchi (siquvchi) kuch ta’siri natijasida detal o‘qi bo‘ylab deformatsiya va kuchlanishlar taqsimlanishining chiziqli bo‘lmagan xususiyatini ifodalovchi giperbolik hadlar hisoblanadi.

ABCD doimiy koeffitsiyentlari chegaraviy shartlardan, muvozanat shartlaridan va deformatsiyalarning o‘zaro mosligi shartlaridan aniqlanadi. Hisoblash metodikasi va olingan natijalar mazkur ishda batafsil ko‘rib chiqilgan [4].

Shunday qilib, cho‘zuvchi kuchlar va eguvchi momentlar ta’sirida elastik chiziqning umumiy tenglamasi yechimi topildi. Ishlov berish jarayonida valning turli qismlaridagi cho‘zuvchi kuchlar, eguvchi momentlar va egilishlar qiymatlari aniqlandi. Bu esa egiluvchan vallarga tokarlik ishlov berishda konstruktiv o‘lchamlar aniqligini oshirish imkonini beradi.

Taqdim etilgan matematik ifoda frezalash sharoitida bo‘ylama-ko‘ndalang egilishda o‘qqa nisbatan simmetrik bo‘lgan tayyorlama (val) ning elastik chiziqlarini aniqlash masalasini aks ettiradi. O‘q bo‘ylab yo‘nalgan kuchni va tegishli chegaraviy shartlarni hisobga olgan holda Eyler-Bernulli tenglamasi radial egilishlar  $y(x)$  ni hisoblash imkonini beradi, bu esa o‘z navbatida detal shaklining silindrligidan og‘ishini baholash imkonini yaratadi. Tenglamadagi giperbolik funksiyalar aynan o‘q bo‘ylab ta’sir etuvchi yukni (bu holda  $F_x$  kuchini) hisobga olish natijasida paydo bo‘ladi. Agar o‘q bo‘ylab ta’sir etuvchi kuch hisobga olinmasa, yechim pastroq darajali polinomlarga keltirilgan bo‘lardi.

Texnologik tizimning kirish va chiqish koordinatalari orasidagi bog‘lanish operator tenglamasi orqali ifodalanishi mumkin:

$$\vec{Y}(s) = \vec{G}(s)\vec{U}(s) + \vec{G}_B(s)\vec{F}(s), \quad (13)$$

bu yerda  $\vec{G}(s)$  – texnologik tizimning uzatish funksiyasi,  $\vec{G}_B(s)$  esa g‘alayonlantiruvchi ta’sirlarni uzatish funksiyasi hisoblanadi.

Ishlov berishning turg‘un rejimlarida va g‘alayonlanishning tor oralig‘ida elastik-deformatsiyalangan holatning chiziqli modelini qo‘llash mumkin:

$$m \cdot \ddot{y}(t) + b \cdot \dot{y}(t) + c \cdot y(t) = F_c(t) + F_d(t), \quad (14)$$

bu yerda  $m$  – tizimning ekvivalent massasi,  $b$  – so‘nish koeffitsiyenti,  $c$  – qattqlik,  $F_c(t)$  – kesish kuchlari,  $F_d(t)$  – qo‘shimcha tuzatuvchi kuchlar (masalan, cho‘zuvchi kuch) hisoblanadi.

Elastik deformatsiyalangan holatdagi texnologik tizimning yaratilgan matematik modeli kesish parametrlari, elastik deformatsiyalar va qo‘shimcha boshqaruv ta’sirlari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni aks ettiradi. Yuqorida bayon etilganlarga asoslanib, ko‘rib chiqilayotgan dinamik tizimlarning matematik modellarining chiqish o‘zgaruvchilari sifatida kesish kuchlari va texnologik tizimning elastik deformatsiyalari qabul qilinadi.

**Texnologik tizimni boshqarishni optimallashtirish mezonlarini shakllantirish va sintezlash metodikasini ishlab chiqish.** Tokarlik ishlov berish texnologik tizimining fizik-matematik modeli optimal boshqarish masalasini shakllantirishga imkon beradi. Olingan bog‘liqliklar elastik deformatsiyalangan holatdagi asbob, tayyorlama va dastgoh qismlari orasidagi o‘zaro dinamik ta’sirni aks ettiradi. Biroq, hatto tizim holatini aniq taqriblashtirish mumkin bo‘lsa-da, boshqaruv ta’sirlarining maqbul parametrlarini tanlamasdan, talab etiladigan ishlov berish aniqligiga erishib bo‘lmaydi.

Mexanik ishlov berish jarayonida egiluvchan vallarning elastik-deformatsiyalangan holatini boshqarish uchun optimallashtirish mezonlari va boshqaruv

ta'sirlarini sintezlashning rasmiy metodikasini ishlab chiqish zarur. Matematik modellar tahlili shuni ko'rsatdiki,  $l/d \geq 15 \dots 50$  nisbatga ega bo'lgan aylanma jismlar sinfi detallarining elastik egilishlarini eng kam darajaga tushirish uchun optimallashtirish masalasini quyidagicha qo'yish maqsadga muvofiq.

Tokarlik ishlov berish texnologik tizimining ishlashi jarayonida tayyorlamaning elastik deformatsiyalari miqdoriga asosiy ta'sirni materialning oldindan zo'riqtirilgan holatini hosil qiluvchi bo'ylama cho'zuvchi kuchlar  $F_x(t)$  va eksentrisitet  $e$  ko'rsatadi. Bu omillarning ta'siri bikrlilik  $c_v$  ning o'zgarishi va kuchlanishlarning qayta taqsimlanishida namoyon bo'ladi, bu esa ishlov berish zonasida detal egilishini samarali boshqarish imkonini beradi. Deformatsiya funksiyasi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\delta(t) = f(F_c(t), F_x(t), c_v), \quad (15)$$

bunda  $F_c(t)$  – kesish kuchi,  $c_v$  esa tayyorlamaning ekvivalent bikrligi hisoblanadi. Shunday qilib, dastlabki taranglik  $F_x$  optimal boshqaruv vektoriga kiritiladi. Bu esa ruxsat etilgan kuchlanish holatini saqlagan holda valning egilishini eng kam darajaga tushiradi.

Ishlov berish aniqligini oshirish uchun qonuniyatlarni tavsiflashdan kesish kuchlari ta'sirida detalning egilishini eng kam darajaga tushiradigan boshqaruv ta'sirlarini optimallashtirishga o'tish zarur. Bunday holda, texnologik tizimni boshqarish masalalari geometrik va rejim parametrlarining funksiyalari sifatida rostlovchi ta'sirlar  $F_x$  – cho'zuvchi kuch va chiqish koordinatalari bo'yicha xatolar eksentrisitetining maqbul parametrlarini aniqlashga keltiriladi.

Optimallik mezoni sifatida ishlov berish jarayonida detalning elastik egilishini eng kam darajaga tushirish qabul qilingan bo'lib, bu matematik jihatdan quyidagicha ifodalanadi:

$$Y = \min_{F_{x1}, e} f(\alpha, L, P_{eg}, F_x, V, S, t, F_{x1}, e, a, X). \quad (16)$$

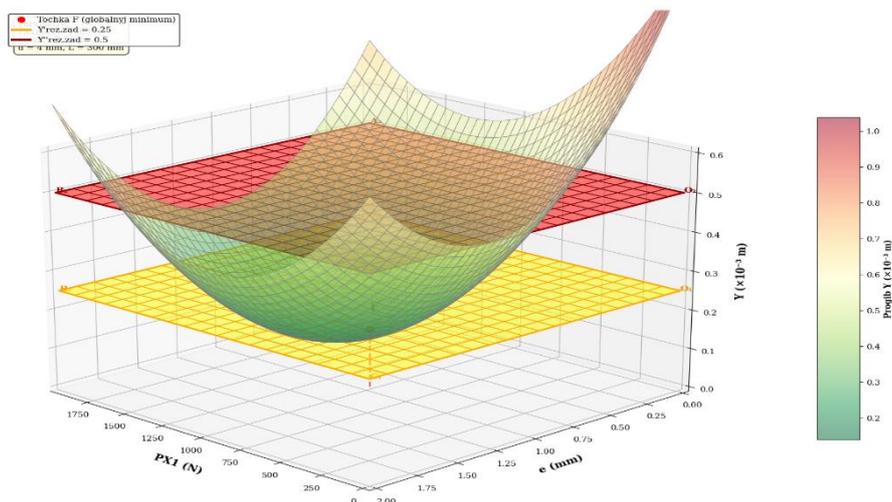
Boshqaruv parametrlari o'zgartirilganda, detal egilishining  $Y$  minimal qiymatini aniqlash maqsad qilingan. Modellashtirish ikki o'lchamli gradiyent qidirish usuli hamda dixotomiya usuli yordamida amalga oshirildi, bu esa optimal boshqaruv parametrlarini aniqlash imkonini beradi.

$Y$  maqsad funksiyasi cho'zilgan va egilgan sterjenning markaziy cho'zilishdagi egilishini ifodalovchi (9) model va 2-rasmdagi analitik bog'lanishlarga asoslangan holda tuzilgan. Ushbu model detalning uchlarini o'q bo'ylab siljish imkoniyati bilan qattiq mahkamlashni hamda mahkamlash nuqtasida eksentrisitet orqali boshqariladigan moment hosil qilishni inobatga oladi.

O'zgaruvchan parametrlarga uskunaning konstruktiv xususiyatlari, ishlov berilayotgan materialning mustahkamlik ko'rsatkichlari va jarayon kinematikasi bilan bog'liq bo'lgan  $U_i$  cheklovlar tizimi qo'llaniladi:

$$\begin{aligned} a \in \{0, L\}, X \in \{0, L\}, e \in \{0, 2d\} \\ F_{x1} \in \bar{\sigma} = \{(F_{x1}) : g_i(P_{x1}) \leq U_i\}, U_i \geq 0, i = \overline{1, n} \\ F_{x1} \leq K_p : F_{x1P} = K_p [\sigma_{H.P.}] \cdot F_p \end{aligned} \quad (17)$$

bu yerda  $F_{x1P}$  – materialning mustahkamlik chegarasi bilan aniqlanadigan cho'zilish kuchi;  $\sigma_{H.P.}$  – ruxsat etilgan cho'zilish kuchlanishlari;  $K_p$  – mustahkamlik zaxirasi koeffitsiyenti;  $F_p$  – tayyorlamaning ko'ndalang kesim yuzasining kritik qiymati.



2-rasm. To‘r usuli yordamida texnologik cheklovlarga ega bo‘lgan  $Y_{F_{x1},e}$  maqsad funksiyasining fazoviy reaksiya yuzasi

To‘rlar usulidan foydalangan holda o‘tkazilgan sonli modellashtirish (6) maqsad funksiyasining unimodal funksiyalar sinfiga mansub ekanligini ko‘rsatdi. Bu esa optimumni izlash masalasini sezilarli darajada soddalashtiradi.

Optimal boshqaruvni amalda qo‘llashning muhim xususiyati shundaki, ko‘pchilik texnologik holatlarda  $F$  ning global minimumiga erishish talab etilmaydi. Ishlov berish talab qilingan aniqlikni ta‘minlash uchun  $Y \leq Y_{set}$  tengsizligining bajarilishi yetarli shart hisoblanadi. Bu yerda  $Y_{set}$  – texnologik talablar bilan belgilangan egilishning mumkin bo‘lgan qiymatidir. 2-rasmda kesuvchi tekisliklar  $Y'_{set}$  va  $Y''_{set}$  ning turli qiymatlariga mos keladi. Bu tekisliklarning javob yuzasi bilan kesishish chiziqlari ruxsat etilgan yechimlar to‘plamini hosil qiladi. Ushbu to‘planning har qanday nuqtasi berilgan texnologik talablarga javob beradi [5].

**Xulosa.** Kesish parametrlari, elastik deformatsiyalar va qo‘shimcha boshqaruv ta‘sirleri orasidagi o‘zaro bog‘liqlikni aks ettiruvchi elastik deformatsiyalangan holatdagi texnologik tizimning matematik modeli ishlab chiqildi. Kesish kuchlari va oldindan zo‘riqtirishning ishlov berish aniqligiga ta‘sirini baholash imkonini beruvchi statik muvozanat va dinamika tenglamalari olindi. Holatlar fazosidagi modeldan foydalanish optimal va bashoratli boshqaruv usullarini qo‘llash imkoniyatini ta‘minlashi ko‘rsatib berildi. Qo‘shimcha cho‘zuvchi kuch kiritilishi egiluvchan vallarning bukilishini kompensatsiyalashni va jarayon barqarorligini oshirishni ta‘minlaydi. Elastik ko‘chishlar va elastik deformatsiyalangan holatni boshqarish aniqligining mezoni sifatida integral-kvadratik baholash hamda takomillashtirilgan integral-kvadratik baholashdan foydalanish orqali adaptiv boshqaruv tizimlarining tezkorligi va sifatini oshirish mumkin.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Świć A., Gola A., Orynych O., Tucki K., Matijošius J. Technological Methods for Controlling the Elastic-Deformable State in Turning and Grinding Shafts of Low Stiffness // Materials. Vol. 15. 2022. No.15. P.5265. <https://doi.org/10.3390/ma15155265>.
2. Liu Y., Ma C., Gui H., Wang S. A digital twin-driven cutting force adaptive control approach for milling process // Journal of Intelligent Manufacturing. Vol. 35. 2023. P.2447–2462. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02193-2>.

3. Bobrovskii A.B., Drachev O.I., Gorshkov B.M. Machining of Keyways in Long Flexible Shafts // Russian Engineering Research. Vol. 40. No.5. 2020. P.363–366. <https://doi.org/10.3103/S1068798X20050056>.
4. Sulyukova L.F., Djumaev S.N., Avazov I., Muratov, L. Improving the processing accuracy of the puller shaft of the cotton harvesting machine controlling the dynamic system parameters // BIO Web of Conferences. 2024. № 105. P.040 – 03. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410504003>.
5. Сулюкова Л. Ф., Якубжанова Д. К., Джумаев С.Н. Построение динамических моделей технологических систем обработки нежестких осесимметричных деталей // Raqamli Transformatsiya va Sun'iy Intellekt ilmiy jurnali. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti. Vol. 3. Issue 1. February 2025.

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti

15.10.2025- y.  
qabul qilingan

УДК: 662.997

**Б.С. РАСАХОДЖАЕВ, Ж.З. АХАДОВ, О.А. РИХСИБОЕВ, У.З. АХМАДЖОНОВ,  
Ж.Ж. ШОИМОВ, А.Р. ХАМДАМОВ, М.И. ШОЕРГАШЕВ, Д.Р. МАШРАБОВ**

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛИЦ С АВТОНОМНЫМИ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСАМИ**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований систем, энергоснабжения двух солнечных теплиц построенных на территории полигона Национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан. Каждая солнечная теплица имеет площадь по 100 кв. м. Для теплоснабжения теплиц сооружены две биогазовые установки емкостью 3 т каждая. Для электроснабжения установлена фотоэлектрическая станция с аккумуляторами энергии номинальной мощностью 5 кВт. Результаты исследований показывают, что по выходным показателям биогазовой установки и автономной фотоэлектрической станции с номинальной мощностью 5 кВт они способны обеспечить бесперебойное и эффективное автономное электроснабжение теплицы, в том числе и потребителей горных и сельских регионов, отдаленных от общей распределительной сети.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, солнечная теплица, фотоэлектрическая станция, биогазовая установка, тепловая энергия, биогаз, эффективность.

**Б.С. Расаходжаев, Ж.З. Ахадов, О.А. Рихсибоев, У.З.Ахмаджонов,  
Ж.Ж. Шоимов, А.Р. Ҳамдамов, М.И. Шоергашев, Д.Р.Машрабов**

#### **Автоном энергия комплекслари эга қуёшли иссиқхоналар учун энергия таъминоти тизимларининг тажриба натижалари**

Ушбу мақолада экспериментал тадқиқотлар натижалари келтирилган. Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлиги ҳузуридаги Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институтида умумий майдони 200 квадрат метр бўлган иккита қуёшли иссиқхона қурилган. Ҳар бир қуёшли иссиқхонанинг майдони 100 квадрат метрни ташкил қилади. Иссиқхоналарни иссиқлик билан таъминлаш учун ҳар бири 3 тонна қувватга эга иккита биогаз қурилмаси қурилган. Электр энергиясини таъминлаш учун номинал қуввати 5 кВт бўлган энергия сақлаш мосламасига эга фотоэлектр станцияси ўрнатилган. Тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, биогаз қурилмаси ва номинал қуввати 5 кВт бўлган автоном фотоэлектр станциясининг чиқиш кўрсаткичлари иссиқхонани, шу жумладан, умумий тақсимлаш тармоғидан узоқда жойлашган тоғли ва қишлоқ ҳудудларидаги истеъмолчиларни узлуксиз ва самарали автоном энергия билан таъминлаш учун етарли.

**Калит сўзлар:** қуёш энергияси, қуёш иссиқхонаси, фотоэлектр станцияси, биогаз қурилмаси, иссиқлик энергияси, биогаз, самарадорлик.

**Experimental results of power supply systems for solar greenhouses with autonomous energy complexes**

This paper presents the results of experimental research. Two solar greenhouses with a total area of 200 square meters were constructed at the National Research Institute of Renewable Energy under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan. Each solar greenhouse has an area of 100 square meters. Two biogas plants, each with a capacity of 3 tons, were built to supply heat to the greenhouses. A photovoltaic station with energy storage with a nominal capacity of 5 kW was installed to supply electricity. The research results show that the output indicators of the biogas plant and the autonomous photovoltaic station with a nominal capacity of 5 kW are sufficient to ensure uninterrupted and efficient autonomous power supply to the greenhouse, including for consumers in mountainous and rural regions remote from the general distribution grid.

**Keywords:** solar energy, solar greenhouse, photovoltaic station, biogas plant, thermal energy, biogas, efficiency.

В настоящее время солнечные теплицы широко используются во многих странах для выращивания в холодное время года овощей, плодов, тропических растений, зелени, цветов и т.д., при этом во многих случаях в теплицах применяются аккумуляторы тепловой энергии для их обогрева в ночное время [1,2].

Одним из основных вопросов развития масштабов использования солнечных теплиц является разработка относительно дешевых и долговечных конструкций теплиц, позволяющих в то же время в первую очередь уменьшить расходы тепла на их отопление.

Основными проблемами создания и использования теплиц и в настоящее время являются: обеспечение необходимых температурно-влажностных режимов в теплицах в холодное время года; обеспечение минимальных затрат энергии на поддержание требуемых температурных режимов.

Предлагаются различные пути решения этих проблем. Первое – это уменьшение тепловых потерь самой теплицы: с двойным прозрачным слоем, заглубленные (траншейные), с теплоизоляцией стенок, с теплоотражающими экранами [3 – 5].

Из анализа этих работ следует, что исследования в области тепловых режимов необходимо рассмотреть с учетом нестационарного температурно-влажностного режима солнечных теплиц.

Одна из задач поддержания температур в теплицах — это тип подачи тепла в теплицу (лучистая, конвективная, комбинированная) [6 – 8].

Лучистая подача энергии наиболее экономична, однако, в основном, она поглощается растениями и прозрачными ограждениями, при этом связь с их температурами и температурой воздуха в теплице не рассмотрена, также не проведены оценки лучистых потерь через ограждения (пленочные, стеклянные). Больше распространение получили конвективные системы отопления радиаторного типа (в радиаторах прогоняется горячая вода), далее т. е., которые нагревают воздух в теплице и сами растения, а также прозрачные ограждения. В настоящее время оценка эффективности таких систем отопления требует разработки методик, учитывающих особенности влияния этих факторов на нестационарный тепловой режим теплицы.

На основе исследования развития технологии разработки профессором А.И. Исманжановым составлена классификация солнечных теплиц, отличающихся по различным признакам [9].

Сотрудниками Национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан на территории полигона построены две солнечные теплицы общей площадью 200 кв. м. Каждая солнечная теплица имеет площадь по 100 кв. м. Для теплоснабжения теплиц построены две биогазовые установки емкостью 3 т каждая. Для электроснабжения установлена фотоэлектрическая станция с аккумуляторами энергии номинальной мощностью 5 кВт.

Выбор наиболее распространенных установок возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для создания автономного энергокомплекса и их схемы показаны на рис. 1.

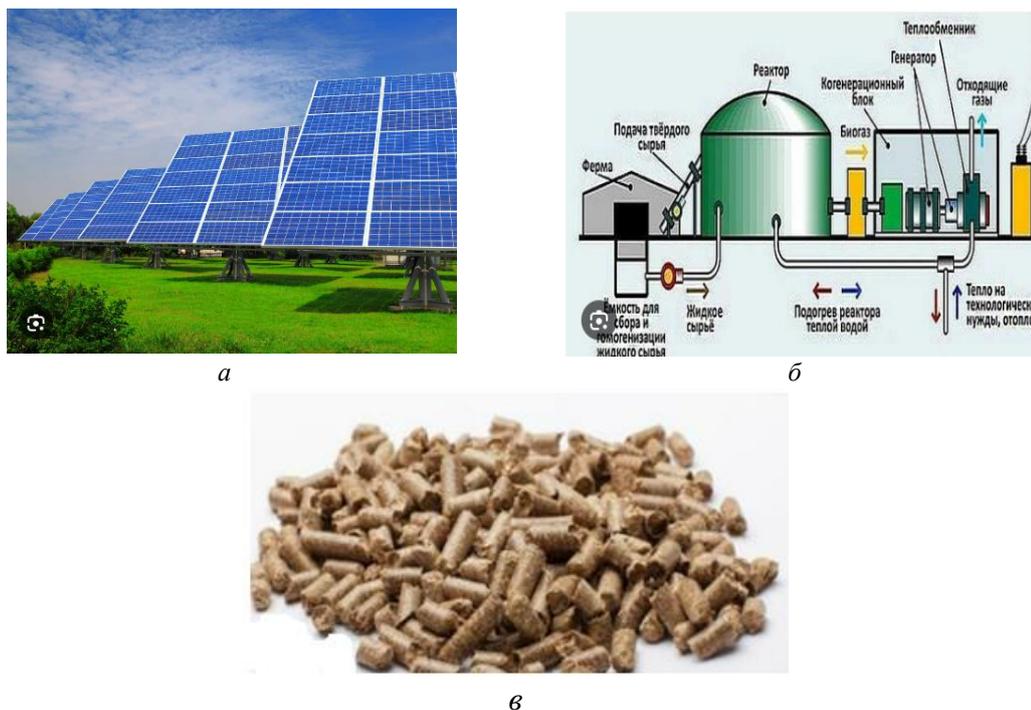


Рис.1. Автономные энергокомплексы на базе ВИЭ и их схемы: *а* – автономная фотоэлектростанция для электроснабжения; *б* – биогазовая установка для газоснабжения отопительного котла; *в* – использования органических отходов, пеллет, для отопления

В целях обеспечения бесперебойного тепло- и энергоснабжения солнечных теплиц, построенных на территории полигона Национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергии, создан автономный энергетический комплекс на базе ВИЭ, состоящий из фотоэлектрической станции (ФЭС) с номинальной мощностью 5 кВт и экспериментальной биогазовой установки (БГУ). Схема автономной энергетической системы представлена на рис. 2.

Как видно из рис. 2, автономная энергоэффективная система для тепло- и энергоснабжения солнечных теплиц с хранением тепловой энергии состоит из следующих основных частей; котла с возможностью принимать три вида энергоресурсов, пеллета, биогаза и электроэнергии от фотоэлектрической станции. Имеются система капельного орошения с автоматической системой управления, система передачи Интернета, а также система передачи тепловой энергии, металлические регистры и трубопроводы, присоединенные к системе отопления.

Согласно международным и национальным стандартам, приготовлен субстрат. По существующим международным и национальным стандартам O'z DSt 2798:2017 «Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам» [10 – 13] представленная БГУ для полноценного эксперимента дополнена комплектующими – системой обогрева и мешалкой для перемешивания субстрата.

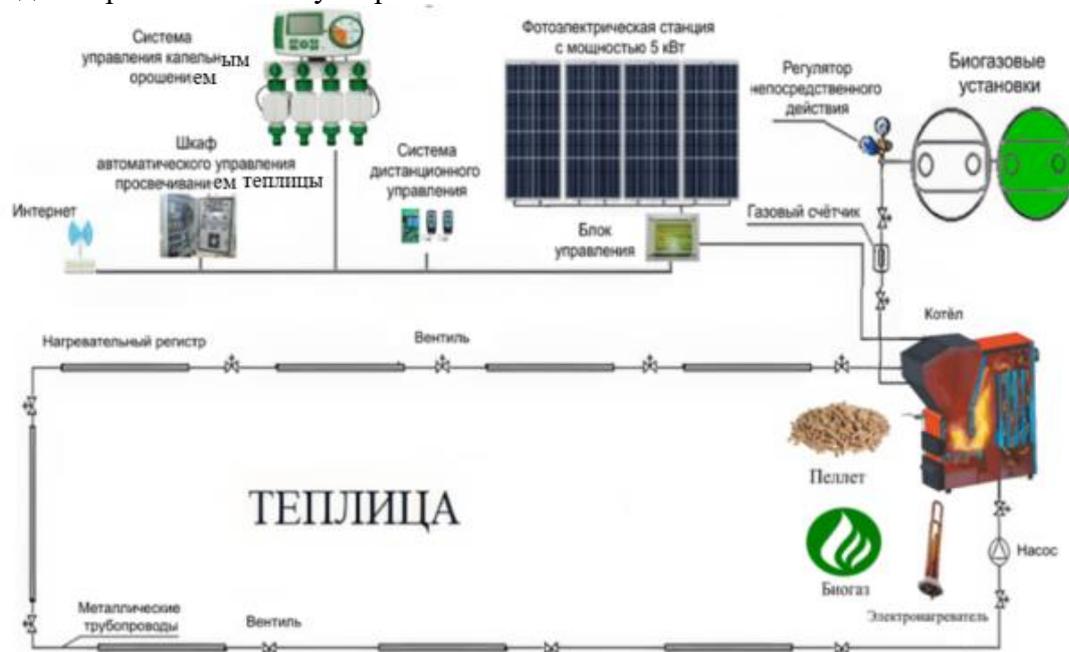


Рис.2. Автономная энергоэффективная система для тепло- и энергоснабжения солнечных теплиц с хранением тепловой энергии на основе технологий возобновляемых источников энергии

Установленные биогазовые установки предназначены для получения биогаза из органических веществ. По конструкции нами использованные биогазовые установки непосредственно располагаются в грунте. Для установки БГУ в грунте делается яма глубиной диаметром 3 м.

Соблюдая нормативные требования O'z DSt 2798:2017, на БГУ можно загружать 2/3 части, в среднем, до 90 % влажности субстрата. В среднем загружается в БГУ с размером диаметра 2.24 м от рабочего объема до 1.2 т органического сырья крупного рогатого скота (КРС). В целом в две БГУ можно загружать до 2.5 т субстрата и получить с двух БГУ в среднем 100 куб. м/месяц биогаза.

Результаты экспериментов БГУ, влияние температуры окружающей среды на расход биогаза, получаемой от БГУ, предназначенной для теплоснабжения солнечных теплиц, приведены на рис.3.

Как видно из рис. 3, в зависимости от температуры окружающей среды расход газа, получаемый от БГУ, можно регулировать, тем самым способствовать его экономии, и балансировке температуры внутри солнечных теплиц.

Таким образом, сооруженная нами БГУ, по конструкции имеющая шарообразную форму, полностью соответствует нормативным документам БГУ и вполне пригодна для получения биогаза от органического сырья. Согласно нормативным документам, в двух сооруженных нами БГУ в целом можно загружать до 2 т субстрата, органического сырья КРС и получить с двух БГУ в среднем 100 куб. м/сутки биогаза.

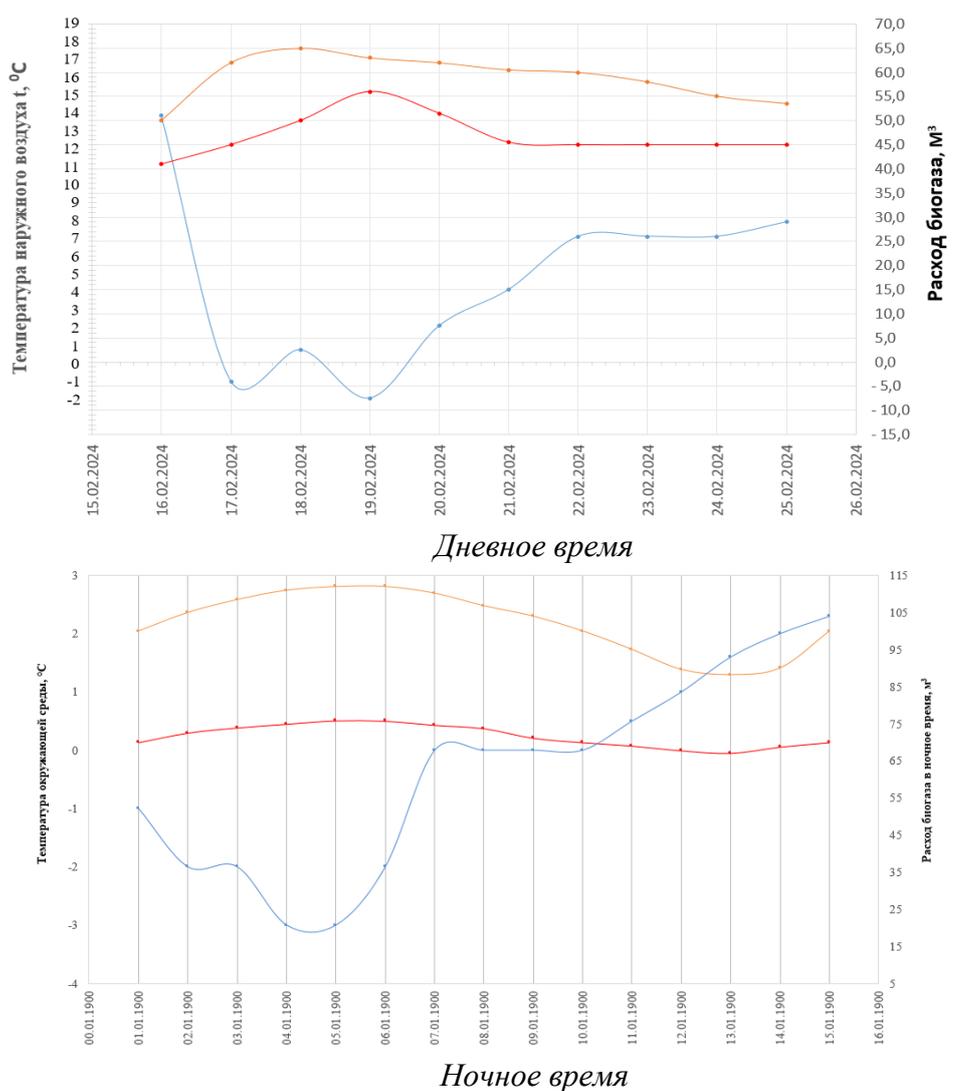


Рис. 3. Влияние температуры окружающей среды на расход газа, получаемого от БГУ, предназначенной для теплоснабжения солнечных теплиц

Для электроснабжения разработанных теплиц нами была сооружена фотоэлектрическая станция (ФЭС) с номинальной мощностью 5 кВт. Фотоэлектрическая станция установлена по адресу: Ташкентская область, Юкори Чирчик, Барданкул, 2А.

Общий вид ФЭС с хранением энергии с двух сторон и сооруженной на южной стороне солнечной теплицы приведен на рис. 4.



Рис.4. Общий вид ФЭС с хранением энергии (а) и солнечной теплицы (б)

Результаты экспериментов автономной ФЭС с системой хранения энергии представлены на рис. 5 и 6. Как установлено, в зависимости от времени года меняется выработка электроэнергии автономной ФЭС. При этом максимальная выработка электроэнергии автономной ФЭС приходится на такие месяцы, как июнь, июль и август.

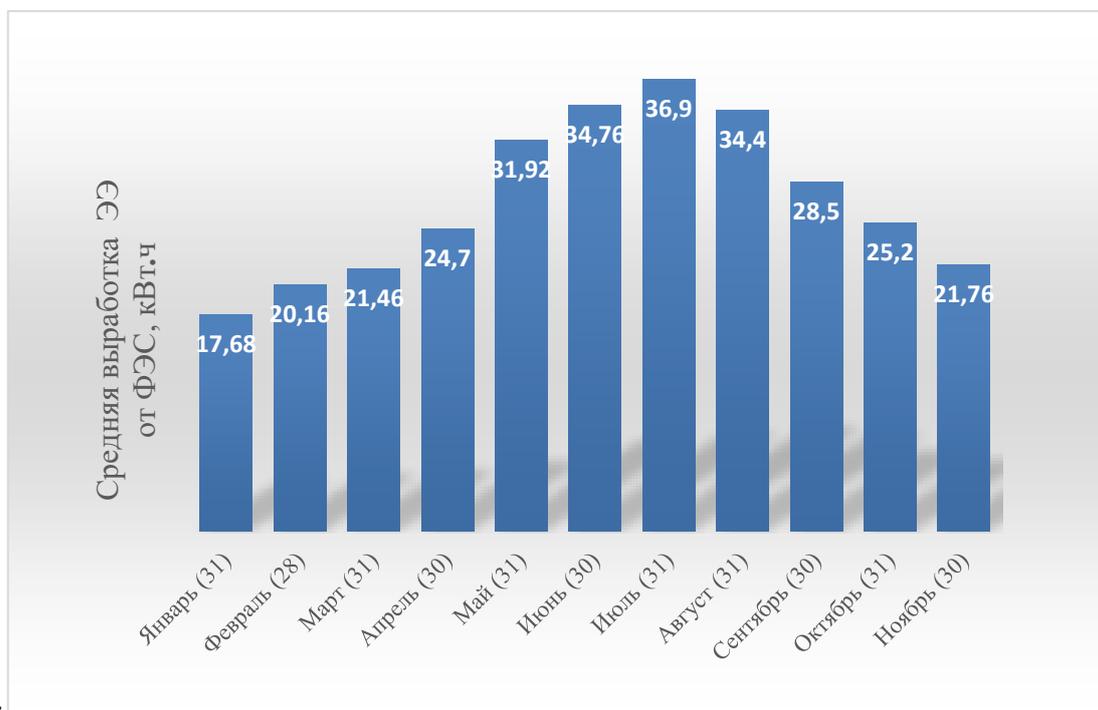


Рис. 5. Средняя за сутки по месяцам (кВт·ч) выработка электроэнергии от ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт

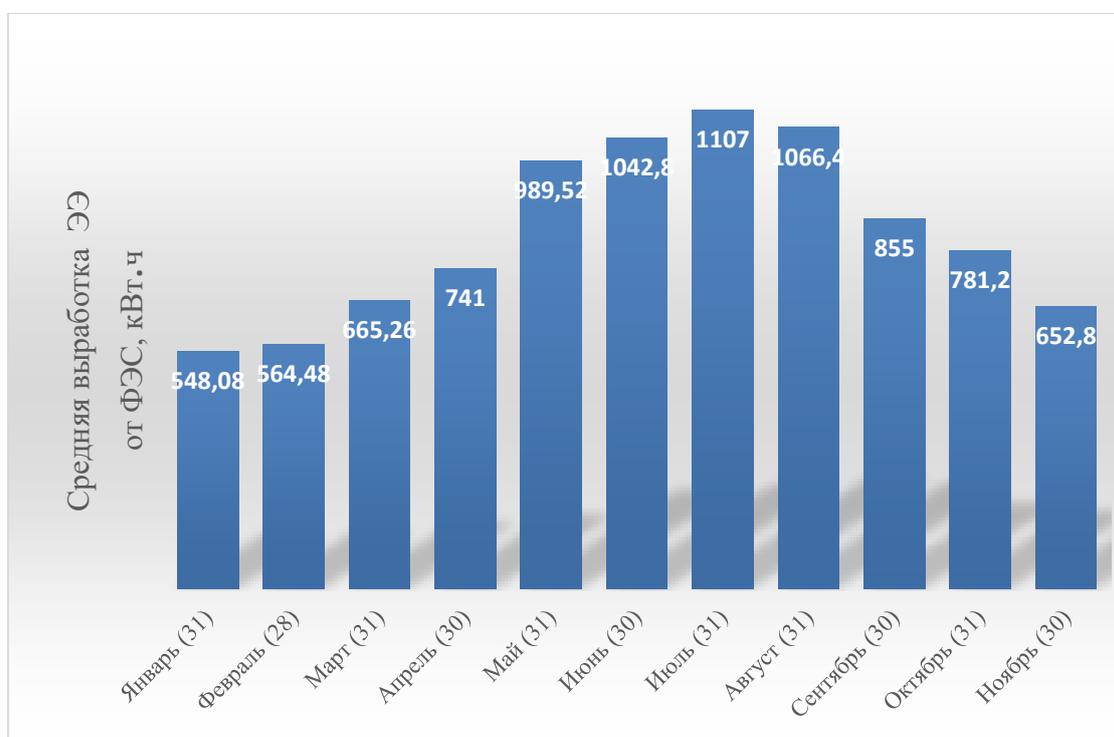


Рис. 6. Средняя за месяц (кВт·ч) выработка электроэнергии от ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт

Таким образом, по выходным показателям нами собранная автономная ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт способна обеспечивать бесперебойное и эффективное автономное электроснабжение теплицы, в том числе и потребителей горных и сельских регионов, отдаленных от общей распределительной сети.

**Выводы.** Проведенное исследование показывает, что нами сооруженная БГУ, по конструкции имеющая шарообразную форму, полностью соответствует нормативным документам БГУ и вполне пригодна для получения биогаза от органического сырья. Согласно нормативным документам, нами сооруженные две БГУ в целом можно загружать до 2 т субстрата, органического сырья КРС и получить с двух БГУ в среднем 100 куб. м/сутки биогаза.

Установленная автономная ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт соответствует обеспечению бесперебойного и эффективного автономного электроснабжения теплицы, в том числе и потребителей горных и сельских регионов, отдаленных от общей распределительной сети.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. IRENA Renewable energy statistics 2024, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi ([Link](#)), 2024.
2. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. Ташкент: Молия, 2007. – 388 с.
3. Хайриддинов Б.Э. Блочная теплица. Ташкент: Фан, 1982. – 46 с.
4. Садыков Г.А., Вардиашвили А.Б. Гелиотеплицы и их тепловой расчет. Ташкент: Фан, 1977. – 79 с.
5. Вардиашвили А.Б. Теплообмен и гидродинамика в комбинированных теплицах с субстратом и аккумулярованием тепла. Ташкент: Фан, 1990. – 196с.
6. Раббимов Р.Т., Умаров Г.Я., Захидов Р.А. Аккумулярование солнечной энергии в песчано-гравийном грунте // Гелиотехника. 1971. №5. С.57 – 64.
7. Махкамов Х.Т., Хайриддинов Б.Э., Ким В.Д. Лимонарий углубленного типа с аккумулятором тепла // Гелиотехника. Ташкент, 2001. №1. С. 33 – 36.
8. Хайриддинов Б.Э., Махкамов Х.Т., Ким В.Д. Оптимизация конструкции гелиолимонария // Гелиотехника. Ташкент, 2000. №3. С. 30 – 35.
9. Исманжанов А.И., Мурзакулов Н.А. Энергоэкономные гелиотеплицы. Ош: Изд. «Ризван», 2018. – 136 с.
10. O‘z DSt 2798:2017 «Нетрадиционные технологии. Энергетика Биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам».
11. Зайнутдинова Х. К. Использование солнечной энергии в Узбекистане: вопросы рынков и маркетинга. Ташкент: Фан, 2015. – 333 с.
12. Теплица промышленная Фермер-11,5 // URL: <http://orel.zagorod.shop>> shop/teplitsy/dlya fermerov (дата обращения 11.05.2021).
13. Разаходжаев Б.С., Ахмаджонов У.З. и др. Теплица. FAP 01450. Патент на полезную модель от 13.12.2019г.

Национальный научно-исследовательский институт  
возобновляемых источников энергии при Министерстве  
энергетики Республики Узбекистан

Дата поступления  
25.04.2025

## ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ УЗБЕКИСТАНА

В статье рассмотрены вопросы применения систем накопления электроэнергии – важной составляющей запущенного в Узбекистане энергетического перехода. Такие системы отнесены к компонентам новой интеллектуальной энергетики на основе умных энергетических технологий, рынок которых расширяется в контексте роста финансирования новой энергетики. Определена роль интеграции в энергосистему накопителей энергии в обеспечении устойчивой работы объединенной энергосистемы. Исследованы типы накопителей энергии для внедрения в энергосистему Узбекистана.

**Ключевые слова:** энергосистема, накопители энергии, надежность, безопасность, резерв, интеграция, возобновляемая энергетика.

Ш.В. Хамидов, Р.М. Танирбергенов, Б.Р. Нормурадов

### Ўзбекистон энергия тизимининг ишончилигини ошириш мақсадида энергия тўплагичларидан фойдаланиш

Мақолада Ўзбекистонда бошланган энергия ўтишининг муҳим таркибий қисми ҳисобланган энергия сақлаш тизимларини қўллаш масалалари таҳлил қилинган. Бу тизимлар ақлли энергия технологияларига асосланган янги интеллектуал энергетика секторининг элементлари сифатида таснифланади. Янги энергетика ташаббусларига йўналтирилаётган маблағларнинг кўпайиши натижасида бундай технологиялар бозори тобора кенгайиб бормоқда. Энергия сақлаш қурилмаларини энергия тизимига интеграциялашнинг бирлашган энергия тизимининг барқарор ишлашини таъминлашдаги аҳамияти аниқланди. Ўзбекистон энергия тизимида жорий этиш учун энергия сақлаш қурилмаларининг турлари тадқиқ этилди.

**Таянч сўзлар:** энергия тизими, энергия сақлаш қурилмалари, ишончилиқ, хавфсизлик, захира, интеграция, қайта тикланувчи энергетика.

Sh.V. Khamidov, R.M. Tanirbergenov, B.R. Normuradov

### Application of Energy Storage Systems to enhance the reliability of Uzbekistan's power grid

The article considers the application of energy storage systems, an important component of the energy transition launched in Uzbekistan. These systems are classified as elements of the new smart energy sector based on intelligent energy technologies. The market for such technologies is expanding in the context of increased funding for new energy initiatives. The role of energy storage integration into the power system in ensuring stable operation of the unified power grid has been determined. Types of energy storage devices for implementation in Uzbekistan's power system have been investigated.

**Keywords:** power system, energy storage, reliability, safety, reserve, integration, renewable energy.

Мировая электроэнергетика приступила к интенсивному развитию в контексте интенсивного внедрения автоматизации производственных процессов и цифровых технологий. Значительные изменения, как результат перехода к новым технологиям, происходят в электроэнергетике. Выполненный обзор показывает, что в развитых странах реализуются инновационные сценарии развития энергетических отраслей.

Республике Узбекистан также предстоит решение вопросов, связанных с приоритетами технологической политики и рациональными инструментами к новому энергетическому укладу. Отраслевая стратегия ориентирована на эволюционный подход к развитию энергетики. В ней сформировано понимание того, что реализация инновационного сценария необходима для соответствия мировым трендам решения некоторых имеющихся проблем в обеспечении

надежности и экономичности электроснабжения потребителей энергии. Наряду с этим обеспечение энергоэффективности способствует укреплению энергетической безопасности страны. Имеющиеся резервы энергоэффективности не всегда могут быть реализованы из-за недостатков в законодательной базе или слабого их применения [1].

В последние годы электроэнергетика республики испытывает две серьезные проблемы – это дефицит маневренной мощности и дефицит базовой мощности. В силу ряда причин принцип “производство электрической энергии в каждый момент времени” должен совпадать с ее потреблением, однако, он не выполняется. В результате этого в энергосистеме возникает дефицит мощности и энергии [2 – 4].

При отсутствии систем накопления энергии (СНЭ) возобновляемые источники энергии (ВИЭ) обладают переменной и непредсказуемой генерацией, которая зависит от погоды и времени суток и не позволяет операторам энергосистемы регулировать их мощность. Однако ВИЭ с СНЭ можно рассматривать в качестве распределяемых источников энергии для энергетической системы. Благодаря интеграции различных систем накопления энергии совместно с ВИЭ становится возможным сбалансировать предложение и спрос за счет накопления избыточной энергии, вырабатываемой в периоды высокой активности для последующего использования при низкой активности ВИЭ. СНЭ могут снизить пиковый спрос в часы максимальной нагрузки и сократить потребность в пиковых электростанциях, снизить затраты на генерацию и эксплуатацию энергосистемы. СНЭ также участвуют в стабилизации энергосистемы, предоставляя услуги по регулированию частоты, поддержанию напряжения и необходимого уровня резервирования мощности. С учетом этого ВИЭ с накопителями энергии при их равномерном распределении в энергосистеме следует считать базовой мощностью [5, 6].

При сравнении различных технологий накопления энергии с точки зрения их применимости в электроэнергетике используют различные характеристики накопителей, определяемые их физическими свойствами. К таким характеристикам относятся:

- мощность – определяется величиной, которую может поставить в энергосистему накопитель;
- энергоемкость – энергия, которую накопитель может запасти и поставить в энергосистему;
- время отклика – время перехода накопителя из нерабочего состояния (холостого хода, режима зарядки) в состояние поставки энергии с заявленными параметрами;
- время разряда – время, в течение которого мощность и энергия поставляются в энергосистему без подзарядки;
- плотность мощности и энергии – определяются величинами мощности и энергии, приходящимися на единицу веса накопителя. Эта характеристика имеет значение при транспортировке накопителей или в случае передвижных накопителей;
- суммарная эффективность СНЭ определяется процентным соотношением энергии, полученной при разрядке, к энергии, затраченной на накопление энергии.

Согласно экспертным данным исследовательской компании Frost & Sullivan (Smart Energy International), среднегодовые темпы роста мирового рынка накопителей энергии до 2030 г. достигнут 23% на фоне глобальных планов по декарбонизации энергетики. Спрос на СНЭ подстегнет расширение использования ВИЭ со снижением стоимости СНЭ. “Есть ряд стран, которые ставят задачу по доведению доли ВИЭ в энергобалансе страны до 50% к 2030 году. ВИЭ-станции

надо будет интегрировать с СНЭ, чтобы была возможность накопления энергии в часы ее избыточного производства при низком спросе и в дальнейшем поставлять ее потребителю при повышенном спросе, но низком объеме генерации”, – отмечается в исследовании компании [6]. На рынке новых накопителей энергии лидируют Китай, США и Европа, на долю которых приходится 87% мирового рынка. К 10 лучшим производителям СНЭ в мире входят BYD, Tesla, Fluence, LG Energy Solution, CATL, SAFT, Invinity Energy Systems, Wartsila, NHOA Energy, CSIQ [6].

**Технологии накопления электрической энергии и их влияние на работу энергосистемы и процессы планирования режимов энергосистемы.** Для качественного и бесперебойного электроснабжения потребителей требуется обеспечить резервирование генерации для пиковой части графика нагрузки энергосистемы и возможность снижения генерации в провальные часы графика с приемлемой скоростью ее изменения.

Потребление электроэнергии в течение суток происходит неравномерно, поэтому для поддержания частоты электрического тока необходимо регулирование выдачи электроэнергии станциями для непрерывного поддержания баланса между вырабатываемой и потребляемой активной мощностью. При этом имеют место повышенный износ оборудования, дополнительный расход топлива, технологические ограничения для оперативного ввода генераторов. Аварийные ситуации, возникшие при недостаточных резервах мощности, приводят к ограничениям нагрузки и экономическим потерям в ЭЭС.

Активное и массовое внедрение ВИЭ в ОЭС ЦА, в основном ВЭС и СЭС, в силу непостоянной или переменной специфики их работы генерации вызывает множество вопросов и задач по обеспечению плавной интеграции этих источников в энергетическую систему. Особое внимание уделяется поиску решений данной проблемы за счет прогнозирования их активной мощности и изучения влияния на эффективность электроэнергетической системы.

По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), к концу 2024 г. совокупная установленная мощность возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире достигла 4 448 гигаватт (ГВт), что на 15.1% больше по сравнению с 2023 г.

Основные показатели мирового роста ВИЭ в 2024 г:

- солнечная энергетика: добавлены рекордные 452 ГВт, что составляет 77.3% от общего прироста ВИЭ;
- ветровая энергетика: прирост составил 113 ГВт, или 19.3% от общего увеличения мощности.

Общий прирост ВИЭ: в 2024 г. было добавлено 585 ГВт новых мощностей, что стало рекордным показателем за всю историю.

Таким образом, ВИЭ составляют значительную и растущую долю в глобальной энергетической системе, демонстрируя устойчивый тренд на увеличение их доли в мировом энергобалансе.

Для обеспечения баланса мощности в ОЭС появляется необходимость в СНЭ, позволяющих аккумулировать энергию в часы провалов графика нагрузки и выдавать ее при росте нагрузок. Ожидается интенсивный рост СНЭ и в развивающихся странах, удаленных и изолированных регионах. Комбинация СЭС/ВЭС, накопителя и дизельной станции в удаленных узлах потребления часто дешевле, чем новое сетевое строительство или традиционная генерация на основе ископаемого топлива.

Согласно данным Консалтинговой компании Wood Mackenzie по развертыванию систем хранения энергии в мире и прогнозу развития рынка до 2024

г., Глобальный рынок систем хранения энергии к 2024 г. вырос в 13 раз, а объём рынка СНЭ в натуральном выражении (накопленным итогом) – с 12 до 158 ГВтч [5].

За последние годы в странах ОЭС Центральной Азии (ЦА) приняты к реализации ряд проектов по строительству СЭС, ВЭС и ГЭС. Только в Узбекистане за 2022 – 2024 гг. генерирующие мощности выросли с 17 048 до 24 182 МВт (рост – 41%), количество электростанций увеличилось с 73 до 100 (37%). К концу 2025 г. ожидается достижение 29 479 МВт, рост на 73% по сравнению с 2022 г. (рис.1). Проекты по ВИЭ в странах ОЭС ЦА к 2030 г. отражены на рис.2.

К 2026 г. совокупная мощность СЭС и ВЭС в Узбекистане должна достичь 8000 МВт, что позволит увеличить долю возобновляемых источников энергии в энергобалансе Узбекистана до 25%. Первые две СЭС мощностью по 100 МВт были построены без накопителей.

Как известно, при уровне интеграции ВИЭ в пределах 3–4% от установленной мощности энергосистемы их влияние на динамическую устойчивость и регулировочные характеристики системы остаётся незначительным. Однако по мере увеличения доли ВИЭ возрастает потребность в дополнительных мерах по поддержанию стабильности, в частности, в СНЭ, быстродействующих регуляторах, устройствах FACTS и адаптивной автоматике.

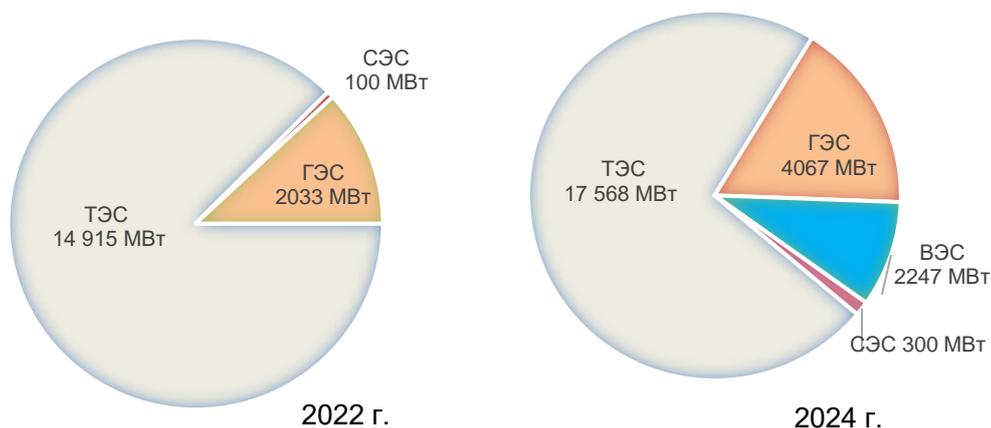


Рис.1. Структура генерирующих мощностей Узбекистана

Потенциальные области применения накопителей энергии в Узбекистане:

1. Электрические сети: а) замещение инвестиций решениями на основе СНЭ; б) повышение надежности электроснабжения потребителей.
2. Изолированные сети: интеграция ВИЭ в изолированные узлы с помощью СНЭ.
3. Генерация: оптимизация энергопроизводства за счет оптимальной загрузки станций.
4. Регулятор системы: регулирование частоты с помощью оптимизации энергопроизводства при оптимальной загрузке электростанций.
5. Потребители: обеспечение надежности электроснабжения и снижение затрат за счет разницы тарифов.
6. Интеграция ВИЭ в узлах, где установленная мощность превышает 10 процентов от общей мощности энергосистемы.

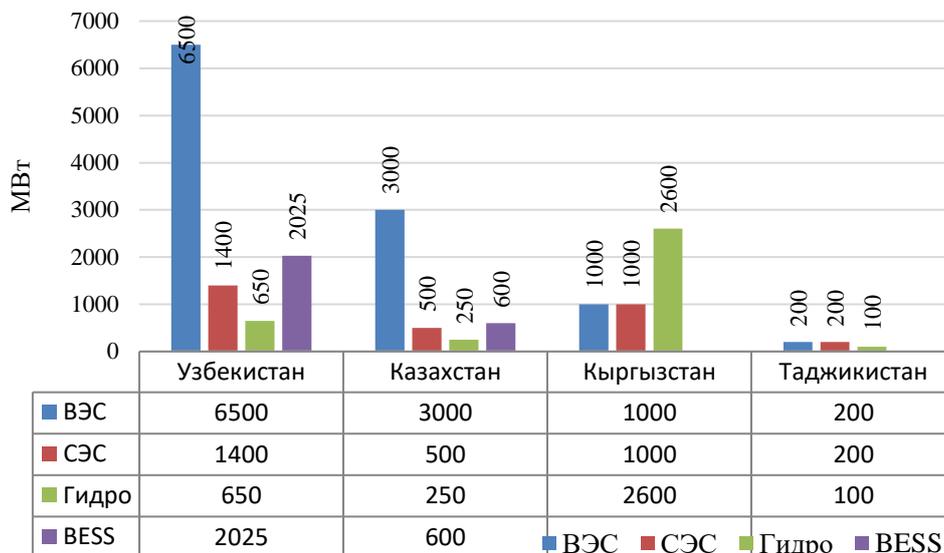


Рис.2. Проекты по ВИЭ в странах ОЭС ЦА к 2030 году

*Анализ квазидинамического моделирования без и с установкой накопителей при максимальной генерации ВИЭ [7 – 9].*

С увеличением доли возобновляемых источников энергии в электроэнергетических системах возникает необходимость в глубоком анализе режимов работы сети при переменной генерации. Квазидинамическое моделирование — это инструмент, позволяющий оценить поведение энергосистемы при изменяющихся условиях в течение суток или сезона. Особенно актуален такой анализ в период максимальной генерации от ВИЭ (например, днём при пиковой выработке солнечных станций), когда возникают избыточное производство электроэнергии и колебания напряжения и частоты.

В этом контексте рассматривается эффективность использования накопителей энергии (СНЭ) для сглаживания режима и повышения устойчивости системы. Анализ квазидинамического моделирования показывает, что накопители энергии являются эффективным решением для интеграции ВИЭ в электроэнергетические системы. Они позволяют избежать технических ограничений, повысить надёжность и гибкость, а также улучшить экономику работы сети. При дальнейшем росте доли ВИЭ такие решения становятся неотъемлемой частью стратегии устойчивого развития энергосистем.

Для перспективного 2030 г. разработаны суточные балансы мощности для каждой энергосистемы ОЭС ЦА, исходя из планов ввода/вывода генерации и роста потребления [7].

#### *1. Результаты моделирования без СНЭ*

При моделировании системы в условиях максимальной генерации ВИЭ без использования накопителей наблюдаются следующие явления:

- Перепроизводство электроэнергии относительно спроса.
- Рост напряжения на шинах сетей, особенно в слабосвязанных участках.
- Угрозы нарушения частоты при резком снижении генерации (например, при внезапном затенении СЭС).
- Возникновение обратных потоков мощности, перегрузка трансформаторов и линий электропередачи.
- Снижение коэффициента использования традиционной генерации и ухудшение экономических показателей.

#### *2. Результаты моделирования с установкой СНЭ*

Установка СНЭ позволяет существенно улучшить поведение системы:

- Избыточная энергия ВИЭ накапливается днём и используется в вечерние и ночные часы.

- Снижаются амплитуды колебаний напряжения и частоты.
- Предотвращаются перегрузки оборудования.
- Повышаются управляемость и гибкость энергосистемы.
- Увеличивается доля полезной генерации от ВИЭ без ограничений.

### 3. Методика квазидинамического моделирования

Квазидинамическое моделирование проводится в программных комплексах типа DIgSILENT PowerFactory, PSCAD, ETAP и др. Оно включает:

- Построение временных профилей нагрузки и генерации ВИЭ.
- Учёт переходных процессов в рамках часовых или получасовых интервалов.

- Последовательное вычисление балансов мощности и параметров сети.
- Введение моделей накопителей с соответствующими ограничениями по ёмкости и мощности.

4. Сравнение режимов с накопителями и без них. Сравнительный анализ позволяет наглядно оценить следующие преимущества использования СНЭ:

- становится стабильнее напряжение в точках подключения ВИЭ при наличии накопителей;

- существенно снижается количество ограничений генерации (curtailment);

- выравнивается уровень использования традиционных источников и снижается нагрузка на тепловые станции;

- улучшаются показатели надёжности и устойчивости сети;

- значительно возрастает общая эффективность эксплуатации энергосистемы.

Таким образом, быстрое экономическое развитие Узбекистана приводит к росту потребности в электроэнергии и требует увеличения как базовой, так и маневренной мощности. Рост доли ВИЭ с переменной генерацией, требует надежные базовые и маневренные мощности для обеспечения стабильности сети. Поэтому для интеграции ВИЭ в энергосистему необходимо наличие как быстродействующих накопителей, так и систем долгосрочного хранения энергии.

Отрасли, базирующейся на традиционных технологиях, сложно существенно повысить свою эффективность, удовлетворить новые требования потребителей к качеству энергии и надежности без заметного роста цен. На этот вызов способны ответить цифровизация управления в электроэнергетике и учет трансформации требований потребителей в энергообеспечении. Такой подход ориентирован на технологии производства электроэнергии распределенными источниками, систем накопления энергии, гибких систем передачи электроэнергии (FACTS) и др.

Энергосистема Узбекистана располагает возможностями для преодоления дефицита маневренной мощности и дефицита базовой мощности. В связи с этим комплексное решение, включающее совместную работу имеющихся генерирующих источников и накопителей энергии, окажется экономически целесообразным.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Nasirov T., Khamidov Sh. Ways to Increase Energy Efficiency in Uzbekistan // AIP Conf. Proc. 3152 (030001), 2024.

2. Насиров Т.Х., Хамидов Ш.В. и др. Повышение надежности и экономичности энергосистемы Узбекистана за счет интеграции накопителей и возобновляемых источников энергии // Узбекский журнал “Проблемы информатики и энергетики”. 2024. №1. С.35 – 39.
3. Khamidov Sh.V., Shamsiev Kh.A., Shamsiev B.Kh. Technical and organizational aspects of increasing the reliability of the Unified Power System of Central Asian countries // Rudenko International Conference “Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems” (RSES 2021). AIP Conference Proceedings 2552 (010001), 2023.
4. Shamsiev Kh.A., Shamsiev B.Kh., Khamidov Sh.V. Increasing the reliability of the United Power Systems of Central Asia in conditions of energy transition // Rudenko International Conference “Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems” (RSES 2022). E3S Web of Conferences 384 (01020), 2023.
5. Трофимов Г. Выбор источников энергии для устранения дефицита мощности в энергосистеме Казахстана // ENERGY.PRO. 2024. № 2 (2). С.18 – 40.
6. Удальцова Ю., Холкина Д. Рынок систем накопления электроэнергии в России: Потенциал развития. Экспертно-аналитический доклад. М., 2018. 96с.
7. Мирзаев А.Т., Тошкентбаева С.И. Перспективные балансы мощности и электроэнергии Объединенной электроэнергетической системы Центральной Азии и Юга Казахстана с учетом интеграции ВИЭ // Research Focus International Scientific Journal. 2025. 4. No. 2 (March 5). С.34–44.
8. Визгалов С. В., Шарапов И. И., Хисамеев И. Г. Системы хранения энергии на основе криогенных технологий сжижения воздуха // Вестник Международной академии холода. 2022. №2. С.21–26.
9. Савина Н.В., Лисогурская Л.Н., Лисогурский И.А. Накопители электрической энергии как средство повышения надёжности и экономичности функционирования электрической сети // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 2 (92). Часть 1. С.63–70.

Институт проблем энергетики АН РУз

Дата поступления  
18.04.2025

УЎК 336.027

**Н.Н. САДУЛЛАЕВ, Ш.Н. НЕМАТОВ**

**АҲОЛИГА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ ИСТЕЪМОЛИ УЧУН ЖОРИЙ  
ЭТИЛГАН СУБСИДИЯ ТИЗИМИНИ “ЯШИЛ” ЭНЕРГИЯДАН  
ФЙДАЛАНИШНИ РАҒБАТЛАНТИРИШ МЕХАНИЗМИ ОРҚАЛИ  
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

Мақолада Ўзбекистон Республикасида аҳолига электр энергияси истеъмоли учун бериладиган субсидия тизимининг самарадорлиги таҳлил қилинган. Фақат аҳолининг ижтимоий химояга муҳтож қисмига электр энергияси истемолига манзилли субсидиялаш таклиф этилган. Субсидия харажатлари ҳисобидан аҳолини “яшил” энергиядан фойдаланишни рағбатлантириш механизми таклиф этилган.

**Калит сўзлар:** энергия истеъмоли, субсидиялаш, электр энергияси таърифлари, электр энергияси таннархи, “яшил” энергия, рағбатлантириш, ўртача ойлик маош, ижтимоий химоя, аҳоли.

**Усовершенствование системы субсидирования населения для потребления электроэнергии введением механизма стимулирования за использование «зеленой» энергии населением**

В статье дан анализ эффективности применения существующей системы субсидирования потребления электроэнергии населением в Республике Узбекистан. Предложено адресное субсидирование потребления электроэнергии только частью населения, нуждающейся в социальной помощи. Разработан механизм стимулирования использования «зеленой» энергии населением за счет затрат на субсидирование.

**Ключевые слова:** потребление энергии, субсидирование, тарифы на электроэнергию, себестоимость электроэнергии, «зеленая» энергия, стимулирование, средняя зарплата, социальная защита населения.

N.N.Sadullaev, Sh.N.Nematov

**Improving the system of subsidizing the population for electricity consumption by introducing a mechanism for stimulating the use of "green" energy by the population**

The article analyzes the effectiveness of the existing system of subsidizing electricity consumption by the population in the Republic of Uzbekistan. It proposes targeted subsidizing of electricity consumption only for a part of the population in need of social assistance. It proposes a mechanism for stimulating the use of "green" energy by the population at the expense of subsidizing costs.

**Keywords:** energy consumption, subsidies, electricity tariffs, cost price of electricity, "green" energy, incentives, average salary, social protection of the population.

Энергетика тизимида олиб борилаётган ислохотларни амалга оширишдаги асосий муаммолардан бири соҳани бозор муносабатларига ўтказиш учун энергияга тўловларни таннархдан кам бўлмаган қийматга оширишдаги қийинчиликлар ҳисобланади. Маълумки, аҳолига етказиб берилаётган электр энергияси субсидиялар орқали таннархидан (1000-1200 сўм) арзон (600 -800 сўм) нархда сотиляпти [1]. Бу ҳолат соҳани ривожлантириш учун инвестицияларни жалб қилишни қийинлаштирмоқда.

Энергетика соҳасини эркин иқтисодиёт муносабатларига ўтказиш ва электр энергияси нархларини эркинлаштиришга ёки энергия нархини фойда кўриш даражасига қўтариш жараёнини мунтазам кечиктиришга аҳолининг норозилиги сабаб бўлмоқда. Эътирозлар асосан “Ўзбекистонда иш ҳақи анча кам шунинг учун электр энергиясига тўловлар етарлича юқори ва тарифларни ошириш адолатдан эмас” деб айтиляпти.

Ўзбекистонда электр энергиясига тўловлар иш ҳақига қай даражада мутаносиб эканлигини таҳлил қиламиз. Ўзбекистонда ва хорижий давлатларда аҳоли томонидан ҳар бир хонадон Ўзбекистондаги миқдорда (223 кВт соат) истеъмол қилинганда электр энергия тўловлари ўртача иш ҳақининг (оила даромадининг) неча фоизини ташкил этишини кўриб чиқамиз [2, 3].

Германияда Ўзбекистонга нисбатан иш ҳақи 8.23 бараварга, электр энергиясига тўлов ўртача иш ҳақига нисбатан 1,2 бараварга, тўлов ставкаси эса 9.8 баравар катта эканини кўриш мумкин (жадвал). Аксарият давлатларда электр энергиясига тўловлар ўртача иш ҳақини 5% атрофида эканини кўриш мумкин. Ўзбекистонда эса бу кўрсаткич 2.5 %ни ташкил этади.

Ўзбекистонда эса бу кўрсаткич 2,5 %ни ташкил этади. Кўпгина хорижий давлатларда жон бошига электр энергияси истеъмоли Ўзбекистондан юқори бўлганлиги сабабли реал тўловлар бундан ҳам юқори бўлади. Жадвалдаги охириги устунда ўртача иш ҳақига нисбатан олинган фоизларни Ўзбекистондаги қийматга нисбатан карралиги ва қавс ичида эса жорий тўлов ставкалари нисбати келтирилган. Шундай қилиб, Ўзбекистондаги аҳоли учун электр энергияси

истеъмолига белгиланган тўловлар жорий қийматига кўра ҳам ўртача иш ҳақиға нисбатан ҳам энг кам тўловлардан бири эканини кўриш мумкин.

Чет эл давлатларида Ўзбекистонга нисбатан иш ҳақи, электр энергиясига тўловнинг ўртача иш ҳақиға нисбати улуши ҳамда тўлов ставкаси бўйича маълумот

| №  | Давлат номи | Ойлик истеъмол, кВт·соат | Тўлов ставкаси, сент/кВт соат | Тўлов миқдори, долл | Ўртача ойлик иш ҳақи, долл. | Иш ҳақиға нисбатан тўлов салмоғи, % | Ўзб.га нисбатан тўлов қарралиғи |
|----|-------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1. | Германия    | 223                      | 41                            | 91.4                | 3072                        | 3                                   | 1.2(9.8)                        |
| 2. | Ўзбекистон  | 223                      | 4.2                           | 9.36                | 373                         | 2.51                                | 1 (1)                           |
| 3. | Литва       | 223                      | 28                            | 62.4                | 1312                        | 4.8                                 | 1.91 (6)                        |
| 4. | Молдова     | 223                      | 14                            | 31.2                | 461                         | 6.7                                 | 2.66 (5)                        |
| 5. | Греция      | 223                      | 27                            | 60.2                | 1203                        | 5.0                                 | 2 (6)                           |
| 6. | Бангладеш   | 223                      | 5.3                           | 11.8                | 153                         | 7.7                                 | 3 (1.3)                         |
| 7. | Чехия       | 223                      | 36                            | 80.3                | 1312                        | 6.11                                | 2.26 (8.6)                      |
| 8. | Мексика     | 223                      | 9.8                           | 21.85               | 389                         | 5.6                                 | 2.23 (2.3)                      |

Энди электр энергияси истеъмоли учун аҳолиға бериладиган субсидиялар самарадорлигини кўриб чиқамиз. Халқаро тажрибадан кўриш мумкинки, энергия истеъмоли учун берилган субсидиялар кўпинча самара беравермайди. Бу субсидиялар истеъмолни камайтириш ўрниға уни оширишиға сабаб бўлади. Масалан, Араб давлатларида берилган субсидиялар туфайли 1971 йилдан 2015 йилгача бўлган даврда ички нефтға бўлган талаб Кувайтда 521 фоизға, Қатарда 12 500 фоизға ва БААда 27 733 фоизға ошган. Ўзбекистонда жорий этилган субсидиялаш тизимини самарадорлигини кўриб чиқамиз.

Ўзбекистонда 2024 йили 82 млрд кВт·соат электр энергияси ишлаб чиқарилган ва шундан 26% ини, яъни 21.32 млрд кВт·соатини аҳоли истеъмол қилган. Ўзбекистонда 2024 йили 7 836 мингта абонент қайд қилинган [4]. Ўзбекистонда оилада ўртача 5 нафар аъзоси бор ҳисоблаб абонентлар сонини аниқлаймиз. Ўзбекистон аҳолиси 2025 йил 1 январь ҳолатиға кўра 37.5 млн кишини ташкил этган. Ушбу сонни 5 нафар оила аъзосиға бўлиб оилалар сонини аниқлаймиз:

$$N_{oi} = \frac{N_{ah}}{N_a} = \frac{37.5}{5} = 7.5 \text{ млн.}$$

Оиласиз хонадонлар, хонадон эгалари уйида бўлмаганлиғи туфайли энергия истеъмоли йўқ абонентлар ҳисобидан келгуси ҳисоблашларда абонентлар сонини 7.5 млн та деб қабул қиламиз.

Ҳар бир абонент истеъмол қилган ўртача электр энергияси:

$$W_{ab} = \frac{W_{ah}}{N_{ab} \cdot N_{oy}} = \frac{21\,320}{7.5 \cdot 12} = 237 \text{ кВт} \cdot \text{соат},$$

бу ерда  $W_{ab}$  – бир йилда аҳоли истеъмол қилган электр энергияси, млрд. кВт·соат;  $N_{ab}$  – абонентлар сони;  $N_{oy}$  – йилдаги ойлар сони.

Электр энергияси таннархи бўйича охириги маълумот 1002 сўм эканлиғи эълон қилинган [1]. Ҳисоблашларда 1000 сўм кВт·соат деб қабул қиламиз. 2025 йилда жорий этилган имтиёзли таъриф бўйича 200 кВт·соатгача 600 сўм/кВт·соат, 200 – 1000 кВт·соатгача эса 800 сўм/кВт·соат қилиб белгиланган.

Аҳолига электр энергияси ўз таннархида, яъни 1000 сўм/кВт·соат нархда сотилганда 21.32 трлн сўм бўлар эди, яъни:

$$U_{ah} = W_{ah} \cdot C_{tx} = 21.32 \cdot 1000 = 21\,320 \text{ млрд сўм,}$$

бу ерда  $W_{ah}$  – аҳоли истеъмол қилган электр энергияси, млрд.кВт·соат;  $C_{tx}$  – электр энергияси таннархи, сўм/кВт·соат.

7.5 млн.та абонентга 1-имтиёзли нархда ажратилган электр энергияси миқдори:

$$W_{im1} = W_{im} \cdot N_{ab} = 200 \cdot 7.5 = 15 \text{ млрд кВт} \cdot \text{соат,}$$

бу ерда  $W_{im1}$  – бир ойда оилага 1-имтиёзли нархда бериладиган электр энергияси миқдори, 200 кВт·соат;  $N_{ab}$  – абонентлар сони, млн. нафар.

1-имтиёзли нархда ( $C_{im1}=600$  сўм/кВт·соат) тўланган электр энергиясини нархи:

$$U_{im1} = W_{im1} \cdot C_{im1} = 15 \cdot 600 = 9 \text{ трлн сўм.}$$

7.5 млн та абонентга 2-имтиёзли нархда (800 сўм/кВт·соат) тўланадиган электр энергияси миқдорини истеъмолдаги фарқ билан аниқлаймиз:

$$W_{im2} = W_{ah} - W_{im1} = 21.32 - 15 = 6.32 \text{ млрд кВт} \cdot \text{соат.}$$

Ушбу электр энергияси 2-имтиёзли нархда-800 сўм/кВт·соат тўланган деб ҳисоблаб тўлов қийматини аниқлаймиз:

$$U_{im2} = W_{im2} \cdot C_{im2} = 6.32 \cdot 800 = 5\,056 \text{ млрд сўм.}$$

Имтиёзли нархда тўлов қилинган жами электр энергияси тўлови:

$$U_{im\Sigma} = U_{im1} + U_{im2} = 9 + 5.056 = 14.056 \text{ трлн сўм.}$$

Аҳолига берилган электр энергиясини таннархига нисбатан берилган субсидия миқдори тўловдаги фарқлар билан аниқланади:

$$U_{sub} = U_{ah} - U_{im\Sigma} = 21.32 + 14.056 = 7.264 \text{ трлн сўм.}$$

Ушбу субсидия барча аҳоли қатламларига бир хил лимит асосида баравар тақсимланади. Аҳолининг бой қатламига ҳам камбағал қатламга ҳам бир хил миқдорда имтиёз берилади. 2024 йилда Ўзбекистонда камбағаллик даражаси 8,9 фоизни (3.3 млн кишини) ташкил этган [5]. Агар барча абонентлар бир хил миқдорда истемол қилса субсидиянинг 8.9 % ни камбағал қатлам олади. Қолган қисмини ижтимоий ҳимояга муҳтож бўлмаган аҳоли қатлами олади. Аҳолининг бой қатлами камбағал қатламга нисбатан кўпроқ электр энергияси истемол қилгани учун камбағал қатлам аслида субсидиянинг 5 – 6% қисмини олади. Яъни, субсидиянинг 94 – 95% ни ижтимоий ҳимояга муҳтож бўлмаган аҳоли қатлами олади.

Ушбу ҳолат, электр энергияси истеъмоли учун бериладиган субсидияни камбағал қатламга манзилли йўналтириш орқали қайта кўриб чиқиш заруриятини кўрсатади. Ўзбекистон аҳолисини салмоқли қисмини ижтимоий ҳимояга муҳтож оилалар ташкил этганини ҳисобга олиб электр энергиясига тўловни оширганда ушбу оилаларга субсидия бериш лозим бўлади. Субсидиялар истеъмол қилинган электр энергиясига эмас, ижтимоий ёрдамга муҳтож оилаларга манзилли йўналтирилган бўлиши лозим [6, 7]. Бунда субсидияни аҳолининг фақат ижтимоий ҳимояга муҳтож қисмига йўналтириб аҳолининг 20% бўлган 7.5 млн нафар аҳолини қамраб олишни тавсия этилади. Аҳолининг энг камбағал қисмини 10% деб (3.75 млн нафар аҳоли) қабул қилиб уларга ҳар бир оилага 200 кВт·соат электр энергияси бепул берилади. Қолган ижтимоий ҳимояга аҳолининг 10 % га (3.75 млн нафар аҳоли) 100 кВт·соат электр энергияси бепул берилади.

3.75 млн аҳоли 5 нафарли оиладан ташкил топган 750 минг абонентлар ташкил этади. Аҳолининг 20% га ажратиладиган тўловсиз электр энергияси (субсидия) миқдори қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$W_{im} = (W_{im.01} \cdot N_{ab.01} + W_{im.02} \cdot N_{ab.02}) \cdot N_{oy},$$

$$(750\,000 \cdot 200 + 750\,000 \cdot 100) \cdot 12 = 2.7 \text{ млрд кВт} \cdot \text{соат}.$$

Тўловсиз бериладиган электр энергияси таннархи 1000 сўм/кВт·соат қиймат билан ҳисоблаганда субсидия миқдори 2.7 трлн сўмни ташкил этади. Бу қиймат ҳозирги кунда берилётган субсидия миқдоридан 2.69 баравар кам.

Аҳолининг бой ва ўрта қатламдаги оилаларга электр энергияси истеъмоли учун берилётган субсидияни бекор қилиниши оила харажатларига қандай таъсир қилишини кўриб чиқамиз. Ҳозирги кунда бир нафар аҳоли йилига, ойига ва кунига қанча миқдорда субсидия олаётганини аниқлаймиз. Бир нафар аҳолига бир кунга оладиган субсидия миқдорини аниқланган субсидия миқдорини аҳоли сонига ва йилдаги кунлар сонига бўлиб қуйидаги ифодадан аниқлаймиз:

$$S_{0.ah} = \frac{U_{sub}}{N_{ah} \cdot N_{kun}} = \frac{7\,264 \cdot 10^9}{37.5 \cdot 10^6 \cdot 365} = 530 \text{ сўм}.$$

Шундай қилиб, ҳозирги кунда ҳар бир нафар Ўзбекистон аҳолиси кунига 530 сўм (4 цент), ойига 15.9 минг сўм (1.22 долл) ва йилига йилига 190 минг сўм (14.61 долл) субсидия олмақда. Бу қиймат бой ёки ўрта оиланинг кунлик харажатларининг 1% дан ҳам кичик. Ушбу субсидияни аҳолининг бой ва ўрта қатламига бекор қилиниши оила сарф харажатларига сезиларли таъсир кўрсатмайди.

Аҳолига жорий этиладиган ушбу субсидия тизимини “яшил” энергиядан фойдаланишни рағбатлантириш механизмининг киритиш орқали такомиллаштириш мумкин. Аҳолининг “яшил” энергия манбаларини ўрнатишдаги асосий муаммо дастлабки тўловнинг катта миқдорда эканлиги. Аҳолига 3 йиллик субсидия пулига “яшил” энергия манбалари ўрнатиш тавсия этилади. Масалан, камбағал оилага 3 йил бепул бериладиган субсидия миқдори, агар электр энергияси нархи 1000 сўм бўлса қуйидагича аниқланади:

$$S_c = N_y \cdot N_{oy} \cdot W_{oy} \cdot C_{ee} = 3 \cdot 12 \cdot 200 \cdot 1000 = 7\,200\,000 \text{ сўм},$$

бу ерда  $N_y$  – йиллар сони;  $N_{oy}$ –йилдаги ойлар сони;  $W_{oy}$ –1 ой имтиёз учун бериладиган электр энергияси;  $C_{ee}$ –электр энергияси таннархи, сўм/кВт·соат.

Ҳозирги кунда оилага 3 кВт ли қуёш панелини ўрнатиш 12 – 15 млн сўм атрофида бўлади. Ушбу қийматнинг 7.2 млн сўми давлат томонидан субсидия сифатида берилди ва ушбу оилага субсидия тўхтатилади. Оила 7.8 млн сўм имтиёзли кредит олиб 3 кВт ли қуёш панели ўрнатади.

Айтайлик, қуёш панели 20 йил ишласа оилага ва давлатга қандай фойда келтиради. Агар, ушбу 1 кВт ли ҚП 1 йилда 1700 кВт·соат, 3 кВт ли ҚП эса 1 йилда 5100 кВт·соат электр энергияси ишлаб чиқарса 1 йилга бериладиган 2400 кВт·соат лик субсидиядан 2.125 баравар кўп энергия олади. Агар, ойига 400 кВтсоатдан истеъмол қилса ҳам ҚП берадиган энергия етарли бўлади ва энергияга тўлов қилмайди. Субсидиядан ташқари бўлган 200 кВт·соат электр энергиясига таннарх даражасида тўлов қилса 3 йилда 7.2 млн сўмни ташкил этади ва кредит маблағлар қопланади. Қолган 17 йил ҚП соф фойдага ишлайди ва умумий иқтисодий самара оила учун 86.7 млн сўмни ташкил этади.

Энди, давлат томонидан кўриладиган фойдани ҳисоблаймиз. Давлат ушбу оилага 20 йилда 48 млн сўм субсидия бериши керак. Аммо, у бу оилага бор йўғи 7.2 млн сўм беради. Ҳар бир оиладан тежалган бюджет маблағлари 40.8 млн сўмни ташкил этади. Камбағал оилалар учун ажратилган маблағларни “яшил” энергия манбаларини ўрнатишга йўналтириш оила учун ҳам давлат учун ҳам салмоқли фойда келтиради.

**ХУЛОСАЛАР.** 1. Ўзбекистонда аҳолига электр энергияси истеъмоли учун берилётган субсидиянинг фақат 5 – 6 % ижтимоий ҳимояга муҳтож аҳолига сарфланади, субсидиянинг асосий қисмини (94 – 95%) эса электр энергиясини энг

кўп истемол қилувчи бой ва ўрта қатлам аҳоли фойдаланмоқда. Бундан ижтимоий ҳимоя учун ажратилган маблағларни мақсадга мувофиқ сарфланмаётганлигини кўриш мумкин.

2. Мавжуд ҳолат таҳлили электр энергияси истеъмоли учун бериладиган субсидияни аҳолининг фақат камбағал қатламга манзилли йўналтириш орқали қайта кўриб чиқиш заруратини кўрсатади. Субсидия барча аҳолига ажратилгани учун ва ҳар бир нафар аҳолига нисбатан кичик миқдорда (қунига 4 цент, ойига 1.22 долл, йилига 14.2 долл) тақсимланмоқда. Шунинг учун аҳолининг ўрта ва бой қатламларида субсидияни бекор қилиш оила харажатларини кескин ўзгартирмайди.

3. Ажратилган субсидия аҳолининг фақат ижтимоий ҳимояга муҳтож қисмига йўналтириб аҳолининг 10% энг камбағал қисмига (3.75 млн нафар аҳолига) ҳар бир оилага 200 кВт·соат электр энергияси ва яна 10% ижтимоий ҳимояга муҳтож аҳолининг ҳар бир оиласига 100 кВт·соат электр энергияси бепул берилиб жами 7.5 млн аҳоли ҳимояга олиш тавсия этилади. Субсидия маблағларини манзилли сарфлаш ҳозирги кунда аҳолига берилаётган субсидия маблағларини 2.7 бараварга қисқартириш имконини беради.

4. Манзилли субсидия олаётган оилаларга 3 йиллик субсидия ҳисобидан 3 кВт ли қуёш панеллари ўрнатиш харажатларини қисман қоплаш ва субсидияни тўхтатиш тавсия этилади. Оила қуёш панелини қолган харажатлари учун олган кредитини қуёш панелида субсидияланган (йилига 2400 кВт·соат) электр энергиясидан ортиқ (йилига 2700 кВт·соат) ишлаб чиқарилган энергия ҳисобидан 3 йилда қоплайди. Қуёш панелининг ишлаш даврида (20 йил) оила субсидиядан олган маблағга нисбатан 80 млн сўм кўп фойда олади ва давлат харажатлари эса ҳар бир оила учун 40 млн. сўмга қисқаради.

#### ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. [https://ru.globalpetrolprices.com/electricity\\_prices/](https://ru.globalpetrolprices.com/electricity_prices/).
2. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_стран\\_по\\_средней\\_заработной\\_плате](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_средней_заработной_плате).
3. <https://gov.uz/uz/minenergy/news/view/19204> таннарх.
4. <https://xs.uz/uzkr/124565>.
5. <https://xabar.uz/mahalliy/ozbekistonda-otgan-yili-kambagal-oilalar-soni-719-mingga-kamaydi>.
6. Садуллаев Н.Н., Гофуров М.О., Неъматова З.Н. Ўзбекистонда электр энергияси нархларини ошириш ва табақалаштирилган таърифни жорий этишга оид таҳлилий хулосалар // Фар ПИ илмий техникавий журнали. 2024. №10. 86 – 91 б.
7. Sadullayev N.N., G'ofurov M.O., Ne'matova Z.N. Energetikani rivojlantirishni rag'batlantirishning me'yoriy ko'rsatkichlarini ishlab chiqish // Yashil iqtisodiyot va taraqqiyot. Maxsus son: iyun-iyul. Toshkent. 2024. 99–107 б.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В данной статье рассмотрены диагностирование технического состояния тягового подвижного состава при различных режимах и методы для определения технического состояния всех устройств и механизмов передвижения локомотивного состава. При помощи диагностирования не только решаются задачи управления перевозочным процессом, но и определяются физическое состояние объекта, а также его неисправность. В связи с тем, что локомотив представляет собой сложное устройство, применяют различные способы и методы диагностирования. Полученные при выполнении работы результаты диагностирования с учетом их классификации включают в себя три основные части технической диагностики: объект, преобразование информации и отображение результатов, а также различают зависимостью от природы диагностирующих процессов и параметров диагноза. На основе диагностики разрабатываются математические модели и модели неисправностей, строятся алгоритмы диагноза с целью прогнозирования неисправностей элементов и устройств систем локомотива, создаются любые неисправные модификации.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, электрифицированные, сбои в электроприводах, диагностирование, состояние объекта, тестовые, функциональные, электровозы, электропоезда и метровагоны.

U.T. Berdiyev, M.N. Tuychieva, H.F. Najmiddinov, N.T. Abduraxmanov

### Tortuvchi harakatlanuvchi tarkibning texnik holatini tadqiq etish

Ushbu maqolada tortuvchi harakatlanuvchi tarkibning turli rejimlardagi texnik holatini tashxislash va lokomotiv tarkibining barcha harakatlanish qurilmalari hamda mexanizmlarining texnik holatini aniqlash usullari ko'rib chiqilgan. Tashxislash yordamida nafaqat tashish jarayonini boshqarish masalalari hal etiladi, balki obyektning jismoniy holati, shuningdek, uning nosozliklari ham aniqlanadi. Lokomotiv murakkab qurilma bo'lganligi sababli, turli xil tashxislash usullari va uslublari qo'llaniladi. Bajarlilgan tashxislash ishlari, ularning tasnifini hisobga olgan holda, texnik tashxisning uchta asosiy qismini o'z ichiga oladi: obyekt, ma'lumotlarni qayta ishlash va natijalarni aks ettirish. Shuningdek, ular tashxis jarayonlarining tabiatiga va tashxis parametrlariga bog'liqligi bilan farqlanadi. Tashxis asosida matematik modellar va nosozlik modellari ishlab chiqiladi, bashorat qilish maqsadida tashxis algoritmlari tuziladi.

**Kalit so'zlar:** temir yo'l transporti, elektrlashtirilgan, elektr yuritmalardagi nosozliklar, diagnostika, obyektning holati, test, funksional, elektrovozlar, elektropoyezdlar va metro vagonlari.

U.T. Berdiyev, M.N. Tuychieva, H.F. Najmiddinov, N.T. Abduraxmanov

### Research on the technical condition of traction rolling stock

This article examines the diagnostics of the technical condition of traction rolling stock under various modes and methods for determining the technical condition of all devices and mechanisms of locomotive movement. Diagnostics not only helps solve tasks related to managing the transportation process, but also determines the physical state of the object and its malfunctions. Since a locomotive is a complex device, various methods and techniques for diagnostics are used. The diagnostics obtained during the work, taking into account their classification, include three main parts of technical diagnostics: the object, information transformation, and display of results. They are also distinguished by their dependence on the nature of diagnostic processes and diagnostic parameters. Based on diagnostics, mathematical models and malfunction models are developed, and diagnostic algorithms are constructed for the purpose of prediction.

**Keywords:** of railway transport, electrified, failures in electric drives, diagnostics, the condition of the object, test, functional, electric locomotives, electric trains and metro cars.

В республике осуществляются мероприятия по развитию транспортной отрасли, увеличению железнодорожных электрифицированных участков и устранению сбоев при нестандартных и аварийных ситуациях в системах автоматики и телемеханики, повышению эффективности использования

железнодорожных линий высокоскоростного движения. Развитие железнодорожного транспорта предусматривает такие задачи, как «Формирование и продолжение развития железнодорожной отрасли, как неотъемлемой части экономики Узбекистана, обеспечение безопасности и повышения уровня надежности движения поездов, повышение привлекательности железнодорожного транспорта». Реализация этих задач, в частности по усовершенствованию методов и устройств устранения сбоев на железнодорожном транспорте, разработке новых современных математических моделей для предотвращения аварийных и нестандартных ситуаций и сбоев в электроприводах локомотивных устройств и электровозах, а также программного обеспечения систем управления является одной из необходимых для безопасности движения [1 – 3].

**Виды диагностирования технического состояния и их алгоритм.** Безотказное функционирование всех объектов локомотивных механизмов и электродвигателей не может обеспечить безопасный перевозочный процесс на железнодорожном транспорте. Основу безопасности движения поездов составляют средства диагностирования.

Диагностирование обеспечивает определение технического состояния всех устройств и механизмов передвижения локомотивного состава. При помощи диагностирования решаются задачи не только управления перевозочным процессом, но и определения физического состояния объекта, а также его неисправности. С помощью диагностики разрабатываются математические модели, модели неисправностей и строятся алгоритмы диагностирования [4 – 6].

При диагностировании важным обстоятельством является выявление технического состояния объекта за счет определения зарождающего дефекта. В этом случае выбирают элементы локомотива только те, которые имеют склонность к изменению технического состояния объекта, например, износ подшипников, нарушение изоляции, изменение электрических и электронных свойств аппаратуры локомотива [2, 3, 5]. При диагностировании используем теорию вероятности и методы математической статистики.

В связи с этим решаются вопросы разработки принципов диагностирования и внедрения средств и методов диагностирования.

Функциональным диагностированием называют такое, при котором на основании входа поступает рабочее воздействие (алгоритмы функционирования), а результаты снимаются с использованием контрольных точек [6, 7].

Для сложных объектов используется как тестовое, так и функциональное диагностирование (комбинированное). Во всех системах диагностирования используются датчики, которые предоставляют возможность получать первичные данные о состоянии объекта исследования.

Качественное определение технического состояния объекта является задачей технического диагностирования [3, 6, 7]. Техническое состояние объектов определяется установленными нормативными документами и подверженными изменениям в процессе эксплуатации. Контроль параметров сложного многокомпонентного объекта, каким являются электровозы, электропоезда и метровагоны, называют техническим диагностированием.

Исправное состояние объектов может быть таковым для определенных условий эксплуатации, а для других условий оно может быть неисправным [3, 8].

По характеру взаимодействия объект – средства различают функциональное диагностирование и тестовое. Тестовое диагностирование определяется подачей на исследуемый объект тестовых сигналов.

Диагностирование, при котором информация о состоянии объекта поступает непосредственно в нормальном режиме работы объекта, называют

функциональным [6, 9]. Выбранный метод диагностирования позволяет определить неисправности в объекте, определяемые полнотой технического диагностирования.

При увеличении контролируемых параметров объекта усложняются средства диагностирования. Порядок и состав проведения контроля параметров объекта диагностирования устанавливаются алгоритмом технического диагностирования. Элементарная проверка осуществляется для параметров диагностирования с помощью датчиков функциональным или тестовым воздействием [3, 10]. Алгоритмы бывают условными и безусловными. К условным алгоритмам относятся такие, которые определены после элементарных проверок, а безусловные – такие, проверки параметр которых определены заранее.

Для построения алгоритмов необходимо знать описания объектов, условия функционирования и поведения в неисправном и исправном состояниях.

Описание этих процессов можно задать в аналитической форме, в виде табличных данных, векторов, графических форм и т.д. [5, 8]. Эта форма называется математической моделью, которая задаётся в явном или неявном виде.

Явная математическая модель определяет описание исправного и неисправного состояний. Неявная модель состоит из описания исправной работы объекта. По исправному состоянию объекта можно создать любые неисправные модификации [3, 9]. Любой объект исправный или неисправный представляют динамической системой, определяемой в любой момент времени входными параметрами. Внутренними параметрами будут те, которые найдены в динамическом режиме.

В сложной системе имеются узлы блоков, которые связаны между собой взаимной связью. Если выйдет из строя один блок, это повлечет за собой изменение работоспособности другого блока и его технического состояния [9, 11].

Представим математическую модель в аналитическом виде. Обозначим «X» вектором входных величин, состоящих из  $n$  элементов входных переменных:

$$[x] = (x_1, x_2, x_3 \dots x_n). \quad (1)$$

Обозначим Y вектором внутренних величин, состоящих из  $m$  переменных:

$$[Y] = (Y_1, Y_2, Y_3 \dots Y_m). \quad (2)$$

Выходные функции обозначим вектором  $z$ , который состоит из  $k$  переменных:

$$[z] = (z_1, z_2, z_3 \dots z_k). \quad (3)$$

Выходная величина  $z$  является функцией входных, внутренних значений и времени  $t$ :

$$z = \psi(x, Y_{\text{нач}} t), \quad (4)$$

$$z' = \psi'(x, Y'_{\text{нач}} t). \quad (5)$$

Выражение 5 представляет математическую модель  $i$ -неисправного объекта.

Пусть при диагностировании сделано  $\Pi$  проверок, содержащих  $\Pi_i$  элементарных проверок, где  $i = 1, 2, 3, \dots$ . Математическая модель объекта диагностирования приведена на рис.1.

Пусть  $a_i$  воздействия на элементарную проверку  $\Pi_i, \in \Pi$  определяется составом входных  $x$  и времени  $t$ , а также внутренней составляющей  $Y$ . Результат проверки [7, 8]:

$$R'_i = \psi'(a_i \{Y\}_i). \quad (6)$$

Запишем эти уравнения в краткой форме:

$$\begin{aligned} R_i &= \psi(\Pi_i), \\ R'_i &= \psi'(\Pi_i), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $R_i$  – для исправного объекта;  $R'_i$  – для неисправного объекта.

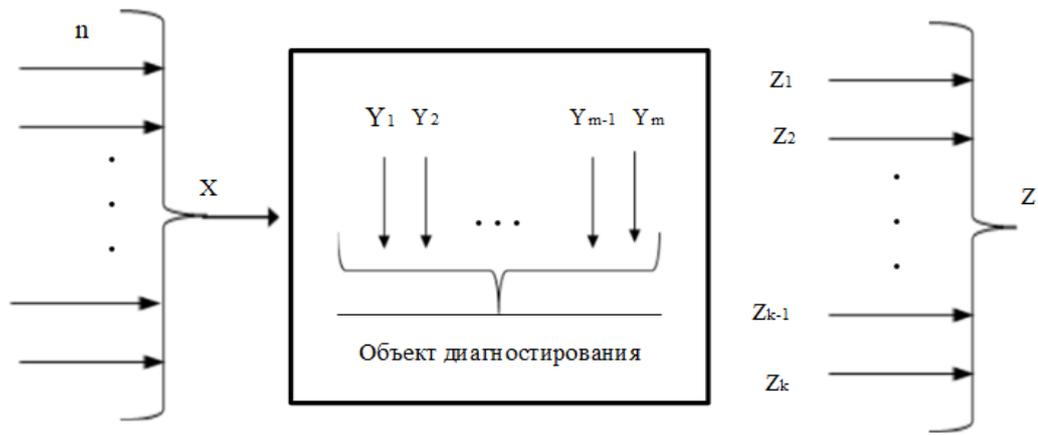


Рис.1. Объект диагностирования в виде математической модели

При составлении оптимального алгоритма необходимо учесть параметры надежности, вероятность отказов, их частоту, а также закон распределения отказов.

Для произвольного закона надежности выберем время  $T$  и для него определяем вероятность отказа для времени:  $t < T < t + \Delta t$ , в котором  $P(t \leq T \leq t + \Delta t)$ , а для плотности этой случайной величины [10, 11]:

$$f(t)\Delta t = F'(t)\Delta t. \quad (8)$$

Выберем закон распределения отказов в виде

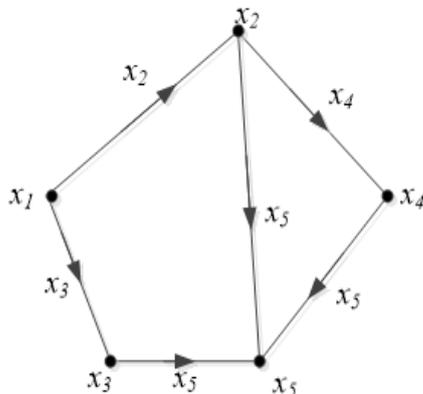
$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}. \quad (9)$$

При этом условии вероятности отказов выражается формулой

$$P_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^k \lambda_i}. \quad (10)$$

Аналитическое выражение (10) показывает, что алгоритм с учетом вероятных отказов  $P_i$  будет оптимальным за все время периода эксплуатации объекта. Все аналитические методы диагностики дают глубину и полноту описания и представляют сложность в расчетах [10, 11].

Для разработки математических моделей в виде ориентированных графов обозначим граф  $G(x, v)$ , где  $x(x_1; x_2 \dots x_n)$  – множество вершин,  $v(v_1, v_2 \dots v_n)$  – множества дуг. Отображение показывает, как вершина отображается на других вершинах. На рис.2 представлен ориентированный граф, который имеет отображения [10, 11].



$$\begin{aligned} \Gamma x_1 &= \{x_2, x_3\} \\ \Gamma x_2 &= \{x_4, x_5\} \\ \Gamma x_3 &= \{x_5\} \\ \Gamma x_4 &= \{x_5\} \\ \Gamma x_5 &= \emptyset, \text{ где } \emptyset \text{ пустое множество,} \\ &\text{т.е. не имеет отображения} \end{aligned}$$

Рис. 2. Ориентированный граф

В некоторых случаях диагностирования применяют графы, которые называются деревом диагноза. Особенностью такого графа является наличие

контуров и вершин, в которые не входит ни одна дуга. Вершину, в которую не входит ни одна дуга, обычно называют начальной или корнем дерева,  $(t_0E)$  [7, 9].

Вершины, из которых не выходит ни одна дуга, называют конечными или висячими. Другие вершины называют внутренними (рис.3).

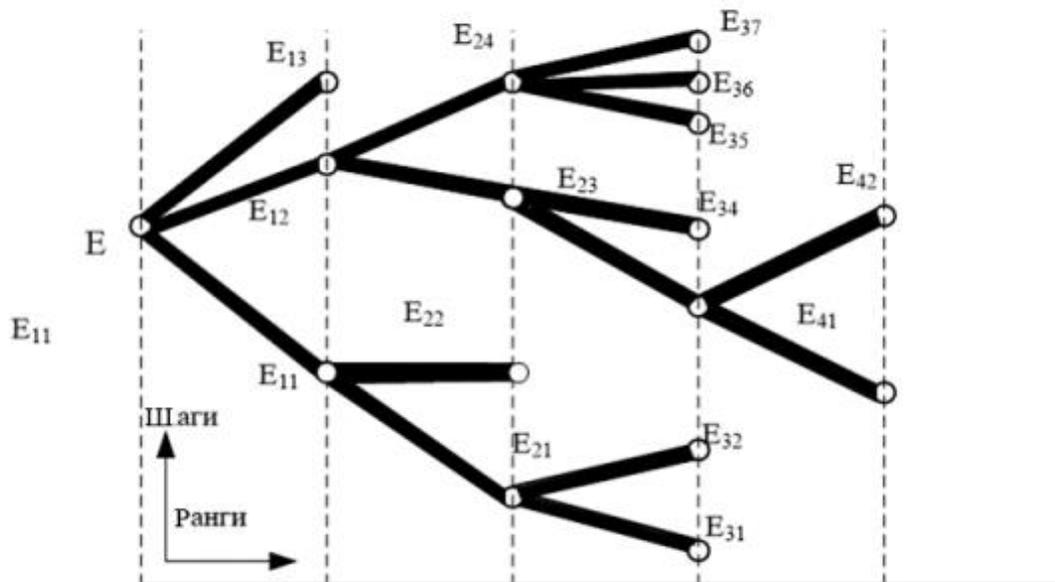


Рис. 3. Дерево диагноза

Дерево представляет собой алгоритм диагностирования, где рангом вершины дерева является число дуги пути, начинающегося с начальной точки  $E$ ;  $t_0$  и заканчивающегося в рассматриваемой вершине.

Проверка при  $t_0$  содержит три результата  $a(t_0) = 3$ . Поэтому множества  $E$  разбиваются на 3 части:  $E_{11}, E_{12}, E_{13}$ . Так как  $E_{11}$  и  $E_{12}$  являются внутренними множествами, они разбиваются на элементарные проверки  $t_{11}$  и  $t_{12}$ , а  $E_{13}$  является конечной вершиной (висячей) и не разбивается.  $E_{12}$  разбивается на два подмножества  $E_{24}$  и  $E_{23}$ , которые затем разбиваются на три подмножества и четыре с внутренними и конечными вершинами. Выбранное дерево содержит четыре ранга и каждый ранг имеет от двух до семи шагов. Данный алгоритм диагностирования называют безусловным, так как он учитывает проведенные предварительно элементарные проверки [3, 9].

Так как локомотив представляет собой сложное устройство, применяют различные способы и методы диагностирования.

Методы диагностирования с учетом их классификации включают в себя три основные части технической диагностики: объект, преобразование информации и отображение результатов, а также различают зависимость от природы диагностирующих процессов и параметров диагноза [10 – 12].

Метод экспертов применяют на первом этапе приема в эксплуатацию локомотивов. Специальная экспертная техническая комиссия проверяет все рабочие параметры локомотивов своими приборами, проводит анализ полученных результатов измерения и устанавливает постановку диагноза. При этом используется современная микропроцессорная техника. Однако эта оценка является субъективной, так как человек не всегда, в силу своих возможностей, может обработать правильно поступающую информацию, вследствие чего могут возникнуть субъективные ошибки.

### **Выводы:**

- основополагающим фактором технической диагностики является рабочее воздействие на входы средств диагностирования. Все выходы являются контрольными точками, в которых сравниваются полученные результаты диагностирования.

- На основании диагностики разрабатываются математические модели и модели неисправностей, строятся алгоритмы диагноза с целью прогнозирования неисправностей элементов и устройств систем локомотива, создаются любые неисправные модификации.

- Из многообразия рассмотренных методов диагностирования был выбран метод функциональной диагностики, который позволил определить параметры диагностирования, обладающие большой помехозащищённостью и достоверностью в целях достижения безотказного движения подвижного состава.

### **ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Абдуллаев Р.Б. Реализация подсистемы сбора диагностической информации в системах непрерывного мониторинга устройств железнодорожной автоматики // Автоматика на транспорте. 2020. Т. 6. №3. С. 309 – 331.
2. Пляскин А.К. Современные системы диагностирования // Вестник Института тяги и подвижного состава. Хабаровск, 2017. – 5 с.
3. Amirov S.F., Sharapov S.A., Sulliev A.K., Boltaev O.T. Biparametric resonant transformer sensor of large linear movements // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2023. Т. 2624. №. 1. P. 030007(1-9).
4. Аргунов А.В., Марикин А.А., Соколов Д.А. Компьютерное моделирование тягового электрооборудования // Научно-технический журнал «Электроника и электрооборудование транспорта». М., 2019. №5. С. 38 – 41.
5. Berdiev U.T., Burkhanhodzhaev A.M., Tuychieva M.N., Iksar E.V. Investigation of energy indicators with asymmetry of the voltage of the power source of mainline electric locomotives of alternating current // International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics & Water Resources Engineering. CONMECHYDRO 2021 AUTUMN SEASON. Tashkent/Uzbekistan on September 7-9, 2021.
6. Berdiev U., Vecher A., Khasanov F. Investigation of the frequency characteristics of composite iron powders with insulating oxide coatings. E3S Web of Conferences. 2021. P.264. 05014.
7. Туйчиева М.Н. Усовершенствование способов повышения пускового момента и регулирования частоты вращения асинхронных тяговых двигателей // ТТЙМИ Ахбороти, чорак журнали. 2017 йил (05.00.00. №11. С. 33).
8. Tuychieva M. Control of electric locomotives with asynchronous electric motors under asymmetric operating conditions in Uzbekistan // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614. 2020. 012060.
9. Нгулу-А- Ндзели, Тэтчер В.Ю., Шахов В.Г. Опыт диагностирования тяговых двигателей локомотивов // Омский научный вестник. 2019. №1[163]. С. 67 – 71. DOI.10.25206/1813-8225-2019-163-67-71.
10. Семенов А.П., Семченко В.В., Хромов И.Ю. Мониторинг технического состояния электровозов переменного тока по расходу электроэнергии на тягу поездов // Мир транспорта. М., 2020. Т. 18. №5. С. 62 – 89.

11. Кирсанов А.М., Марон А.И., Марон М.А. Построение алгоритмов поиска неисправностей для систем диагностирования и мониторинга устройств ж/д автоматики и телемеханики // Датчики и системы. 2019.Т.238. №7/8. С. 21 – 27.
12. Антипин Д.Я., Воробьёв В.И., Измеров О.В., Корчагин В.О., Космодамианский А.С. Проблемы снижения уровня фрикционных автоколебаний в тяговых приводах рельсового подвижного состава. Брянск: БГТУ, 2017. – 188 с.

Ташкентский государственный технический университет  
имени Ислама Каримова

Дата поступления  
24.06.2025

УДК 004.02

**З.И. АХМЕДЖАНОВА**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО ГИБРИДНОГО ПОИСКА В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ**

В статье исследованы методы оптимизации маршрутов в интегрированной информационной системе транспортной логистики сельскохозяйственной продукции с использованием гибридного эволюционного подхода. Проанализировано множество ограничений, характерных для аграрных перевозок, включая дедлайны, вместимость транспорта и требования к порядку загрузки/выгрузки. Для решения сформулированной задачи предложен гибридный эволюционный алгоритм, сочетающий дифференциальную эволюцию и генетический алгоритм с локальным поиском VNS. Выявлено, что комбинирование дифференциальной эволюции, генетического алгоритма и локального поиска VNS позволяет повысить качество решений в условиях высокой размерности. Изучено поведение алгоритма на различных структурах хромосом и операторов мутации, что позволило выбрать эффективную стратегию кодирования. Определено математическое представление фитнес-функции, учитывающее логистические, временные и технологические издержки. Обосновано применение критерия относительного изменения стоимости решения в качестве условия остановки эволюционного поиска. Экспериментами на наборах до 200 заявок показана экономия в 8–12% по сравнению с базовыми эвристиками и высокая устойчивость результатов.

**Ключевые слова:** умная транспортная логистика, информационная система, гибридный поиск, генетический алгоритм, локальный поиск.

**Z.I. Axmedjanova**

### **Transport logistika axborot tizimida evolyutsion gibridd qidiruvni qo'llash**

Maqolada qishloq xo'jaligi mahsulotlarini tashish uchun mo'ljallangan integratsiyalashgan transport logistikasi axborot tizimida marshrutlarni optimallashtirish usullari evolyutsion gibridd yondashuv yordamida o'rganilgan. Aholi xo'jalik tashuvlariga xos bo'lgan ko'plab cheklovlar — muddatlar, transport sig'imi, yuklash/tushirish tartibi talablari — tahlil qilingan. Belgilangan masalani yechish uchun differensial evolyutsiya va genetik algoritmi VNS mahalliy qidiruv bilan birlashtiruvchi gibridd evolyutsion algoritmi taklif etilgan. Differensial evolyutsiya, genetik algoritmi va VNS mahalliy qidiruvni birlashtirish yuqori o'lchamli muammolarda yechim sifatini oshirishga imkon berishi aniqlangan. Algoritmi turli xromosoma tuzilmalari va mutatsiya operatorlarida tutgan o'rni o'rganilib, samarali kodlash strategiyasi tanlangan. Fitnes-funksiyaning logistika, vaqt va texnologik xarajatlarni inobatga oluvchi matematik ifodasi aniqlangan. Evolyutsion qidiruvni to'xtatish sharti sifatida yechim narxining nisbiy o'zgarish mezonidan foydalanish asoslangan. 200 ta gacha buyurtma to'plamlarida o'tkazilgan tajribalar bazaviy evristikalarga nisbatan 8–12% tejamkorlikni va natijalarning yuqori barqarorligini ko'rsatgan.

**Kalit so'zlar:** aqlli transport logistikasi, axborot tizimi, gibridd qidiruv, genetik algoritmi, mahalliy qidiruv.

## Application of evolutionary hybrid search in the information system of transport logistics

The paper presents a study of route optimization methods within an integrated information system for the transport logistics of agricultural products using a hybrid evolutionary approach. A number of constraints typical for agricultural transportation are analyzed, including deadlines, vehicle capacity, and loading/unloading order requirements. To solve the formulated problem, a hybrid evolutionary algorithm is proposed that combines differential evolution and a genetic algorithm with a local VNS (Variable Neighborhood Search). It has been found that combining differential evolution, the genetic algorithm, and local VNS search improves the quality of solutions in high-dimensional settings. The behavior of the algorithm was examined under various chromosome structures and mutation operators, which made it possible to select an effective encoding strategy. A mathematical formulation of the fitness function was developed, taking into account logistical, temporal, and technological costs. The use of the relative change in solution cost as a stopping criterion for the evolutionary search is substantiated. Experiments conducted on datasets of up to 200 requests demonstrated an 8–12% cost reduction compared to baseline heuristics and showed high stability of results.

**Keywords:** intelligent transport logistics, information system, hybrid search, genetic algorithm, local search.

**Введение.** Традиционные методы точной оптимизации (например, методы смешанных целых чисел или динамического программирования) часто оказываются неприменимыми к интеллектуальной логистике в сельском хозяйстве из-за высокой размерности и неопределённости данных. Это особенно проблематично в структурно ограниченных задачах, таких как задача маршрутизации транспортных средств с обратными перевозками (VRPB) [1].

В данном исследовании рассматривается планирование транспортных маршрутов в сельскохозяйственном секторе, который характеризуется уникальными трудностями, такими как чувствительные к времени поставки, разнородные парки транспортных средств и строгие ограничения на загрузку и доставку [2]. Эти особенности требуют адаптированных моделей и алгоритмов [2,3]. Для удовлетворения этих потребностей нами предлагается гибридный эволюционный подход, который объединяет дифференциальную эволюцию, генетические алгоритмы и методы локального поиска.

Классические методы оптимизации (муравьиные алгоритмы и АСО) часто оказываются неэффективными при решении задач, характерных для современных транспортно-логистических систем. В связи с этим активно развиваются эволюционные и метаэвристические подходы, такие как дифференциальная эволюция (DE), генетический алгоритм (GA) и метод переменных окрестностей (VNS), которые позволяют находить приближённые оптимальные решения за приемлемое время.

Рассматриваемая в данной статье задача классифицируется как задача маршрутизации транспортных средств с ограниченной вместимостью, временными окнами и ограничениями типа «последним вошёл — первым вышел» (Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows and Last-In-First-Out constraints, CVRPTW-LIFO). Она представляет собой расширение классической задачи маршрутизации транспортных средств с ограниченной вместимостью (CVRP), дополненной реалистичными ограничениями, характерными для сельскохозяйственной логистики.

В классической постановке задачи маршрутизации транспортных средств (CVRP) требуется обслужить набор заказов при ограничении вместимости каждого автомобиля [2]. В расширенной версии – задаче маршрутизации с временными

окнами (VRPTW) – дополнительно вводятся временные окна, в пределах которых должна быть выполнена доставка [2,3]. В рассматриваемой задаче учитывается также правило LIFO (Last-In, First-Out), типичное для сельскохозяйственной логистики, где порядок выгрузки строго обратен порядку загрузки, что существенно сокращает множество допустимых маршрутов и относит задачу к классу CVRPTW-LIFO [1,3,4,5]. Она объединяет ограничения по вместимости, временным окнам и последовательности загрузки-разгрузки [6,7], что делает её NP-трудной и требует применения гибридных эволюционных алгоритмов с локальным поиском [6]. Дополнительная сложность заключается в необходимости синхронизации данных между модулями информационной системы (склад, транспорт, заказы), особенно критичной для своевременной доставки сельскохозяйственной продукции [6,8].

Учитывая указанные вызовы, применение гибридных эволюционных стратегий, объединяющих методы дифференциальной эволюции (DE), генетических алгоритмов (GA) и локального поиска, представляется практичным и эффективным подходом к планированию и управлению транспортировкой в аграрной логистике [1–4,9].

**Постановка задачи.** Целью оптимизации является минимизация совокупных затрат логистической операции, включающей транспортные издержки, стоимость использования маршрутов, а также штрафы за нарушения сроков доставки и порядка загрузки/выгрузки с учётом следующих критериев: ограничений по грузоподъёмности и объёму, дедлайнов доставки, приоритетов погрузки/выгрузки (LIFO), назначения груза и маршрута к конкретному транспортному средству. Таким образом, минимизируется единая стоимостная метрика, где временные ограничения считаются жёсткими (опоздания не допускаются), а технологические нарушения переводятся в денежные штрафы. Итоговая целевая функция сводится к минимизации суммарного экономического и штрафного показателя по всем автомобилям и назначенным им маршрутам и имеет следующий вид:

$$F = \sum_{j \in V} \sum_{k \in R} y_{jk} (L(r_k)T(v_j) + p(r_k) + \alpha D_{jk} + \beta P_{jk}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  – множество транспортных средств; маршрут  $R$  – упорядоченное множество маршрутов;  $y_{jk} \in \{0,1\}$  – бинарная переменная, показывающая, движется ли транспортное средство  $v_j$  по маршруту  $r_k$ ;  $(L(r_k) \cdot T(v_j))$  – затраты на транспортировку грузов транспортным средством  $v_j$  по маршруту  $r_k$ ;  $p(r_k)$  – стоимость использования маршрута;  $D_{jk}$  – штрафная функция опоздания;  $\alpha$  – весовой коэффициент соблюдения дедлайнов ( $\alpha \gg \beta$  для скоропортящихся грузов);  $\beta$  – весовой коэффициент технологических нарушений;  $P_{jk}$  – совокупный штраф за нарушения приоритета LIFO, превышение веса/объёма и др.

Для решения вышеуказанной задачи нами был разработан гибридный эволюционный алгоритм, интегрирующий дифференциальную эволюцию (DE) [10], генетический алгоритм и локальный поиск (LS), основанный на оптимизаторе поиска (VNS) [5] (обозначается DE-GA+LS). Выбор этой комбинации обусловлен экспоненциальной сложностью точных методов (грубая сила, целочисленное программирование), что делает их неприменимыми для масштабных примеров. Предлагаемая гибридная схема уравнивает глобальный эволюционный поиск

с интенсивным локальным уточнением, предоставляя практически оптимальные решения в разумные сроки для интересующих масштабов проблем.

Каждое кандидатное решение (индивидуальное) кодируется как маршрутная хромосома, представляющая маршруты для всех транспортных средств:

$$\pi = \langle 0, \pi_1, \dots, \pi_{k_1}, 0, \pi_{k_1+1}, \dots, \pi_{k_1+k_2}, 0, \dots \rangle, \quad (2)$$

Мы используем кодирование на основе перестановок с разделителями маршрутов. Хромосома представляет собой последовательность идентификаторов заказов, разделённых специальными маркерами «0», которые обозначают депо и разделяют последовательность на отдельные маршруты транспортных средств.

Например, хромосома вида: [0.5, 2.8, 0.3, 1.0] кодирует два маршрута, где «0» обозначает депо. Каждый заказ встречается в хромосоме ровно один раз, что позволяет операторам DE и GA эффективно работать с перестановкой.

Для каждого решения вычисляется общая логистическая стоимость, включающая: транспортные расходы, стоимость использования маршрутов и штрафы за нарушение ограничений (временные окна, вместимость, порядок загрузки LIFO).

Штраф за опоздание записывается в виде

$$D_{jk} = \sum_{i \in I_k} \max(0, t_{ij} - T_{i \max}), \quad (3)$$

где  $t_{ij}$  – фактическое время прибытия для клиента  $i$ ; если доставка выполнена вовремя, штраф равен нулю.  $T_{i \max}$  обозначает срок действия клиента, т.е. если  $t_i \leq T_{i \max}$ , то штраф не применяется.

Пеня за нарушение ограничений вместимости и принципа погрузки/разгрузки LIFO рассчитывается в размере:

$$P_j^* = \gamma_1 \cdot \max\left(0, \sum_i w_i - W_j\right) + \gamma_2 \cdot \max\left(0, \sum_i v_i - V_j\right) + \gamma_3 \cdot H_{jk}, \quad (4)$$

где  $P_j^*$  – общая функция штрафа (штраф за перегрузки и технологические нарушения на маршруте транспортного средства  $j$ );  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  – коэффициенты штрафа за превышение весовой, объемной вместимости и нарушение технологических ограничений соответственно;  $w_i$  – вес заказа на доставку  $i$ ;  $v_i$  – объем заказа на доставку  $i$ ;  $W_j$  – предел весовой вместимости транспортного средства  $j$ ;  $V_j$  – предел объемной вместимости транспортного средства  $j$ ;  $\max(0, x)$  – положительная часть  $x$ , т.е.  $x$ , если  $x > 0$ , и 0 в противном случае;  $H_{jk} \in \{0, 1\}$  – двоичный показатель нарушения технологических ограничений (например, правило LIFO) для транспортного средства  $j$  и пар заказа или ограничений  $k$ . В случае нарушения правила "последний за первым" штрафные коэффициенты, соответствующие нарушениям, измеряются соответственно в килограммах, кубических метрах и денежных единицах.

Особь считается недопустимой, если нарушены ограничения на вместимость, дедлайны или LIFO-порядок; в таком случае к её стоимости добавляется крупный штраф, исключаящий её из дальнейшего отбора.

**Гибридный эволюционный алгоритм.** Гибридный эволюционный алгоритм (DE-GA+VNS) построен по популяционному принципу и работает итеративно. Каждое поколение последовательно проходит следующие фазы:

1-й шаг. DE-мутация. Для текущей особи  $x_i^{(t)}$  формируется мутационный вектор  $v_i^{(t)}$

$$m_i = x_i + \mu(x_{r_2} - x_{r_3}),$$

где  $\mu$  – мутационный фактор.

2-й шаг. DE-кроссовер. Биномиальный DE кроссинговер выполняется между целевым индивидуумом и мутантным вектором, генерируя испытуемый индивид:

$$u_{i,j} = \begin{cases} m_{i,j} & \text{if } d_j < CR \\ x_{i,j} & \text{else} \end{cases},$$

где  $u_{i,j}$  –  $j$ -я составляющая нового (испытательного) вектора  $u_i$ , генерируемого на основе текущего вектора  $x_i$  и мутантного вектора  $m_i$ ;  $m_{i,j}$  –  $j$ -я составляющая мутантного вектора (т.е. результат мутации DE);  $x_{i,j}$  –  $j$ -я составляющая целевого вектора (текущего индивида в популяции);  $d_j$  – независимо генерируемое случайное число, равномерно распределенное на интервале [0.1] для каждой составляющей  $j$ ;  $CR$  (Crossover Rate) – вероятность рекомбинации, т.е. заранее установленный параметр, который определяет вероятность замены компонента  $x_{i,j}$  на  $m_{i,j}$ .

3-й шаг. GA-кроссовер маршрутов (скрещивание элиты). Применяется к лучшим особям текущей популяции с вероятностью  $p_c = 0.7$  для рекомбинации удачных подмаршрутов.

4-й шаг. GA-мутация. Вносит небольшие случайные изменения с вероятностью  $p_m = 0.05$ .

5-й шаг. Локальный поиск (LS). После глобальных операторов DE и GA каждое кандидатное решение дополнительно уточняется интенсивной процедурой локального поиска, которая пытается улучшить решение, исследуя его окрестности в пространстве решений. В условиях ограниченной маршрутизации транспортных средств мы включаем несколько локальных стратегий поиска для эффективного решения сложных ограничений (пропускная способность, временные окна и порядок загрузки LIFO):

- поиск переменных в окрестностях (VNS) с использованием последовательных окрестностей (2-opt  $\rightarrow$  relocate  $\rightarrow$  swap). 2-opt удаляет пересекающиеся края в маршруте и воссоединяет сегменты для уменьшения перекрытия и расстояния. Перемещение переносит заказ в новую позицию, устраняя затруднения. Swap обменивается заказами между маршрутами, улучшая баланс нагрузки и эффективность. VNS итеративно исследует эти окрестности. При улучшении поиск начинается заново с 2-го варианта, в противном случае он переходит к следующему глобальному шагу. Эта иерархическая стратегия избегает локальных минимумов и позволяет тщательно доработать решение. Если прогресс стагнирует (улучшение  $< 0.1\%$  за 30 итераций), алгоритм переходит от VNS к более интенсивной стратегии локального поиска;

- градиентный спуск (GD) в пространстве непрерывно расслабленного решения с последующей проекцией на действительные перестановки;

- быстрая эвристика из 2 вариантов (2-opt) с использованием дополнительных обновлений длины маршрута.

6-й шаг. Локальный поиск (LS). VNS-улучшение. Дополнительная интенсивная доработка маршрутов операторами 2-opt, relocate и swap с целью интенсивно уменьшить  $L(r_k)$  и удалить штрафы  $D_{jk}, P_{jk}$ .

7-й шаг. Элитарная селекция. Сохранить  $N$  лучших особей.  $P_{t+1} = V_N(P_t \cup U_t)$ . Для следующего поколения отбираются  $N=80$  лучших особей.

Этот гибридный подход объединяет глобальный поиск (операторы DE и GA) и интенсивное местное улучшение (LS), эффективно преодолевая многочисленные ограничения, характерные для сельскохозяйственной транспортной логистики, одновременно достигая экономичных и экологически устойчивых маршрутных решений.

**Оценка эффективности алгоритма.** Для оценки эффективности предложенного гибридного эволюционного алгоритма (DE-GA+LS) и его вариантов были проведены вычислительные эксперименты с использованием синтезированных тестовых экземпляров, адаптированных специально для задач сельскохозяйственной логистики и включающих ключевые ограничения: вместимость, временные окна и требования LIFO при загрузке.

Тестовые наборы были получены путём модификации классических эталонных задач Соломона (C101/RC206) [7], в результате чего сформированы три масштаба задачи:

- малый экземпляр (S-50): 50 заказов и 10 транспортных средств;
- средний экземпляр (M-100): 100 заказов и 15 транспортных средств;
- крупный экземпляр (L-200): 200 заказов и 25 транспортных средств.

Каждое транспортное средство имело фиксированную стоимость маршрута 120 условных единиц (у.е), грузоподъёмность 8 т и операционную стоимость 1.45 у.е./км.

Все алгоритмы запускались по 10 независимых прогонов для каждого экземпляра, при этом вычислительный бюджет был ограничен 500 поколениями. Время работы процессора ограничивалось 4 минутами для S-50, 8 минутами – для M-100 и 18 минутами – для L-200.

Производительность алгоритмов оценивалась по следующим метрикам:

- общая стоимость логистики ( $C$ );
- отклонение от наилучшего известного решения ( $\Delta$  %);
- вычислительное время ( $T$ );
- стабильность решений (среднеквадратичное отклонение,  $\sigma$ ).

Сводные усреднённые результаты по всем прогонам и экземплярам представлены в таблице.

Результаты вычислительных экспериментов

| Алгоритм         | $C, S-50$     | $\Delta, \%$ | $T, c$     | $\sigma$   | $C, M-100$    | $\Delta, \%$ | $T, c$     | $\sigma$   | $C, L-200$     | $\Delta, \%$ | $T, c$     | $\sigma$     |
|------------------|---------------|--------------|------------|------------|---------------|--------------|------------|------------|----------------|--------------|------------|--------------|
| GA (базовый)     | 32.850        | + 14.6       | 92         | 830        | 66.210        | + 17.4       | 196        | 1.490      | 134.700        | + 18.5       | 438        | 2.370        |
| DE (базовый)     | 30.740        | +7.3         | 104        | 540        | 61.890        | +9.4         | 210        | 1.120      | 123.600        | + 10.4       | 462        | 1.750        |
| <b>DE-GA-VNS</b> | <b>27.930</b> | <b>0.0</b>   | <b>118</b> | <b>380</b> | <b>56.780</b> | <b>0.0</b>   | <b>244</b> | <b>690</b> | <b>110.820</b> | <b>0.0</b>   | <b>529</b> | <b>1.090</b> |
| DE-GA-GD         | 28.160        | +0.8         | 106        | 480        | 57.210        | +0.8         | 228        | 780        | 111.750        | +0.8         | 505        | 228          |
| DE-GA-2opt       | 28.330        | + 1.4        | <b>88</b>  | 450        | 57.460        | + 1.2        | 198        | 915        | 112.380        | + 1.4        | <b>467</b> | 1.470        |

Базовый генетический алгоритм (GA) показал значительно более высокие затраты для всех тестов, демонстрируя отклонения на уровне 14.6% (S-50), 17.4% (M-100) и 18.5% (L-200) относительно наилучших известных решений. Базовый

алгоритм дифференциальной эволюции (DE) улучшил результаты GA, сократив разрывы по стоимости до 7.3, 9.4 и 10.4% соответственно. Тем не менее, оба базовых алгоритма показали заметно более высокую вариативность (значения  $\sigma$  превышали 500 у DE и 800 у GA), что свидетельствует о меньшей стабильности качества решений.

В отличие от этого основной предложенный гибридный подход, DE-GA-VNS, показал стабильно высокую производительность. Он произвел наименьшие общие затраты: 27 930 (S-50), 56 780 (M-100) и 110 820 (L-200), что делает его референтным лучшим решением ( $\Delta\%=0$ ). Кроме того, DE-GA-VNS продемонстрировал наименьшую вариативность решений, стандартное отклонение от 380 до 1.090 у.е., что подчеркивает его прочность и надежность на нескольких пробегах.

Наряду с DE-GA-VNS были протестированы два упрощенных гибридных варианта. Первая альтернатива, DE-GA-GD, заменила локальный поиск на основе VNS ранговым градиентным снижением, что привело к решению лишь незначительно худшего качества – более высокие затраты в среднем  $\approx 0.8\%$ . Он обеспечил умеренный прирост скорости вычислений: сокращение времени выполнения  $\approx 10\%$  по сравнению с VNS, хотя с незначительно повышенной вариативностью стандартное отклонение примерно на 25% выше.

Второй вариант, DE-GA-2-opt, использовал упрощенную и вычислительно эффективную эвристику 2-opt для локального поиска. Этот подход позволил достичь наиболее быстрых средних пробегов (примерно на 25% быстрее, чем DE-GA-VNS) за счет умеренного ухудшения качества раствора (больше стоимости  $\approx 1.4\%$ ) и повышенной вариативности (стандартное отклонение около 40%).

На рис. 1 и 2 показаны закономерности сходимости алгоритмов, которые наглядно демонстрируют преимущества DE-GA-VNS. На рис. 1 показана эволюция общих затрат за 50 поколений, демонстрирующая, что DE-GA-VNS последовательно сходится к решению с наименьшими затратами ранее в процессе поиска. На рис. 2 представлена дополнительная информация, включая доверительные интервалы (полосы стандартного отклонения), иллюстрируя более низкую вариативность решений DE-GA-VNS по сравнению с GD и альтернативами 2-opt и значительное улучшение по сравнению с базовыми методами.

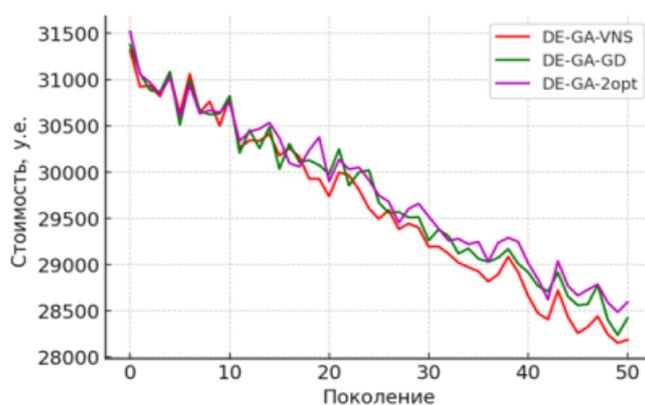


Рис. 1. Сходимость затрат для алгоритмов 50 поколений

*Стоимость перевозки поколений с применением 3 алгоритмов 1. Дифференциальная эволюция+Генетический алгоритм+ Поиск переменного соседства(красная линия), Дифференциальная эволюция+Генетический алгоритм+Градиентный спуск(зеленая линия), Дифференциальная эволюция+*

Генетический алгоритм+ 2opt(фиолетовая линия). Дифференциальная эволюция+Генетический алгоритм+ Локальный поиск (красная линия) является самым оптимальным, т.к. стоимость ниже остальных.

Статистическая валидация с помощью парных t-тестов дополнительно подтверждает наблюдаемые различия. Сравнение DE-GA-VNS с базисными методами (GA и DE) показало высокие достоверные различия,  $p < 0.01$  во всех случаях. Различия между DE-GA-VNS и упрощенными вариантами (GD и 2-opt) остались статистически значимыми ( $p \approx 0.02$  и  $p \approx 0.04$ , соответственно), хотя и с меньшими размерами эффектов.

С практической точки зрения выбор алгоритма зависит от контекста и должен руководствоваться системными приоритетами. DE-GA-VNS, характеризующийся наименьшей эксплуатационной стоимостью и наибольшей надежностью, рекомендуется для офлайн-планировок, где наиболее важны минимизация общей стоимости логистики, расхода топлива, выбросов и количества поездок. DE-GA-GD, благодаря своей вычислительной структуре, совместимой с ускорением GPU [11 – 15] и немного сокращенным временем работы, может эффективно применяться к маршрутизационным системам с непрерывно определяемыми или легко дифференцируемыми переменными ранжирования.

Наконец, DE-GA-2-opt, обладающий наиболее простой реализацией и наименьшим временем вычислений, особенно подходит для динамических перерасчетов маршрутов в режиме реального времени на мобильных или краевых вычислительных платформах, где скорость вычислений критична, а незначительные компромиссы в стоимости приемлемы (рис.3).

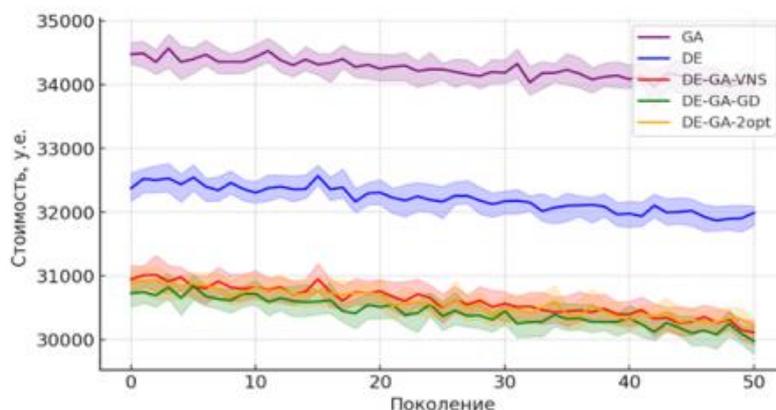


Рис.2. Кривые стоимости решений для всех алгоритмов и всех трёх размеров задач

На графике рис .2 показан сравнительный анализ применения таких алгоритмов как: генетический алгоритм(фиолетовая линия), Дифференциальная эволюция(синяя линия), Дифференциальная эволюция+Генетический алгоритм+ Поиск переменного соседства(красная линия), дифференциальная эволюция+ Генетический алгоритм+ 2opt(желтая Линия), Дифференциальная эволюция+Генетический алгоритм+Градиентный спуск(зеленая линия). Самым оптимальным решением является применение алгоритма Дифференциальная эволюция+Генетический алгоритм+Градиентный спуск(зеленая линия), так как стоимость затрат на перевозку меньше, чем при применении других алгоритмов.

На графике рис.3 приведено применение трех алгоритмов для решения задач в транспортной логистике. Дифференциальная эволюция (синяя линия), Генетический алгоритм (фиолетовая линия) и Поиск переменного соседства

(красная линия). Самым оптимальным является Поиск переменного соседства (красная линия), так как затраты на перевозку являются минимальными.

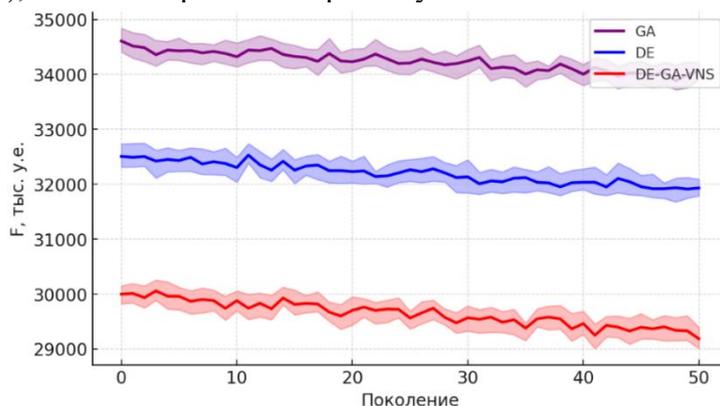


Рис.3. Сходимость стоимости  $\pm$  стандартное отклонение (укрупненный вариант)

Экспериментальный анализ подтверждает, что предложенный гибридный эволюционный алгоритм DE-GA-VNS позволяет добиться значительной экономии средств (на 8–12% по сравнению с базовым GA и на 5–9% по сравнению с базовым DE) при обеспечении высокой стабильности и экологической устойчивости. Сокращение общего пробега и количества поездок транспортных средств напрямую способствует снижению расхода топлива и выбросов, что соответствует современным целям устойчивого планирования перевозок (как определено уравнениями затрат (2) – (4) и наблюдаемыми тенденциями сходимости на рис. 1,2).

В данной статье представлен гибридный эволюционный алгоритм маршрутизации сельскохозяйственных транспортных средств с ограничениями вместимости, времени-окна и нагрузки LIFO, минимизирующий комплексные затраты  $F$  ( $\pi$ ) уравнений (2) – (4). Анализ рис. 1,2 показывает, что DE-GA-VNS достигаются наименьшие затраты и наибольшая стабильность при S-50, M-100 и L-200. Снижение затрат достигает 8 – 12% по сравнению с GA и 5 – 9% по сравнению с DE, без нарушения сроков. Выгоды получают от сокращения общего расстояния и улучшения консолидации нагрузки, что снижает количество поездок, использования топлива и выбросов.

Два упрощенных локально-поисковых гибрида количественно определяют компромиссы. DE-GA-GD – снижение ранга с проекцией примерно на 0.8% хуже, чем VNS в среднем, и на ~10% быстрее, но более вариабельно. DE-GA-2opt обеспечивает наиболее быструю конвергенцию, ~25% быстрее, чем VNS при ~1.3–1.4% более высоких затратах и наибольшей дисперсии. Парные t-тесты показывают  $p < 0.01$  против GA/DE и  $p \approx 0.02/0.04$  против GD/2-opt. По сравнению с распространенными двухкомпонентными гибридами эта схема добавляет сменные варианты LS, вызванные стагнацией и обновлениями  $\mu$  и CR, управляемыми SaDE, которые вместе поддерживают прогресс без потери осуществимости.

Мы применяем операторы DE в реально закодированном случайном ключевом представлении и расшифровываем (по сортировке) их для действительных перестановок с шагом восстановления возможностей. GA сохраняет эффективные подмаршруты, а VNS выполняет интенсивную локальную доработку. Хотя локальный поиск увеличивает производительность на поколение, обычно требуется меньше поколений, поэтому время стен-часов остается конкурентным или лучше. На практике: выбрать DE-GA-VNS для офлайн-планирования с максимальными затратами и выгодами от устойчивости; DE-GA-

2-opt для реоптимизации в реальном времени с минимальной задержкой; DE-GA-GD, когда выгодно ранговое кодирование или ускорение.

Эксперименты используют статические примеры; тот же код распространяется на обновления, основанные на движущемся горизонте или событиях, и на многоцелевые формулировки, которые взвешивают выбросы вместе со стоимостью. Минимизация  $F(\pi)$  уже сокращает расстояние, поездки и топливо, укрепляя экологические преимущества, видимые на рис. 1,2.

**Заключение.** Вычислительные эксперименты показывают последовательное снижение затрат: 8–12% по сравнению с GA и 5–9% по сравнению с DE в случаях до 200 заказов, без нарушения сроков и низкой дисперсии выполнения за выполнением. Полный вариант DE-GA-VNS дает наименьшие затраты и стабильность; DE-GA-2-opt  $\approx 25\%$  быстрее с  $\leq 1.5\%$  - ной потерей стоимости; DE-GA-GD на  $\approx 10\%$  быстрее с потерями  $\approx 0.8\%$ . Снижение затрат происходит за счет сокращения общего расстояния и улучшения консолидации груза, что также снижает количество поездок, расход топлива и выбросов, поддерживая экологически устойчивое транспортное планирование.

Алгоритм масштабировался до более крупных экземпляров без увеличения времени выполнения, что указывает на практичность интеграции в системы транспортного планирования. В целом, предложенный гибридный подход обеспечивает надежн, реализуем пут к экономически эффективному и устойчиво ориентированному транспортному проектированию в сельскохозяйственной логистике.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Sethanan K., Jamrus T. Hybrid Differential Evolution Algorithm and Genetic Operator for Multi-Trip Vehicle Routing Problem with Backhauls and Heterogeneous Fleet in the Beverage Logistics Industry. – *Computers & Industrial Engineering*: Vol. 147. 2020. P.106–640. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106571.
2. Alhijawi B., Awajan A. Genetic Algorithms: Theory, Genetic Operators, Solutions, and Applications (2011–2021). – *Evolutionary Intelligence*. Vol. 3. 2024.
3. Benavent E., Landete M., Mota E., Tirado G. The multiple vehicle pickup and delivery problem with LIFO constraints // *European Journal of Operational Research*. Vol. 243. 2015. №3. P.752–762. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.12.029.
4. Sadati M.E.H., Çatay B. A hybrid variable neighborhood search approach for the multi-depot green vehicle routing problem // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. Vol. 149. 2021. P.102–293.
5. Dib O., Moalic L., Manier M.A., Caminada A. An advanced GA–VNS combination for multicriteria route planning in public transit networks // *Expert Systems with Applications*. Vol. 72. 2017. P.67–82. DOI: 10.1016/j.eswa.2016.12.009.
6. Cao E., Lai M., Nie K. A differential evolution & genetic algorithm for vehicle-routing problem with simultaneous delivery and pick-up and time windows // *Proc. 17th IFAC World Congress, Seoul, Korea, Jul. 6–11, 2008*. P. 10576–10581. DOI: 10.3182/20080706-5-KR-1001.01791.
7. Gehring H., Homberger J. A parallel two-phase metaheuristic for routing problems with time windows // *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol. 18. 2001. №1. P.35–47.

8. Sulyukova L.F., Akhmedjanova Z.I. Improvement of the information system of cargo transportation routing management // E3S Web of Conferences. Vol. 401. 2023. P.05011. DOI: 10.1051/e3sconf/202340105011.
9. Pollaris H., Braekers K., Caris A., Janssens G.K., Limbourg S. Vehicle routing problems with loading constraints: State-of-the-art and future directions. – OR Spectrum. Vol. 37. 2015. №2. P. 297–330.
10. Talbi E.G. Metaheuristics: From Design to Implementation. Hoboken, NJ: Wiley, 2009. –624p.
11. Alzubi Q.M., Anbar M., Sanjalawe Y., Al-Betar M.A., Abdullah R. Intrusion detection system based on hybridizing a modified binary grey wolf optimization and particle swarm optimization // Expert Systems with Applications, Vol. 204. 2022. P. 117597. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.117597.
12. Cordeau J.-F., Laporte G., Savelsbergh M.W.P., Vigo D. Vehicle Routing // Handbooks in Operations Research and Management Science. Vol. 14 / Eds. C. Barnhart, G. Laporte. Amsterdam: Elsevier, 2007. P.367–428.
13. Eiben A.E., Smith J.E. Introduction to Evolutionary Computing. Berlin: Springer, 2003. –300p.
14. Bowersox D.J., Closs D.J., Cooper M.B. Supply Chain Logistics Management. New York: McGraw-Hill, 2013. 484 p.
15. Sripriya J., Ramalingam A., Rajeswari K. A hybrid Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows // Proc. 2015 Int. Conf. Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), Coimbatore, India, Mar. 19–20. 2015. P.1–4. DOI: 10.1109/ICIIECS.2015.7193072.

Научно-исследовательский институт развития  
цифровых технологий и искусственного интеллекта  
при Министерстве цифровых технологий

Дата поступления  
15.10.2025

УЎК 616.831-006:004.4

**А.Х. НИШАНОВ, С.Х. САПАРОВ, О.Б. РЎЗИБАЕВ**

## **БОШ МИЯ САРАТОНИ КАСАЛЛИГИНИНГ КЛИНИК БЕЛГИЛАРИ АХБОРОТ ЎЛЧОВИ АСОСИДА ЯРИМ СИНТЕТИК ЎҚУВ ТАНЛАНМА ЯРАТИШ АЛГОРИТМИ**

Мақолада бош мия саратони касаллигини эрта ташхислаш учун мутахассислар томонидан шакллантирилган ўқув танланма объектларининг белгилари ахборот ўлчовига асосланган ҳолда танланма объектлари сонини синтетик кўпайтириш алгоритми ишлаб чиқилган. Танланма объектларини сонини оширишда фойдаланилаётган мантикий эвристик ғоя синф объектларининг белгилар кесимида ахборот ўлчови катталиги баҳоларини белгиловчи эвристик мезон асосида қурилади. Эвристик ғоянинг моҳияти шундан иборатки, бунда синф объектлари уларнинг ташкил этувчи муҳим белгилар мажмуаларига нисбатан алоҳида шакллантирилади. Шундай қилиб, ушбу тадқиқот бош мия саратонини эрта ташхислаш учун мавжуд ўқув танланмани нормаллаштиришга мўлжалланган, эвристик ғояларни ўзида мужассамлаштирган синтетик объектларни шакллантириш алгоритми ишлаб чиқилган.

**Калит сўзлар:** мия саратони, эрта ташхис, сунъий интеллект, синтетик ўқув маълумотлар тўплами, ахборотнинг аҳамияти, машинани ўрганиш, nominal белгилар, таснифлаш, ахборотнинг ўлчови.

**Алгоритм создания полусинтетической обучающей выборки на основе информационного измерения клинических признаков рака черепа**

В статье разработан алгоритм синтетического умножения количества объектов выборки на основе информационной меры признаков объектов образовательной выборки, формируемой специалистами для ранней диагностики рака головного мозга. Логическая эвристическая идея, используемая при увеличении числа объектов выборки, построена на основе эвристического критерия, который определяет оценки величины измерения информации в знаковом сечении объектов класса. Суть эвристической идеи заключается в том, что объекты класса формируются отдельно по отношению к комплексам важных признаков, из которых они состоят. Таким образом, в данном исследовании был разработан алгоритм формирования синтетических объектов, воплощающих эвристические идеи, призванный нормализовать существующий образовательный отбор для ранней диагностики рака головного мозга.

**Ключевые слова:** рак головного мозга, ранняя диагностика, искусственный интеллект, синтетический обучающий набор данных, информационная значимость, машинное обучение, номинальные признаки, классификация, мера информации.

**A.Kh. Nishanov, S.H. Saparov, O.B. Ruzibaev**

**An Algorithm for Generating Semi-Synthetic Training Dataset Using Information-Theoretic Analysis of Clinical Symptoms in Brain Cancer**

In the article, an algorithm was developed to synthetically increase the number of training dataset objects based on the information measure of features in training samples, which were formed by experts for the early diagnosis of brain cancer. The logical heuristic approach used to expand the sample size is based on a heuristic criterion that evaluates the amount of information contained in the feature dimensions of class objects. The core idea of this heuristic is that class objects are individually generated with respect to sets of significant features that define them. Thus, this study presents an algorithm for generating synthetic objects that incorporates heuristic principles and is designed to normalize the training dataset for early diagnosis of brain cancer.

**Keywords:** brain cancer, early diagnosis, artificial intelligence, Synthetic dataset, data importance, machine learning, nominal data set, classification, information measurement.

**Кириш.** Мия саратони каби оғир хасталикларни эрта босқичда аниқлаш тиббиётнинг долзарб муаммоларидан бири ҳисобланади. Ташхис жараёнида клиник ва тасвирий маълумотлардаги белгиларнинг ахборий муҳимлигини аниқлаш, интеллектуал ташхис моделларининг аниқлигини ва ишончлилигини таъминлашда ҳал қилувчи аҳамиятга эга.

Белгиларнинг ахборий муҳимлигини аниқлаш мақсадида ахборот назарияси ва статистик моделлаштириш усуллари қўлланилади. Бу усуллар маълумотлардаги ҳар бир белги модель учун қандай аҳамиятга эга эканини баҳолаш имконини беради.

Ўзаро ахборот - белгилар ва мақсадли кўрсаткич ўртасидаги боғлиқликни ўлчовчи метод ҳисобланади. Агар белги ва натижа ўртасидаги боғлиқлик юқори бўлса, у ҳолда ушбу белги ахборий жиҳатдан муҳим деб баҳоланади.

Ахборий муҳимлик - маълумотлар тўпламидаги ҳар бир белги (объект) моделни таснифлашда қанчалик фойда бераётганини аниқлаш усулидир. Шундай қилиб, бош миядаги шишларни эрта аниқлаш ва прогноз қилишда, фақат клиник ёки тасвирий маълумотларни йиғиш эмас, улар орасида ахборий жиҳатдан энг муҳим белгиларни саралаш ва моделга интеграция қилиш жараёни ҳал қилувчи роль ўйнайди. Бу эса, сунъий интеллект асосидаги интеллектуал ташхис тизимларининг самарадорлигини оширишда муҳим пойдевор ҳисобланади.

Илғор компьютерлаштирилган технологияларнинг интегратсиялашуви скрининг жараёнини яхшиланишига ва натижанинг ошишига олиб келди. Бироқ, сунъий интеллектга асосланган илғор усуллар катта ўқув танланма

маълумотларини талаб қилади, бу эса тиббиёт соҳасидаги муаммолардан биридир. Сунъий интеллект соҳасидаги олимлар сезиларли миқдордаги юқори сифатли тиббий маълумотларнинг етишмаслиги сабабли ўзларининг чуқур ўқитишга асосланган автоматлаштирилган тузилмаларини юқори аниқлик билан баҳолашда қийинчиликларга дуч келмоқдалар. Шу сабабли тиббиёт соҳасидаги мавжуд ўқув танланмалар асносида янги синтетик ўқув танланма яратиш юқоридаги муаммонинг ечими сифатида қараб келинмоқда.

Мазкур тақдирот ишида фойдаланилган ўқув танланма 4 та синфга жаратилган бўлиб умумий объектлар сони 218 тани ташкил этади. Баъзи синфларга тегишли объектларнинг сон жиҳатдан камлиги таниб олиш ишончилигини камайтиради. Шу сабабли бош мия саратони касаллигини эрта ташхислаш учун мутахассислар томонидан шакллантирилган ўқув танланма объектларининг белгилари ахборот ўлчовига асосланган мантикий, эвристик ғояларга асосланган ҳолда танланма объектлари сонини синтетик кўпайтириш алгоритми ишлаб чиқиш зарурати юзага келди.

**Адабиётлар шархи.** Бош мия саратони таснифи учун мия гистопатологик тасвирлари каби маълумотларини кенгайтиришга оид бир қанча тадқиқотлар мавжуд. Жумладан, Реҳман ва бошқалар [1] чуқур конволутсион генератив қарама-қарши тармоқлар (ДСГАН) асосида бош мия гистопатологик тасвирларини кўпайтириш моделини ишлаб чиқишди. Шунингдек, Прадҳан ва Кумар [2] бош мия саратонини аниқлаш учун трансфер ўқув моделлари самарадорлигини ошириш мақсадида реал вақт режимида тасвирлар кенгайтиришни амалга оширдилар. Бундан ташқари, Лиу ва ҳамкасблари [3] чуқур ўқитиш техникаларидан фойдаланиб, бош мия гистопатологик тасвирларини синфлаштириш учун самарали таснифлаш усулини таклиф қилдилар.

Аммо мавжуд адабиётларда бош мия саратони морфологиясини акс эттирувчи номинал фазодаги жадвал кўринишидаги маълумотларни синтетик тарзда кенгайтиришга оид тадқиқотлар жуда кам учрайди. Бундан ташқари, фақат номинал фазода берилган жадвал маълумотлари учун мўлжалланган чуқур ўқитиш архитектураларининг бош мия саратонини аниқлашдаги самарадорлиги етарлича ўрганилмаган [4]. Чуқур ўқитиш алгоритмларининг самарадорлиги, айниқса, сифатли ва етарли ҳажмдаги ўқув маълумотларига боғлиқ бўлганлиги сабабли, саратон ташхислаш ва прогнозлаш соҳасида сунъий интеллект ечимларини татбиқ қилиш учун муҳимдир [5]. Шу сабабли, ушбу тадқиқотда бош мия саратонига оид номинал фазодаги жадвал маълумотларини самарали синтетик яратиш учун машинали ўқитиш алгоритми таклиф этилади. Шунингдек, хавfli ва хавфсиз ёки қайталанувчи ва қайталанмайдиган бош мия саратонининг ишончли ва аниқ таснифини таъминлаш мақсадида алгоритм самарадорлиги бошқа замонавий машинали ўқитиш усуллари билан солиштирилади.

**Масаланинг қўйилиши.** Фараз қилайлик,  $N$  – ўлчовли номинал белгилар фазосида бош мия саратони касаллигининг ўқув танланмаси  $x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pm_p} \in X_p, p = \overline{1, r}$  берилган бўлсин. Ўқув танланмадаги ҳар бир объект  $x_{pi} = (x_{pi}^1, x_{pi}^2, \dots, x_{pi}^N)$ ,  $i = \overline{1, m_p}$  беморлар  $N$  – ўлчовли номинал белгилар фазосида берилган. Бу ерда  $x_{pi}, p$ -синфнинг  $i$ -объекти деб ўқилади;  $N$ -объектларни ташкил этувчи белгилар сонини билдирса;  $m_p$  –  $p$  синфдаги объектлар сонини билдиради. Демак,  $x_{pi} = (x_{pi}^1, x_{pi}^2, \dots, x_{pi}^N)$  беморлари  $p$ -синфдаги  $i (i = \overline{1, m_p})$  – объектларни ташкил этади [6–9].

**Масала.** Берилган  $N$  - ўлчовли номинал белгилар фазосидаги  $x_i \in X, i = \overline{1, M}$  умумий танланмадан фойдаланган ҳолда ҳар бир синфга янги  $K$  та объект

қўшиладиган синтетик ўқув танланмаларни шакллантириш талаб этилсин. Бунда  $x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pm_p} \in X_p, p = \overline{1, r}$  синфлари объектларининг белгилари ахборот ўлчови катталиги олдиндан аниқланган  $\delta$  сонидан кам бўлмаслиги талаб этилади. Бу ерда  $X_p$  синф  $m_p$  та  $x_{p1}, \dots, x_{pm_p}$  объектлардан ташкил топган  $X = \bigcup_{p=1}^r X_p$  бўлади.

Номинал белгилар фазосида объектларининг белгилари ахборот ўлчовини кўрсатувчи катталик  $\rho^j(x_{pi}, x_{pq})$  орқали белгиланиб, формула асосида ҳисоблансин, яъни

$$\rho_{pi}^j(x_{pi}, x_{pq}) = \begin{cases} 1, & \text{агар } (x_{pi}^j - x_{pq}^j) = 0; \\ 0, & \text{акс ҳолда,} \end{cases} \quad (1)$$

бунда  $p = \overline{1, r}; i \neq q = \overline{1, m_p}; j = \overline{1, N}$ .

Ифодаланган (1) катталик векторнинг параметрлари бўлиб, у қуйидаги  $\rho_{pi}(x_{pi}, x_{pq}) = (\rho_{pi}^1(x_{pi}, x_{pq}), \rho_{pi}^2(x_{pi}, x_{pq}), \dots, \rho_{pi}^N(x_{pi}, x_{pq}))$  кўринишда ифодаланади.

Демак,  $p$  синфдаги ихтиёрий иккита  $x_{pi}$  ва  $x_{pq}$  объектлар учун бул векторлар фазосида  $\rho_{pi}(x_{pi}, x_{pq}) = (\rho_{pi}^1(x_{pi}, x_{pq}), \rho_{pi}^2(x_{pi}, x_{pq}), \dots, \rho_{pi}^N(x_{pi}, x_{pq}))$  бул векторига эга бўлинади. Бу векторнинг компоненталари қаралаётган белги кесимида иккита объектларининг муҳим белгилари ахборот ўлчовини билдиради. Агар  $\rho_{pi}^j(x_{pi}, x_{pq}) = 1$  бўлса, у ҳолда  $x_{pi}$  ва  $x_{pq}$  объектлар  $j$  белги ҳисоблаш ишларида иштирок этади, акс ҳолда яъни  $\rho_{pi}^j(x_{pi}, x_{pq}) = 0$  бўлса, у ҳолда шу  $j$  белги ҳисоблаш ишларида иштирок этмаслигини билдиради [10-11].

Юқорида келтирилган синтетик ўқув танланма яратиш масаласини ечишнинг қуйидаги босқичларини келтириб ўтамыз:

1. Дастлаб, ўқув танланма  $x_i \in X, i = \overline{1, M}$ , объектлари  $p$  та синфга ажратилади. Яъни, РСМ дастури асосида  $x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pm_p} \in X_p, p = \overline{1, r}$  синфларга ажратилади;

2. Юқорида келтирилган (1) формулалар асосида барча  $p = \overline{1, r}; i \neq q = \overline{1, m_p}; j = \overline{1, N}$ ; лар учун  $\rho_{pi}(x_{pi}, x_{pq})$  векторнинг барча параметрлари ҳисобланади. Яъни  $\rho_{pi}(x_{pi}, x_{pq}) = (\rho_{pi}^1(x_{pi}, x_{pq}), \rho_{pi}^2(x_{pi}, x_{pq}), \dots, \rho_{pi}^N(x_{pi}, x_{pq}))$  вектор белгилари  $p = \overline{1, r}; i \neq q = \overline{1, m_p}; j = \overline{1, N}$ ; лар учун олдиндан ҳисобланади;

3. Ихтиёрий  $p$  –синфдаги  $i$  – объектни, шу синфдаги  $m_p - 1$  та объектлар мажмуасидаги муҳим белгилар ахборот ўлчови қуйидагича баҳоланади ва уни олдиндан қуйидаги формула асосида ҳисобланади:

$$\Gamma_{pi}(x_{pi}, X_p) = \frac{1}{m_p - 1} \sum_{q=1}^{m_p-1} \sum_{j=1}^N \rho_{pi}^j(x_{pi}, x_{pq}), p = \overline{1, r}; i = \overline{1, m_p}; i \neq q.$$

4. Шунингдек, ихтиёрий  $p$  –синфдаги объектларининг ўртача ахборот ўлчови фоизда қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$\Gamma_p(X_p) = \frac{1}{m_p} \sum_{i=1}^{m_p} \Gamma_{pi}(x_{pi}, X_p) * 100\%, p = \overline{1, r}; i = \overline{1, m_p};$$

5. Янги  $\bar{x}$  объекти  $X_p, p = \overline{1, r}$  синфлари учун синтетик яратилганида ушбу синфдаги объектларнинг ўртача ахборот ўлчови катталиги  $\Gamma_p(X_p)$  нинг кўтарилишини таъминлаган муҳим белгилари ахборот ўлчови сақланган ҳолда яратилган объектлар ушбу синфга қўшилади.

6. Агарда  $p$ – синфда объектлар сони  $m_p = 1$  бўлса, у ҳолса синтетик объект

яратилаётганда синфдаги объектнинг бошқа синфлар объектларидан ажралиб турадиган белгилари ахборот ўлчови сақланган ҳолда яратилади. Бунда  $\Gamma_p(X_p) > 65\%$  қаноатлантириш талаб этилади.

Ушбу ҳисоблашлар барча  $\bar{x}_{pi}, p = \overline{1, r}; i = \overline{1, K}$ ; синтетик ўқув танланма объектлари учун бажарилади ва ҳосил бўлган янги  $x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pt_p} \in X_p, p = \overline{1, r}$  синфлар ярим синтетик ўқув танланмани беради.

**Синфлаштирилган ўқув танланма.** Ушбу тадқиқотда фойдаланилган бош мия саратон касаллиги билан касалланган беморларнинг касаллик варақаларинг умумий сони 754 та бўлиб, онкология ва радиология илмий-амалий тиббиёт маркази шифокорлари билан ҳамҳорликда касаллик варақаларини ўрганиб чиқиш натижасида яроқли касаллик варақалари сони 218 тани ташкил қилди. Республика ихтисослаштирилган онкология ва радиология илмий-амалий тиббиёт маркази Сурхондаруо филиали шифокорлари билан ҳамҳорликда ушбу касалликнинг 82 та симптомлари номланиши билан аниқлаб олинди.

Мия саратони белгилари ўсманнинг жойлашиши, ҳажми ва турига қараб фарк қилиши мумкин. Баъзи умумий симптомларга қуйидагилар киради:

1. Бош оғриғи. Вақт ўтиши билан кучайиши мумкин бўлган доимий ёки кучли бош оғриғи;

2. Судурги. Тутилишга олиб келиши мумкин бўлган мияда тўсатдан, назоратсиз электр бузилишлари;

3. Когнитив ва хотира муаммолари. Диққатни жамлашда қийинчилик, хотирани йўқотиш, чалкашлик ва фикрлаш ёки муаммони ҳал қилиш қобилиятидаги ўзгаришлар;

4. Шахсият ёки кайфият ўзгариши. Асабийлашиш, кайфиятнинг ўзгариши, депрессия ёки шахсиятнинг ўзгариши;

5. Кўриш ёки ешитиш муаммолари. Лойқа кўриш, икки томонлама кўриш, кўришнинг қисман ёки тўлиқ йўқолиши ёки эшитишдаги қийинчиликлар;

6. Қўл ва оёқ ҳаракатлари билан боғлиқ муаммолар. Оёқ-қўлларда заифлик, ҳаракатдаги қийинчиликлар ёки мувозанат ва юриш билан боғлиқ муаммолар;

7. Кўнгил айнаши ва қусиш. Кўпинча бош оғриғи каби бошқа аломатлар билан бирга келади;

8. Чарчоқ: доимий чарчоқ ёки энергия етишмаслиги;

9. Нутқдаги қийинчиликлар. Нутқнинг бузилиши, сўзларни топишда қийинчилик ёки нутқни тушунишда муаммолар;

10. Иштаҳанинг ёки вазнининг ўзгариши. Иштаҳанинг йўқолиши ёки сабабсиз вазн йўқотиши ёки ортиши ва ҳакозолар.

Ушбу ўқув танланмада 218 та объект берилган бўлиб, унда белгилар сони 82 та ва синфлар сони 4 тадан иборат. 1-синфда объектлар сони 159 та, 2-синфда объектлар сони 29 та, 3-синфда объектлар сони 20 та, 4-синфда объектлар сони 10 та.

Ўқув танланманинг қисқа кўриниши 1-жадвалда ифодаланган.

1 – жадвал

Бош мия саратони касаллиги ўқув танланмасининг синфлаштирилиши

| № | Тури                      | $x^1$ | $x^2$ | $x^3$ | $x^4$ | $x^5$ | $x^6$ | $x^7$ | $x^8$ | $x^9$ | ... | $x^{74}$ | $x^{75}$ | $x^{76}$ | $x^{77}$ | $x^{78}$ | $x^{79}$ | $x^{80}$ | $x^{81}$ | $x^{82}$ |
|---|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2                         | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12  | 13       | 14       | 15       | 16       | 17       | 18       | 19       | 20       | 21       |
| 1 | Бош мия ўнг пешона соҳаси | 2     | 1     | 1     | 1     | 2     | 1     | 1     | 1     | 0     | ... | 0        | 1        | 1        | 10       | 1        | 3        | 2        | 1        | 2        |
|   |                           | 3     | 1     | 3     | 3     | 3     | 1     | 1     | 2     | 1     | ... | 1        | 4        | 2        | 8        | 2        | 2        | 3        | 2        | 2        |
|   |                           | 3     | 1     | 2     | 4     | 5     | 1     | 1     | 3     | 0     | ... | 1        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        | 3        | 2        | 1        |

|   |  |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|--|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   | анапластик<br>астросито-<br>маси                                 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4   | 1 | ... | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|   |  | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 3   | 0 | ... | 0 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
|   |  | 3 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 8   | 0 | ... | 0 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
|   |  | 2 | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 1 | 5   | 1 | ... | 1 | 5 | 2 | 6 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
|   |  | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 7   | 0 | ... | 0 | 1 | 1 | 7 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
|   |  | 2 | 1 | 4 | 2 | 5 | 1 | 1 | 2   | 0 | ... | 0 | 4 | 1 | 9 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
|   |  | 4 | 1 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 | 6   | 1 | ... | 0 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Бош мия-<br>нинг хиаз-<br>мал-хужай-<br>рали соҳаси<br>аденомаси | 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1   | 0 | ... | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
|   |  | 4 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2   | 0 | ... | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 8 |
|   |  | 4 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2   | 0 | ... | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
|   |  | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 1 | 0 | 2   | 0 | ... | 1 | 1 | 1 | 8 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 |
|   |  | 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3   | 1 | ... | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 |
|   |  | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 8   | 1 | ... | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
|   |  | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1   | 0 | ... | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
|   |  | 2 | 1 | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2   | 0 | ... | 1 | 1 | 1 | 9 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 |
|   |  | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2   | 0 | ... | 0 | 1 | 1 | 6 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 2 | 1  | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | 4 | 0 | ... | 1 | 1   | 1 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |   |   |
| 3 | Бош мия<br>ўнг пешо-<br>на соҳаси<br>глиобласт<br>омаси          | 4 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2   | 0 | ... | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
|   |  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2   | 0 | ... | 0 | 1 | 1 | 8 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 4 | Бош мия<br>ўнг пешо-<br>на соҳаси<br>менингио<br>маси            | 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2   | 0 | ... | 0 | 1 | 1 | 8 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
|   |  | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2   | 0 | ... | 0 | 1 | 1 | 8 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 |
|   |  | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2   | 0 | ... | 0 | 5 | 1 | 8 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 |
|   |  | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2   | 0 | ... | 0 | 1 | 1 | 8 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 |
|   |  | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 0 | 2   | 1 | ... | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 |

Жадвалнинг биринчи устунда касалликнинг 4-та синф номлари келтирилган бўлиб бош мия саратонини эрта ташхислашда катта ҳисса қўшади.

**Клиник белгилар ахборот ўлчовига асосланган синтетик ўкув танланма яратиш алгоритми.** Ушбу алгоритм номинал белгилар фазоси учун синтетик объектлар яратишда объектларнинг ўртача ахборот ўлчовини баҳолаш орқали янги кенгайтирилган датасетни яратишга қаратилган.

Алгоритм қуйидаги қадамлардан иборат.

**Биринчи қадам.** Умумий ўкув танланма объектлари маълумотлар базасига киритилади. Бошланғич маълумотлар базаси барча  $x_i \in X, i = \overline{1, M}$  объектлар кесимида шакллантирилади;

**Иккинчи қадам.** Маълумотларга дастлабки ишлов бериш жараёни амалга оширилади. Бунда маълумотларни тозалаш яъни тўпланган маълумотларда хатолар, йўқолган қийматлар, нусхалар, ёки ноаниқ маълумотлар бўлиши мумкин. Булар тўғриланади ва маълумотлар нормировка қилинади.

**Учинчи қадам.** Умумий ўкув танланма олдидан  $x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pm_p} \in X_p, p = \overline{1, r}$  синфларга ажратилади.

**Тўртинчи қадам.** Шакллантирилган ҳар бир синф учун объектларнинг ўртача ахборот ўлчови катталиги  $\Gamma_p(X_p), p = \overline{1, r}$  нинг қийматлари аниқланади.

**Бешинчи қадам.** Янги  $\bar{x}$  объекти  $X_p, p = \overline{1, r}$  синфлари учун ушбу синфдаги объектларнинг ўртача ахборот ўлчови катталиги  $\Gamma_p(X_p)$ нинг кўтарилишини таъминлаган муҳим белгилари сақланган ҳолда яратилади.

**Олтинчи қадам.** Агарда  $p$ - синфда объектлар сони  $m_p = 1$  бўлса, у ҳолса синтетик объект яратилганда синфдаги объектнинг бошқа синфлар объектларидан ажралиб турадиган белгилари сақланган ҳолда яратилади.

**Еттинчи қадам.** 5,6- қадамлар ҳар бир синфга  $K$  та янги синтетик объектлар қўшилгунича давом этади. Натижада гибрид объектлардан иборат синфлар пайдо бўлади.

Таклиф этилган назарий тадқиқотлар, алгоритм асосида юқорида баён этилган масала ечилади.

**Тажриба-синов натижалари.** Таржиба-синовларда умумий ўқув танланмадан объектлар сони 20 дан кичик синфлар ажратиб олиниб улар асосида синтетик объектлар яратилди.

Синфдаги объектларнинг ўртача ахборот ўлчовига асосланган синтетик ўқув танланма яратиш алгоритми асосида олинган натижалари куйидаги 2-жадвалда ўз аксини топган. Юқорида ифодаланган процедура асосида куйидаги 2-жадвал тўлдирилди.

Ушбу тажриба-синов натижалари синтетик ўқув танланма яратиш алгоритмининг самарадорлигини баҳолашга қаратилган бўлиб, турли синфларга тегишли объектларнинг сони, уларнинг ўртача ахборот ўлчови катталиги ва синтетик объектлар киритилгандан кейинги ўзгаришлар баён қилинган. 2-Жадвалдан кўриниб турибдики, синфлардаги реал объектлар сони ҳар хил бўлиб, улар орасида ўзаро ўхшашлик даражаси турлича. Синтетик объектлар киритилгандан сўнг эса бу ўхшашликлар мос равишда ошган.

2-жадвал

Синтетик ўқув танланма яратиш алгоритмининг таҳлилий натижалари( $K=200$ )

| Синфлар                           | 1-синф | 2-синф | 3-синф | 4-синф |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Объектлар сони                    | 159    | 29     | 20     | 10     |
| Объектларнинг ўртача ўхшашлиги, % | 64.60  | 56.94  | 64.44  | 68.37  |
| Синтетик объектлар сони           | 200    | 200    | 200    | 200    |
| Объектларнинг ўртача ўхшашлиги, % | 84.21  | 85.33  | 84.88  | 87.64  |
| Фарқи, %                          | 19.61  | 28.93  | 20.44  | 19.27  |
| Жами объектлар сони               | 359    | 229    | 220    | 210    |

Жадвалдаги маълумотлар шуни англатади-ки дастлаб синфларининг ўхшашлик даражалари ўртача **64** фоизни ташкил етган бўлса, синтетик ўқув танланма алгоритми бажарилгандан кейин синфларининг ўхшашлик даражалари ўртача **85** фоизга етган.

Ишлаб чиқилган алгоритмнинг ишончлилигини қиёсий баҳолаш учун яратилган ярим синтетик ўқув танланмани машхур машинали ўқитиш усуллари орқали синфлаштириш ўтказилди. Ҳар бир синфни 3 хил усул билан таниб олиш даражалари 3-жадвалда батафсил кўрсатилган.

3-жадвал

Таниб олиш даражалари

| №               | Decision Tree (Precision) | KNN (Precision) | Таклиф этилаётган алгоритм (Precision) |
|-----------------|---------------------------|-----------------|--|
| 1-синф          | 95%                       | 96%             | 100%                                   |
| 2-синф          | 92%                       | 95%             | 85%                                    |
| 3-синф          | 95%                       | 98%             | 100%                                   |
| 4-синф          | 94%                       | 98%             | 94%                                    |
| <b>Ассурасй</b> | <b>94.1%</b>              | <b>96.7%</b>    | <b>94.4%</b>                           |

Тажриба-синов натижалардан ишлаб чиқилган синтетик ўқув танланма яратиш алгоритми орқали олинган ўқув танланманинг ишончилилик юқори эканлигини аниқланди.

**Хулоса.** Бош мия саратони инсоният учун долзарб ва мураккаб муаммолардан бири бўлиб қолмоқда. Ушбу касаллик инсонлар ҳаётига жиддий хавф солиб, ижтимоий-иқтисодий ривожланишни секинлаштирувчи омиллардан биридир. Замонавий технологиялар, хусусан сунъий интеллект технологияларини тиббиётга интеграллаштириш қилиш орқали бош мия саратонини ташхислаш ва прогнозлаш жараёнларини янада самарали қилиш мумкин. Айниқса, тадқиқотлар учун мавжуд бўлган маълумотларнинг чекланганлиги юқори сифатли сунъий интеллект моделларини ишлаб чиқиш учун муаммо бўлмаслиги зарур. Мазкур тадқиқотда бош мия саратони учун номинал фазодаги жадвал шаклидаги маълумотларни синтетик равишда кенгайтириш учун алгоритм таклиф этилади.

Таклиф этилаётган алгоритм бош мия саратони бўйича юқори сифатли синтетик маълумотларни яратишда самарали натижаларни кўрсатади ва бу маълумотлардан фойдаланган ҳолда бош мия саратонини эрта аниқлаш ва аниқлиги юқори бўлган башоратлаш моделларини ишлаб чиқишга имкон яратади. Тадқиқот натижалари, соғлиқни сақлаш соҳасидаги маълумотлар етишмовчилиги муаммосини ҳал қилиш билан бир қаторда, ҳақиқий беморларнинг шахсий маълумотларини ҳимоялаш учун синтетик маълумотлардан фойдаланиш орқали самарали ечим сифатида қаралмоқда.

Хулоса қилиб айтганда, мазкур тадқиқотда тақдим этилган алгоритм бош мия саратонига оид объектлар белгиларининг ахборот ўлчови асосида баҳолаб, кластерлаш ва синфлаштириш жараёнларини оптималлаштириш имконини яратади.

#### ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Rehman A., Naz S., Razzak M.I., & Akram F. Deep Convolutional Generative Adversarial Networks for histopathological image augmentation in brain cancer diagnosis // *Neurocomputing*. 2020. №410. P.379 – 390.
2. Pradhan S., & Kumar A. Real-time image augmentation with transfer learning for improved brain tumor classification // *Biomedical Signal Processing and Control*. 2021. №63. P.102–193.
3. Liu Y., Yang C., Sun Q., Wang D., & Wang F. A deep learning-based classification framework for brain tumor histopathological imaGES. *IEEE Access*, 2019. №7. P.105229 – 105240.
4. Khan M. A., Ashraf I., Alhaisoni M., Damaševičius R., Scherer R., & Rehman A. Multimodal brain tumor classification using deep learning and robust feature selection // *A machine learning application for early diagnosis. Journal of Personalized Medicine*, 2020. №10(4). P.206.
5. Tandel G. S., Biswas M., Kakde O. G., Tiwari A., Suri H. S., Turk M., & Madhusudhan B. K. A review on a deep learning perspective in brain cancer classification // *Cancers*, 2019. №11(1). P.111.
6. Nishanov A., Ruzibaev O., Tran N. Modification of decision rules 'ball Apollonia' the problem of classification // *International Conference on Information Science and Communications Technologies, ICISCT 2016*, doi: 10.1109/ICISCT.2016.7777382.
7. Nishanov A., Saidrasulov Sh., Babadjanov E. Analysis of Methodology Of Rating Evaluation Of Digital Economy And E-Government Development In

- Uzbekistan // International Journal Of Early Childhood Special Education, Vol.14. Issue: 2022. №2. P. 2447 – 2452. doi: 10.9756/INT-JECSE/ V14I2.230.
8. Nishanov A., Ruzibaev O., Chedjou J. C., Kyamakya K., Abhiram, Kolli, De Silva, Djurayev G., Khasanova M. Algorithm for the selection of informative symptoms in the classification of medical data // Developments Of Artificial Intelligence Technologies In Computation And Robotics, Vol.12. 2020. P. 647 – 658. doi:[10.1142/9789811223334\\_0078](https://doi.org/10.1142/9789811223334_0078).
  9. Nishanov A.Kh., Turakulov A.Kh., Turakhanov Kh.V. Reshaiushchee pravilo dlia klassifikatsii patologii zritel'noi sistemy [A decisive rule in classifying diseases of the visual system] // Med Tekh. 1999. Jul-Aug. (4). P.16 – 8. Russian. PMID: 10464756.
  10. Nishanov A., Akbarova M., Tursunov A., Ollamberganov F., & Rashidova D. Clustering algorithm based on object similarity // Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. 2024. №123(3). P.108–120. <https://doi.org/10.26577/JMMCS2024-v123-i3-4>.
  11. Nishanov A., Tursunov A., Ollamberganov F., & Rashidova D. Algorithm for clustering different types of drugs affecting blood pressure // Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. 2025. 125(1).

Муҳаммад ал-хоразмий номидаги  
Тошкент ахборот технологиялари  
университети

18.04.2025 й.  
қабул қилинган

## СОДЕРЖАНИЕ

### Информатика и управление

|  |    |
|--|----|
| А.А.Орлов, С.С.Садыков, И.Р.Самандаров. Применение преобразования Хоха для выделения структурных элементов полутоновых изображений.....                              | 3  |
| Б.О.Онорбоев, М.Б.Азимов. Моделирование и оптимальное управление горизонтальным движением четырехколесного трактора на спуске..                                      | 13 |
| О.Р. Юсупов. Настройка параметров алгоритмической композиции паншарпенинга, базирующейся на статической маршрутизации, на основе многокритериальной оптимизации..... | 24 |
| М.М.Фозилова, Д.Н.Учкунова. Оптимизация процессов обмена информацией и алгоритм координационного управления для корпоративных налоговых систем.....                  | 39 |
| С.Н. Джумаев. Определение и оценка параметров технологической системы механической обработки.....  | 44 |

### Энергетика

|   |    |
|---|----|
| Б.С.Расаходжаев, Ж.З.Ахадов, О.А.Рихсибоев, У.З Ахмаджонов, Ж.Ж. Шоимов, А.Р. Хамдамов, М.И. Шоергашев, Д.Р. Машрабов. Результаты экспериментальные исследований систем энергоснабжения солнечных теплиц с автономными энергокомплексами..... | 54 |
| Ш.В.Хамидов, Р.М.Танирбергенов, Б.Р.Нормурадов. Применение накопителей энергии для повышения надежности энергосистемы Узбекистана.....  | 61 |
| Н.Н. Садуллаев, Ш.Н. Нематов. Усовершенствование системы субсидирования населения для потребления электроэнергии внедрением механизма стимулирования за использование «зеленой» энергии населением.....                                       | 67 |
| У.Т.Бердиев, М.Н.Туйчиева, Х.Ф.Нажмиддинов, Н.Т.Абдурахманов. Исследования технического состояния тягового подвижного состава.....  | 73 |

### Информационные и телекоммуникационные технологии

|   |    |
|---|----|
| З.И. Ахмеджанова. Применение эволюционного гибридного поиска в информационной системе транспортной логистики.....   | 80 |
| А.Х. Нишанов, С.Х. Сапаров, О.Б. Рузибаев. Алгоритм создания полусинтетической обучающей выборки на основе информационного измерения клинических признаков рака черепа..... | 90 |

## МУНДАРИЖА

### Информатика ва бошқарув

|   |    |
|---|----|
| A. A. Orlov, S. S. Sodiqov, I. R. Samandarov. Yarim tonli tasvirlarning tarkibiy elementlarini ajratib ko'rsatish uchun Xoxa transformatsiyasini qo'llash.....  | 3  |
| B. O. Onorboyev, M. B. Azimov. To'rt g'ildirakli traktorni pastlikga tushishidagi gorizontaal harakatini modellashtirish va optimal boshqarish.....             | 13 |
| O. R. Yusupov. Statik yo'naltirishga asoslangan pansharpening algoritmik kompozitsiyasining parametrlarini ko'p mezonli optimallashtirish asosida sozlash.....  | 24 |
| M. M. Fozilova, D. N. Uchqunova. Korporativ soliq tizimlari uchun axborot almashinuvi jarayonlarini optimallashtirish va koordinatsion boshqaruv algoritmi..... | 39 |
| S. N. Dumayev. Mexanik ishlov berish texnologik tizimining parametrlarini aniqlash va baholash.....   | 44 |

### Энергетика

|  |    |
|--|----|
| Б.С.Расаходжаев, Ж.З.Ахадов, О.А.Рихсибоев,<br>У.З.Ахмаджонов, Ж.Ж.Шоимов, А.Р.Ҳамдамов,<br>М.И.Шоергашев, Д.Р.Махрабов. Автоном энергия<br>комплексларига эга қуёшли иссиқхоналар учун энергия таъминоти<br>tizimlarining tajriba natijalari..... | 54 |
| Ш.В.Ҳамидов, Р.М.Танирбергенов, Б.Р.Нормурадов. Ўзбекистон<br>энергия тизимининг ишончлилигини ошириш мақсадида энергия<br>tўплагичларидан фойдаланиш.....   | 61 |
| Н.Н. Садуллаев, Ш.Н. Нематов. Аҳолига электр энергияси истемоли<br>учун жорий этилган субсидия тизимини “яшил” энергиядан фойдала-<br>нишни рағбатлантириш механизими орқали такомиллаштириш.....  | 67 |
| U.T. Berdiyev, M.N. Tuychieva, H.F. Najmiddinov,<br>N.T. Abduraxmanov. Tortuvchi harakatlanuvchi tarkibning texnik holatin<br>tadqiq etish.....  | 73 |

### Ахборотли ва телекоммуникацияли технологиялар

|  |    |
|--|----|
| Z. I. Axmedjanova. Transport logistika axborot tizimida evolyutsion gibridd<br>qidiruvni qo'llash.....   | 80 |
| A. X. Nishanov, S. X. Saparov, O. B. Ruzibaev. Bo'sh miya saratoni<br>kasalligining klinik belgilari axborot ulchovi asosida yrim<br>sintetik yuqum tanlanma yaratish algoritmi..... | 91 |



## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

### Узбекского журнала «Проблемы информатики и энергетики»

Статьи в журнале «Проблемы информатики и энергетики» публикуются бесплатно. Объем статьи, предлагаемой к публикации, не должен превышать 10 страниц текста (с рисунками и таблицами), напечатанного на белой бумаге (формат А4), на одной стороне листа через полтора интервала, 12-й кегель. Обязательна электронная версия – файл статьи с набором текста (шрифт Times New Roman в Microsoft Word). Возможна высылка файла рукописи по *e-mail: informatika-energetika@mail.ru*.

#### Требования к статьям:

1. Обязательно предоставлять на узбекском, русском и английском языках:
  - УДК (Индекс статьи по Универсальной десятичной классификации);
  - фамилии и инициалы авторов;
  - название статьи;
  - аннотацию к статье;
  - ключевые слова.

К статье необходимо приложить разрешение на публикацию от экспертного совета организации, в которой выполнена работа.

Ссылку на гранты необходимо давать ссылкой, обозначенной звездочкой (\*), на первой странице.

2. Статья должна быть структурирована: Введение, Основная часть, Заключение, Список литературы.

Введение **должно** содержать обоснование актуальности, отличие и новизну предлагаемого подхода (метода, алгоритма и т.д.) к решению задачи. Основная часть должна иметь несколько подразделов и содержать формализованное описание постановки задачи, предлагаемый метод ее решения, алгоритм и процедуру решения задачи; отличие предлагаемой постановки задачи от уже известных; основное преимущество предлагаемого метода по сравнению с существующими. В **Заключении** следует сформулировать краткое обсуждение основных выводов по полученным результатам. Список литературы должен отражать перечень использованных источников.

3. Формулы, буквенные обозначения (прописные и строчные, латинского и греческого алфавитов), цифры, знаки и их расположение должны быть четкими и различимыми. Все латинские буквы набираются курсивом, узбекские, русские и греческие – прямым шрифтом.

4. После текста должен идти список литературы, используемой при написании статьи. Он составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом: для книг и сборников – фамилии и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее число страниц; для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, полное название статьи //название журнала, год, том, номера страниц. Если число авторов более четырех, то необходимо указывать первых трех со словами «и др.». Ссылки на иностранную литературу следует писать на языке оригинала без сокращений.

5. Все страницы в статье должны быть пронумерованы.

6. Размеры иллюстраций не должны превышать 150 мм по ширине, либо представляются в виде отдельных файлов (DOC, TIFF, PDF, JPEG с разрешением 600 dpi).

Рисунок должен быть четким и иметь подрисовочную подпись. Объяснение рисунков и фотографий в тексте и подписи к ним должны соответствовать содержанию рисунков. Данные таблиц и рисунков не должны

дублировать текст.

7. Подписи к рисункам должны пояснять их смысл, чтобы приводимые данные могли быть понятны без обращения к тексту. Аббревиатуры расшифровываются в подрисуночных подписях, если это не было сделано в тексте.

8. В конце статьи должны быть представлены:

- полное название учреждения, в котором выполнялось исследование;
- город;
- страна (для иностранных авторов).

9. Обязательно должны быть приложены сведения об авторах.

Указаны: Ф.И.О., ученая степень и звание (если есть), место работы, должность, адреса и телефоны (домашний и служебный), факс и e-mail. Названия институтов и учреждений необходимо раскрывать полностью.

10. Все статьи, поступающие в редакцию, проходят рецензирование.

*В случае отклонения статьи редакционным советом журнала редакция оставляет за собой право сообщать автору о решении редсовета без рецензии.*

Материалы, присланные в редакцию, обратно не высылаются.

#### **Название организации и ведомства**

Предоставляется официальное, без сокращений, название организации на узбекском, русском и английском языках.

Все значимые слова в названии организации (кроме артиклей и предлогов) должны начинаться с прописной буквы.

Необходимо корректно указывать название организации на узбекском, русском и английском языках. Редакция журнала не транслитерирует и не переводит название организации, поэтому оно публикуется в авторской редакции.

#### **Заглавие статьи**

Заглавие статьи предоставляется в редакцию на узбекском, русском и английском языках.

Все значимые слова в заглавии статьи (кроме артиклей и предлогов) должны начинаться с прописной буквы.

Заглавие научной статьи должно быть информативным, т. е. четко отражать ее содержание в нескольких словах.

Формулируя заглавие, нужно придерживаться простых конструкций.

Не следует использовать слова типа исследование, изучение, наблюдение, важный, значительный и т.п.

В заглавии рекомендуется использовать ключевые слова.

Нельзя использовать неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций и ключевых слов.

Заглавие статьи не должно содержать математические и химические формулы, буквы алфавитов, отличных от русского и латинского, римские цифры.

В заглавиях статей можно использовать только общепринятые сокращения.

После написания статьи следует убедиться, что ее заглавие полностью соответствует содержанию.

В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия.

#### **Аннотации к статьям**

Аннотация статьи предоставляется в редакцию на узбекском, русском и английском языках.

Аннотация выполняет следующие функции:

- дает возможность установить основное содержание статьи, определить его релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи;

- предоставляет информацию о статье и устраняет необходимость чтения полного текста статьи;
- используется в информационных, в том числе автоматизированных, системах для поиска статьи и информации.

Аннотация должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- оригинальной;
- содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированной (следовать логике описания результатов в статье);
- компактной (объем от 50 до 100 слов).

**Важно!** Аннотации на английском языке в издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и изложенных в ней результатах исследований.

Зарубежные специалисты по аннотации оценивают публикацию, определяют свой интерес к работе автора, могут использовать ее в своей публикации и сделать на нее ссылку, открыть дискуссию с автором, запросить полный текст и т.д. Аннотация на английском языке на русскоязычную статью или статью на узбекском языке по объему может быть больше аннотации на русском, узбекском языках, так как за русско - или узбекоязычной аннотацией идет полный текст на этом же языке.

#### **Общие рекомендации**

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»). исторических справок, описания ранее опубликованных работ и общеизвестных положений.

Одним из вариантов построения аннотации является краткое повторение в ней структуры статьи, включающей введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение.

В аннотации следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, а также избегать сложных грамматических конструкций.

При переводе аннотаций должна использоваться англоязычная специальная терминология.

В тексте аннотации следует использовать значимые слова из текста статьи. Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, применяют в исключительных случаях или дают их определения при первом употреблении.

Единицы физических величин следует приводить в Международной системе СИ. Допускается приводить в круглых скобках рядом с величиной в системе СИ значение величины в другой системе единиц, использованной в исходном документе.

В аннотации не следует давать ссылки на номер публикации в списке литературы к статье.

#### **Ключевые слова**

Ключевые слова к статье предоставляются в редакцию на узбекском, русском и английском языках.

Должно быть не более 15 ключевых слов.

Можно использовать только общепринятые сокращения.

Ключевые слова должны четко указывать на основное содержание статьи. Следует избегать приводить в качестве ключевых слов общие понятия типа

«система», так как поиск по ключевому слову не приведет читателя к нахождению интересующей его информации. Ключевым словом в некоторых случаях может служить словосочетание, но ни в коем случае не краткое предложение.

**Представляем научно-технический журнал «Проблемы информатики и энергетики»**

**ISSN 2010-7242.** Выходит с 1992 года, 6 номеров в год. Объем 96 страниц.

Журнал распространяется по подписке.

**Подписной индекс:**

**879 – по каталогу «Матбуот тарқатувчи», «Шаҳар почтаси».**

Журнал публикует статьи о информатике и управлении, энергетике, информационных и телекоммуникационных технологиях – опыт разработки, внедрения и использования.

Журнал входит в список периодических научных и научно-технических изданий, выпускаемых в РУз, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ на соискание ученой степени доктора философии (PhD) и доктора наук (DSc).

**В журнале:**

- \* Тенденции развития информационных и телекоммуникационных технологий в технике, экономике и управлении;

- \* Информационные технологии в экономике и профессиональном образовании;

- \* Автоматизация проектирования, конструирования и технологической подготовки производства;

- \* Программное обеспечение;

- \* Информационно-управляющие комплексы подвижных объектов;

- \* Сетевые технологии. Интернет-технологии. Информационная безопасность;

- \* Аппаратное обеспечение информационных технологий;

- \* Энергетика, вопросы энерго- и ресурсосбережения, электроснабжение и сервис промышленных предприятий;

- \* Информационная поддержка жизненного цикла технических систем;

- \* Компьютерное зрение. Виртуальная реальность. Компьютерная графика;

- \* Геоинформатика. Технологии дистанционного зондирования и мониторинга;

- \* Технологии автоматической идентификации. Биометрия;

- \* Распределенные информационно-управляющие системы. Автоматизация документооборота, формирование электронных архивов и библиотек;

- \* Нормативная база, стандартизация и сертификация информационных продуктов и систем;

- \* Выставки, семинары и конференции.

**Учредитель журнала – Академия наук РУз, Государственный комитет связи, информатизации и телекоммуникационных технологий Узбекистана.**

**Издатель – Издательство «Fan va texnologiya».**

**Адрес редакции журнала:** 100066, г. Ташкент, ул. Алмазар, 171.

Телефоны: 71-231-92-51, 71-231-92-46, 71-245-61-61.

E-mail: [informatika-energetika@mail.ru](mailto:informatika-energetika@mail.ru)

*С уважением, редакция журнала.*

*Редактор: Ш. Кушербоева  
Технический редактор: А. Муйдинов  
Компьютерная верстка: Ш. Миркосимова*

Журнал зарегистрирован Агентством по печати и информации Республики Узбекистан 22.12.2006 г.  
Регистрационный №0046. Изд. лиц. А1 №149, 14.08.09. Изд. №3-75. Сдано в набор 17.11.2025. Подписано в печать.  
10.12.2025. Формат 60×84 1/8.  
Гарнитура литературная. Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл-печ. л. . 12.1. Уч. - изд. л.8.28. Тираж 150. Заказ №       
Цена договорная.

Издательство «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi»: 100173, г.Ташкент, ул.Фозилтепа, 226.  
Отпечатано в типографии Научно-исследовательского института развития цифровых технологий и  
искусственного интеллекта при Министерстве цифровых технологий  
Республики Узбекистан: 100125, Тошкент ш., Буз-2 мавзеси, 17А уй.

Индекс 879

ISSN 2010-7242 ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ. №3 2025 .