

ASSESSMENT OF METROLOGICAL ERRORS OF RECOGNITION METRICS IN THE INTELLIGENT CONTROL AND REGULATION SYSTEM OF THE COTTON HARVESTING MACHINE

Erkin Uljaev

Utkirjon Murodillaevich Ubaydullaev

Azizjon Abdulla Ugli Abdulhamidov

Follow this and additional works at: <https://ijctcm.researchcommons.org/journal>



Part of the [Complex Fluids Commons](#), [Controls and Control Theory Commons](#), [Industrial Technology Commons](#), and the [Process Control and Systems Commons](#)



ISSN 1815-4840, E-ISSN 2181-1105

Himičeskaâ tehnologiâ. Kontrol' i upravlenie

CHEMICAL TECHNOLOGY. CONTROL AND MANAGEMENT

2024, №3 (117) pp.13-19

International scientific and technical journal

journal homepage: <https://ijctcm.researchcommons.org/journal/>



Article history: Received 20 May 2024; Received in revised form 28 June 2024; Accepted 29 June 2024;
Available online 10 July 2024

Since 2005

ASSESSMENT OF METROLOGICAL ERRORS OF RECOGNITION METRICS IN THE INTELLIGENT CONTROL AND REGULATION SYSTEM OF THE COTTON HARVESTING MACHINE (ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕТРИК РАСПОЗНАВАНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ УБОРОЧНОГО АППАРАТА ХЛОПКОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ)

Uljaev Erkin¹, Ubaydullaev Utkirjon Murodillaevich², Abdulkhamidov Azizjon Abdulla Ugli³

¹Tashkent State Technical University. Address: 2 Universitetskaya st., 100095, Tashkent city, Republic of Uzbekistan;
E-mail: ¹e.uljaev@mail.ru, ²utkir2005@mail.ru, ³azex_91@mail.ru.

Abstract. This article presents a method for assessing the error of metrics of an intelligent system for monitoring and regulating the width of the working gap of the harvesting apparatus of a cotton picker. To assess the error, the calculation of the average value of the standard deviation of metrics, absolute systematic and random errors, as well as absolute and relative total errors are used. The results of these calculations will allow us to determine the accuracy of the recognition system and opportunities for its improvement.

Key words: cotton picker, intelligent system, control and regulation, working gap width, error, accuracy assessment, recognition and classification, metrics, software, agriculture.

Annatatsiya. Ushbu ishda paxta terish mashinasining terim apparati ishchi kengligini roslash va nazorat qilishning intellektual tizimi metrikalarining xatoligini baholash uslubi keltirilgan. Xatolikni baholash uchun metrikalarning o'rtacha kvadratik og'ishining o'rtacha qiymati, mutlaq sistematik va tasodifiy xatolar, shuningdek mutlaq va nisbiy umumiy xatoliklarni hisoblash qo'llaniladi. Ushbu hisoblashlarning natijalari tanib olish tizimining aniqligini aniqlash va yaxshilash imkonini beradi.

Tayanch so'zlar: paxta terish mashinasi, intellektual tizim, nazorat qilish va roslash, ishchi kenglik, xatolik, aniqlikni baholash, tanib olish va sinflash, metrikalar, dasturiy ta'minot, qishloq xo'jaligi.

Аннотация. В работе представлена методика оценки погрешности метрик интеллектуальной системы контроля и регулирования ширины рабочей щели уборочного аппарата хлопкоуборочной машины. Для оценки погрешности используется расчет среднего значения среднеквадратического отклонения метрик, абсолютных систематических и случайных ошибок, а также абсолютной и относительной суммарных погрешностей. Результаты данных расчетов позволяют определить точность системы распознавания и возможности её улучшения.

Ключевые слова: хлопкоуборочная машина, интеллектуальная система, контроль и регулирование, ширина рабочей щели, погрешность, оценка точности, распознавание и классификация, метрики, программное обеспечение, сельское хозяйство.

Введение. В современном сельском хозяйстве повышение эффективности уборочных процессов является ключевым фактором обеспечения высокой производительности и качества сельскохозяйственной продукции. Особенно важным аспектом в этом контексте является точный контроль и регулирование параметров уборочной техники – таких как, ширина рабочей щели уборочного аппарата [1, 2].

В данном исследовании представлена методика оценки погрешности метрик интеллектуальной системы контроля и регулирования ширины рабочей щели уборочного аппарата хлопкоуборочной машины. Оценка погрешности проводится с использованием различных расчетных методов, включая вычисление среднеквадратического отклонения метрик,

анализ абсолютных систематических и случайных ошибок, а также определение абсолютной и относительной суммарных погрешностей [3-8].

Целью данного исследования является выявление точности работы интеллектуальной системы и определение возможностей для улучшения и функциональности. Полученные результаты имеют важное значение для сельскохозяйственной техники и инженеров, работающих над оптимизацией уборочных процессов.

Методология. Основой методики оценки погрешностей интеллектуальной системы контроля и регулирования ширины рабочей щели уборочного аппарата хлопкоуборочной машины [9], при определении степени раскрытия хлопковых коробочек [10], выбраны экспериментальные исследования. При проведении экспериментов в качестве датчика системы технического зрения [11] использовалась матричная видеочка типа «HikVision DS-2DE4225W-DE». Выбранная видеочка позволяет фиксировать изображения размером 1920 x 1080 пикселей. Для проведения экспериментального исследования видеочка была установлена на передней части хлопкоуборочной машины на специальной виброзащитной платформе [12]. Эта платформа состоит из гибких антивибрационных креплений и механизмов компенсации, которые способны поглощать вибрацию и обеспечивать четкость и детальность изображения.

Для проведения анализа изображения видеочка формировались кадры размером 1024x1024 пикселя. На оцифрованные изображения хлопкового поля накладывались области по раскрытию хлопковых коробочек [13]. На основе выделенной области хлопкового поля, проведены расчёты истинных значений метрик признаков [14]. Для достоверной оценки степени раскрытия каждой из хлопковых коробочек проведены $n = 60$ испытаний и рассчитаны значения метрик, а также систематическая и случайная погрешности классификации хлопковых коробочек.

Согласно [4, 7] для определения систематической погрешности для каждого из степеней раскрытия хлопковых коробочек, а также для каждой из метрик признаков необходимо проводить вычисления по следующей методике:

1. Среднее значения метрик [7] признаков \bar{u} рассчитаем по формуле:

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i. \quad (1)$$

2. Среднеквадратическое отклонение метрик признаков σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где u_i – результат i -го измерения из n измерений.

3. Абсолютная систематическая ошибка метрик определяется по формуле:

$$\Delta_c = \bar{u} - u_0, \quad (3)$$

где u_0 – действительное значение измеряемой величины.

4. Относительная систематическая погрешность определяется как:

$$\delta_c = \frac{\Delta_c}{u_0} \cdot 100\%. \quad (4)$$

5. Абсолютная случайная погрешность метрик рассчитывается по формуле:

$$\Delta_0 = K \cdot \sigma, \quad (5)$$

где K – коэффициент, зависящий от принятой доверительной вероятности и закона распределения результатов измерений (согласно [3] вычислено среднее значение коэффициента $K = 8,263$ с доверительной вероятностью 95%).

6. Относительная случайная погрешность определяется как:

$$\delta_0 = \frac{\Delta_0}{u_0} \cdot 100\%. \quad (6)$$

7. Абсолютную суммарную погрешность определим согласно формулам (5) и (6):

$$\Delta = \pm (|\Delta_c| + |\Delta_0|). \quad (7)$$

8. Относительная суммарная погрешность рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{u_0} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Таким образом, можно успешно проводить расчет погрешностей распознавания и классификации интеллектуальной системы при определении степени раскрытия хлопковых коробочек.

Методика решения задачи. В табл. 1 представлены результаты интеллектуальной системы распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек в естественном освещении в разное время суток с целью оценки погрешности при использовании различных методов расчета.

Таблица 1

Результаты интеллектуальной системы распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек

Испытания в естественном освещении		Хорошее раскрытие	Среднее раскрытие	Плохое раскрытие	
В солнечную погоду	Утром	n = 1	51	45	12
	
		n = 10	50	45	13
	Днем	n = 1	58	49	9
	
		n = 10	54	46	13
	Вечером	n = 1	52	49	11
	
		n = 10	53	47	11
В облачную погоду	Утром	n = 1	52	45	12
	
		n = 10	50	48	13
	Днем	n = 1	51	47	13
	
		n = 10	51	48	10
	Вечером	n = 1	50	48	9
	
		n = 10	50	44	9
Фактическое количество		53	47	14	

Для вычисления среднего значения метрик признаков \bar{u} используется формула (1):

$$\bar{u} = \frac{51 + 50 + 53 + \dots + 51 + 50 + 50}{60} = \frac{3161}{60} = 52,683.$$

Для расчёта среднеквадратического отклонения σ применяется формула (2):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(51 - 52,68)^2 + \dots + (50 - 52,68)^2}{60 - 1}} = \sqrt{\frac{256,9833}{59}} \approx 2,087.$$

Абсолютная систематическая ошибка метрик Δ_c определяется по формуле (3):

$$\Delta_c = 52,683 - 53 = -0,317.$$

Относительная систематическая погрешность δ_c вычисляется согласно формуле (4):

$$\delta_c = \frac{-0,317}{53} \cdot 100\% = -0,597\%.$$

Абсолютная случайная погрешность метрик Δ_0 рассчитывается по формуле (5):

$$\Delta_0 = 8,26 \cdot 2,087 = 1,725.$$

Относительная случайная погрешность δ_0 определяется по формуле (6):

$$\delta_0 = \frac{1,725}{53} \cdot 100\% \approx 3,254\%.$$

Абсолютная суммарная погрешность Δ определяется с помощью формулы (7):

$$\Delta = \pm (|-0,317| + |1,725|) = \pm 2,041.$$

Относительная суммарная погрешность δ рассчитывается по формуле (8):

$$\delta = \frac{\pm 2,041}{53} \cdot 100\% \approx 3,851 \%$$

Нами были проведены экспериментальные исследования и оценена эффективность интеллектуальной системы. Результаты оценки погрешности измерения метрик распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек представлены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

Результаты средних значений метрик распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек в различное время суток

Испытания при естественном освещении (n=60).		Хорошо раскрыты	Средне раскрыты	Плохо раскрыт
В солнечную погоду	Утром	51,6	45,9	12,1
	Днем	56,3	47,7	10
	Вечером	52,6	47,6	12,5
В облачную погоду	Утром	52,4	46,5	13,1
	Днем	52,3	47	13,2
	Вечером	50,9	45,6	10,7
Фактическое количество		53	47	14
Среднее значение \bar{u}		52,683	46,717	13,733

Таблица 3

Оценка погрешностей измерения метрик в разное время суток

Испытания при естественном освещении (n=60).	Хорошо раскрыты	Средне раскрыты	Плохо раскрыт
Фактическое количество	53	47	14
Среднее значение \bar{u}	52,683	46,717	13,733
Среднеквадратическое отклонение σ	2,087	1,451	0,516
Абсолютная систематическая ошибка Δ_c	-0,317	-0,283	-0,267
Относительная систематическая погрешность δ_c	-0,597 %	-0,603 %	-1,905 %
Абсолютная случайная погрешность Δ_0	2,056	1,005	0,414
Относительная случайная погрешность δ_0	3,254 %	2,551 %	3,048 %
Абсолютная суммарная погрешность Δ	$\pm 2,041$	$\pm 1,482$	$\pm 0,693$
Относительная суммарная погрешность δ	3,851 %	3,154 %	4,953 %

Оценка погрешностей измерения метрик в разное время суток при естественном освещении хорошо раскрытых коробочек (действительное количество хлопковых коробочек 53 штуки, $n = 60$ испытаний), представлена в табл. 4.

Таблица 4

Оценка погрешностей метрик в разное время суток при естественном освещении хорошо раскрытых коробочек

Испытания при естественном освещении	В солнечную погоду			В облачную погоду		
	Утром	Днем	Вечером	Утром	Днем	Вечером
Среднее значение \bar{u}	51,60	56,30	52,60	52,40	52,30	50,90
Среднеквадратическая отклонения σ	1,675	3,913	0,920	1,232	1,164	1,964

На диаграмме (рис. 1) отображены средние значения (\bar{u}) в разное время суток для каждого типа погоды, а также их погрешности в виде среднеквадратического отклонения (σ).

На диаграмме (рис. 1) видно, что в солнечную погоду днём, (особенно с 12:00 до 14:00) уровень шума в виде бликов и отражений солнечных лучей от листьев хлопка может значительно возрастать, что, в свою очередь, может повлиять на погрешность при распознавании и классификации хлопковых коробочек. Это может быть связано с тем, что алгоритм

распознавания может испытывать трудности в различении между бликами и реальными объектами. Это приводит к увеличению ошибок в определении степени раскрытия коробочек.

Полученные значения оценки погрешности измерения метрик о степени раскрытия хлопковых коробочек свидетельствуют о достоверности принятия решений в задаче распознавания и классификации хлопковых коробочек.

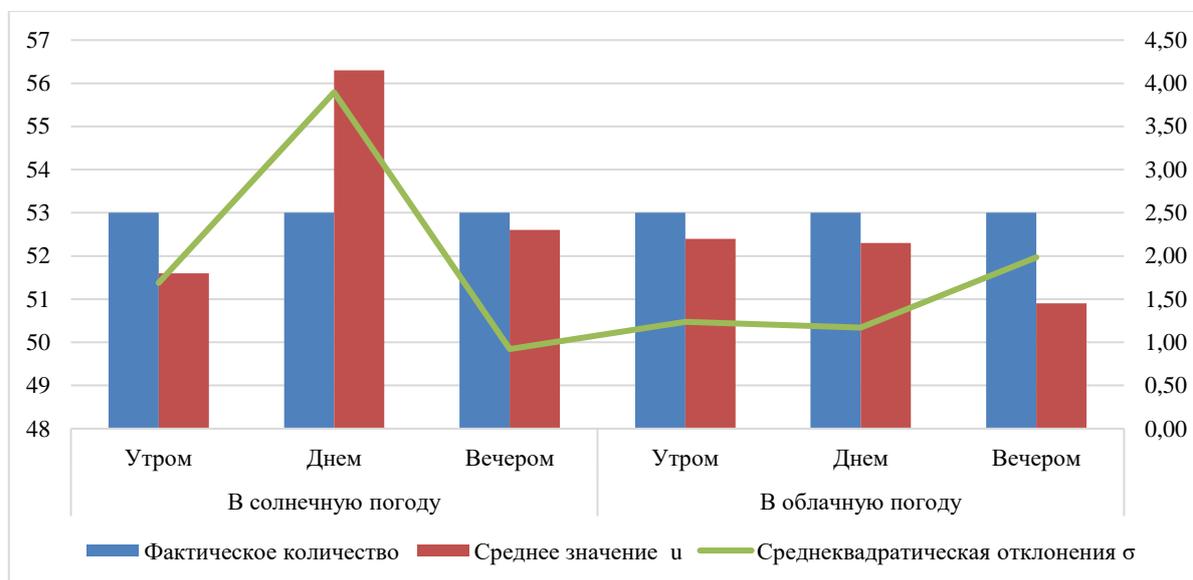


Рис. 1. Диаграмма распределения погрешностей хорошо раскрытых хлопковых коробочек (по дням).

Для определения требуемого аппаратного обеспечения интеллектуальной системы проведен эксперимент на базе компьютеров с процессорами Intel Core i7 3.0 ГГц. Компьютер был соединён с устройством контроля и регулирования ширины рабочей щели уборочного аппарата хлопкоуборочной машины [15] через USB порт со скоростью 480 Мбит/с.

Экспериментальная выборка образцов хлопковой коробочки для оценки эффективности интеллектуальной системы [16] состояла из изображений трёх классов хлопковых коробочек («Хорошо раскрыты», «Средне раскрыты», «Плохо раскрыты»). При этом исследовано 1646 изображений различной степени раскрытия хлопковых коробочек (205 - хорошо раскрыты, 379 - средне раскрыты, 1062 - плохо раскрыты).

Вероятность верного обнаружения и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек для каждого из классов представлена в табл. 5.

Таблица 5

Вероятность верного распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек	
Классы раскрытия хлопковых коробочек	Вероятность верного обнаружения и классификации
Хорошо раскрыты	99,43 %
Средне раскрыты	99,36 %
Плохо раскрыты	85,00 %
Среднее значение	94,60 %

Из таблицы видно, что достоверность распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек предложенными техническими решениями соответствует поставленным требованиям.

Далее нами проведена оценка быстродействия классификации степени раскрытия хлопковых коробочек. Результаты оценки быстродействия представлены в таблице 6.

Таблица 6

Результаты оценки быстродействия распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек

Этапы классификации	Время, с.
Обнаружение хлопковых коробочек	0,0002
Распознавание хлопковых коробочек	0,0004
Классификация хлопковых коробочек	0,0042
Итого:	0,0048

Следовательно, среднее время, затрачиваемое на этапы распознавания и классификации хлопка-сырца, составляет $\approx 0,005$ с., что свидетельствует о возможности распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек в процессе работы уборочного аппарата хлопкоуборочной машины.

Для полной оценки эффективности интеллектуальной системы распознавания и классификации рассчитаны матрица ошибки, Precision (точность), Recall (полнота), F1Score (F-мера) и Accuracy (точность классификации) для интеллектуальной системы распознавания и классификации хлопковых коробочек по степени раскрытия качества хлопка [17]. Результаты оценки представлены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты оценки эффективности разработанной интеллектуальной системы распознавания и классификации хорошо раскрытых хлопковых коробочек

Испытания в разное время суток n = 60	TP	FP	FN	Precision (%)	Recall (%)	F1Score	Accuracy (%)
Испытания 1	286	0	96	100	74.9	0.86	74.9
Испытания 2	410	3	126	99.3	76.5	0.86	76.1
...
Испытания 60	385	2	126	99.5	75.3	0.86	75.0
Среднее				99.6	75.6	0.9	75.3
Стандартное отклонение				0.3	0.7	0.0	0.5

Результаты оценки эффективности интеллектуальной системы распознавания и классификации свидетельствуют о достижении требуемых значений показателей распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек. Оценка быстродействия распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек интеллектуальной системы представлена в таблице 8.

Таблица 8

Временные оценки выполнения основных этапов алгоритмов распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек интеллектуальной системы.

Этапы	Средняя время работы, с.
1. Обнаружения	0,0002
2. Выделение области	0,011
3. Распознавание	0,0004
4. Подсчет коробочек	0,001
5. Отслеживания коробочки	0,005
6. Классификации	0,0042
Итого:	0,0218

Закключение. В результате проведенных исследования и синтеза разработана интеллектуальная система контроля и регулирования ширины рабочей щели уборочного аппарата хлопкоуборочной машины. Эта система способна обнаруживать, подсчитывать, отслеживать и классифицировать хлопковые коробочки с точностью в 94,6 %. При этом среднее

время распознавания и классификации составляет 0,022 с, что является достаточным для работы хлопкоуборочной машины со скоростью до 8 километров в час.

Полученные в ходе исследования результаты предоставляют возможность эффективного распознавания и классификации степени раскрытия хлопковых коробочек в процессе работы уборочного аппарата хлопкоуборочной машины. Это значительно улучшает процесс уборки хлопка, обеспечивая более высокую производительность и качество сбора урожая.

References:

1. Uljaev, E., Ubaydullaev, U., Abdulkhamidov, A. (2021). Analiz sovremennogo sostoyaniya avtomatizatsii kontrolya i regulirovaniya shiriny rabochikh shhelej uborochnogo apparata khlopkouborochnoj mashiny s vertikal'nym shpindelom [Analysis of the current state of automation of control and regulation of the width of the working strips of the harvesting apparatus of a cotton picker with a vertical spindle]. *Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Vyzovy nauki segodnya»*. Washington, 48. 977-989. (in Russian).
2. Uljaev, E., Abdazimov, A.D., Ravutov, S.H.T., Tulbaev, F.A. (2011). Mikroprotsessornaya sistema kontrolya i regulirovaniya rabochej shheli khlopkouborochnogo apparata [Microprocessor system for monitoring and adjusting the working gap of a cotton picker]. *Uzbekskij zhurnal «Problemy informatiki i ehnergetiki»*, (5), 48-52. (in Russian).
3. Kasatkina, E.H.F. (2018). *Obrabotka rezul'tatov izmerenij: Metrologiya, standartizatsiya, sertifikatsiya [Processing of measurement results: Metrology, standardization, certification]*. Metodicheskie ukazaniya k prakticheskim zanyatiyam po distsipline. VIGU, 25 p. (in Russian).
4. Bugaev, D.P., Kuzmin, M.I., Solovev, N.A. (2019). *Kompyuternoe zrenie v zadachakh identifikatsii i raspoznavaniya poverkhnostnykh defektov tonkolistovogo prokata [Computer vision in problems of identification and recognition of surface defects in thin sheet metal]*. Orenburg: Orenburgskij gos. un-t. 128 p. (in Russian).
5. Naumenko, A.M., Ulitenko, V.P. (1982). *Opreделение pogreshnostej tekhnicheskikh izmerenij [Determination of technical measurement errors]*. KHAr'kov: KHAI, 131 p. (in Russian).
6. Anakhov, V.YA. (2007). *Pogreshnosti izmerenij i ikh otsenka [Measurement errors and their estimates]*. Ekaterinburg, 69 p. (in Russian).
7. Zhukov, V.K. (2009). *Teoriya pogreshnostej tekhnicheskikh izmerenij [Theory of technical measurement errors]*. Tomsk: Tomskij politekhnicheskij universitet. 180 p. (in Russian).
8. Dedenko, L.G., Kerzhentsev, V.V. (1977). *Matematicheskaya obrabotka i oformlenie rezul'tatov ehksperimenta [Mathematical processing and presentation of experimental results]*. Izd-vo MGU, 112 p. (in Russian).
9. Abdulhamidov, A., Uljaev, E. (2023). Opreделение stepeni raskrytnosti khlopkovogo syr'ya s pomoshh'yu tekhnicheskogo zreniya [Determining the degree of openness of cotton raw materials using technical vision]. *Zaregistririvan v Gosudarstvennom reestre programmykh produktov Respubliki Uzbekistan № DGU 23492*. (in Russian).
10. Uljaev, E., Ubaydullaev, U., Abdulhamidov, A. (2024). Nejrionnye tekhnologii raspoznavaniya i klassifikatsiya stepeni raskrytiya khlopkovykh korobochek [Neural technologies for recognition and classification of degrees of opening of cotton bolls]. *AI'-Fargonij avlodlari*, 1(1), 69-79. (in Russian).
11. Abdulhamidov, A., Uljaev, E. (2022). Vybory kamery dlya raspoznavaniya khlopka-syrtsa i analiza ego osnovnykh parametrov [Selecting a camera for recognizing raw cotton and analyzing its main parameters]. *V 2022 godu Mezhdunarodnaya konferentsiya po informatsionnym naukam i kommunikatsionnym tekhnologiyam (ICISCT)*, 1-4. (in Russian).
12. Vibrozashchitnaya platforma [Vibration-proof platform]. // https://www.nic-tech.ru/catalog/dopolnitelnye_assortiment/vibrozashchitnaya_platforma/ (data obrashheniya: 16.03.2024). (in Russian).
13. Uljaev, E., Abdulhamidov, A. (2023). Preobrazovanie videoizobrazheniya v matritsu, otsenka i vybor kachestvennykh algoritmov [Converting a video image into a matrix, evaluating and selecting quality algorithms]. *ZHurnal «Pribory»*, 6. 21-25. (in Russian).
14. Mirzaev, N.M., Radzhabov, S.S., Zhumaev, T.S. (2008). O parametrizatsii modelej algoritmov raspoznavaniya, osnovannykh na otsenke vzaimosvyazannosti priznakov [On the parameterization of models of recognition algorithms based on the assessment of the relationship of signs]. *Problemy informatiki i ehnergetiki*, (2-3), 23-27. (in Russian).
15. Uljaev, E., Ubaydullaev, U., Abdulhamidov, A. (2024). Programmnoe obespechenie ustrojstva regulirovaniya rabochej shheli uborochnogo apparata khlopkouborochnoj mashiny [Software for the device for adjusting the working gap of the harvesting apparatus of a cotton picker]. *Zaregistririvan v Gosudarstvennom reestre programmykh produktov Respubliki Uzbekistan № DGU 35890*. (in Russian).
16. Uljaev, E., Abdulhamidov, A., Ubaydullaev, U. (2023). Svertochnaya nejrionnaya set' dlya klassifikatsii stepeni otkrytiya khlopkovoj korobochki [Convolutional neural network for classifying the opening degree of a cotton box]. *AI'-Fargonij avlodlari*. 4(1), 31-36. (in Russian).
17. Abdulhamidov, A. (2023). Otsenki proizvoditel'nosti svyortchoj nejrionnoj seti dlya klassifikatsii khlopka po stepeni raskrytiya [Performance evaluations of a candle neural network for classifying cotton by degree of opening]. *ZHurnal «Pribory»*, 9. 51-55. (in Russian).