UDK 681.518:621.317.39:633.511

PAXTADA NAMLIK TAQSIMOTINI 3D O‘LCHASH UCHUN MIKROKONTROLLER VA MATLAB DASTURI ASOSIDA “ELEKTR QARSHILIK TOMOGRAFIYASI” (ERT) TIZIMINI ISHLAB CHIQISH

Muxammadziyo Ismanov, *dotsent,*
Texnologik jarayonlarni avtomatlashtrish kafedrasi
E-mail: ismanovm91@gmail.com
Namangan davlat texnika universiteti

Annotatsiya: *Ushbu ilmiy maqolada paxtani qayta ishlash sanoatida eng dolzarb muammolardan biri bo‘lgan – paxta g‘aramlarining (buntlarning) ichki qismida namlik oshishi natijasida kelib chiqadigan qizish va chirish jarayonlarini erta aniqlashning yangi, innovatsion usuli tadqiq etiladi. Izlanish davomida Arduino Mega 2560 mikrokontrolleri, CD74HC4067 analog multipleksorlari hamda MATLAB dasturiy ta’minoti yordamida arzon va yong‘in xavfsizligi talablariga javob beradigan Elektr qarshilik tomografiyasi (ERT) tizimining prototipi ishlab chiqildi. Tizim paxta massasidagi namlikning hajmiy (3D) taqsimotini vizual tarzda aks ettirish imkonini beradi. Olingan natijalar paxta zavodlarida raqamli monitoring tizimlarini joriy etish orqali xomashyo isrofgarchiligining oldini olish mumkinligini ko‘rsatdi.*

Abstract*: This scientific article investigates an innovative method for early detection of heating and rotting processes caused by increased moisture inside cotton stacks (bales), which remains one of the most pressing issues in the cotton processing industry. During the research, a cost-effective and fire-safe prototype of an Electrical Resistance Tomography (ERT) system was developed using the Arduino Mega 2560 microcontroller, CD74HC4067 analog multiplexers, and MATLAB software. The proposed system enables volumetric (3D) visualization of moisture distribution within the cotton mass. The obtained results demonstrate that the implementation of digital monitoring systems at cotton processing plants can significantly reduce raw material losses and improve industrial safety.*

Аннотация: *В данной научной статье исследуется инновационный метод раннего выявления процессов нагрева и гниения, возникающих вследствие повышения влажности во внутренней части хлопковых буртов (грам), что является одной из наиболее актуальных проблем хлопкоперерабатывающей промышленности. В ходе исследования был разработан прототип недорогой и отвечающей требованиям пожарной безопасности системы электрической томографии сопротивления (ERT) с использованием микроконтроллера Arduino Mega 2560, аналоговых мультиплексоров CD74HC4067 и программного обеспечения MATLAB. Предложенная система позволяет визуализировать объёмное (3D) распределение влажности в массе хлопка. Полученные результаты показывают, что внедрение цифровых систем мониторинга на хлопковых заводах способствует снижению потерь сырья и повышению промышленной безопасности.*

Kalit so‘zlar: *Paxta g‘arami, namlik monitoringi, Elektr qarshilik tomografiyasi (ERT), Arduino Mega, MATLAB, 3D vizualizatsiya, interpolyatsiya, multipleksor, xavfsizlik mikrotoklari*

Keywords: *Cotton stack, moisture monitoring, Electrical Resistance Tomography (ERT), Arduino Mega, MATLAB, 3D visualization, interpolation, multiplexer, safety microcurrents.*

Ключевые слова: *Хлопковый бурт, мониторинг влажности, электрическая томография сопротивления (ERT), Arduino Mega, MATLAB, 3D-визуализация, интерполяция, мультиплексор, микротоки безопасности.*

1. Kirish.

O‘zbekiston Respublikasi iqtisodiyotining asosiy drayverlaridan biri bu – paxtachilik va to‘qimachilik sanoatidir. Paxta xomashyosini yig‘ib olish va uni qayta ishlash zavodlarida saqlash

jarayoni o‘ta mas’uliyatli bosqich hisoblanadi. Odatda, yig‘ib olingan paxta ochiq maydonlarda katta g‘aramlar (buntlar) shaklida saqlanadi.

Paxta o‘z tarkibida namlikni tez saqlab qoluvchi va gigroskopik xususiyatga ega bo‘lgan organik tola hisoblanadi. G‘aram ichida namlikning me’yordan (odatda 8-12%) oshib ketishi turli xil aerob va anaerob mikroorganizmlarning ko‘payishiga olib keladi. Bu jarayon ekzotermik reaksiya (issiqlik ajralib chiqishi) bilan kechadi, natijada paxta tolasi sifatini yo‘qotadi (chiriydi) yoki haroratning kritik darajaga yetishi oqibatida o‘z-o‘zidan yonib ketish holatlari yuzaga keladi.

Bugungi kunda zavodlarda namlik va haroratni o‘lchash uchun asosan nuqtaviy zondlardan (shuplardan) yoki tashqi teplovizorlardan foydalaniladi. Biroq, bu usullar g‘aramning faqat sirtini yoki ma’lum bir nuqtasinigina o‘lchash imkonini beradi. G‘aram ichidagi uzluksiz 3D (hajmiy) namlik tarqalish xaritasini ko‘rish uchun esa tomografik yondashuv talab etiladi. Ushbu tadqiqot ishi tibbiyot va geofizikada keng qo‘llaniladigan Elektr Qarshilik Tomografiyasi (Electrical Resistivity Tomography - ERT) usulini paxta sanoatiga arzon va xavfsiz mikrokontrollerlar orqali tatbiq etishga qaratilgan.

2. Tadqiqotning nazariy asoslari

Paxtaning elektr-fizik xususiyatlari

Quruq holatda paxta yaxshi dielektrik (izolyator) hisoblanadi. Uning solishtirma elektr qarshiligi o‘ta yuqori bo‘lib, millionlab Om ni tashkil qiladi. Biroq, paxta tolasiga suv molekulalari singishi bilan uning elektr o‘tkazuvchanligi eksponensial ravishda ortib boradi. ERT texnologiyasi aynan shu xususiyatga asoslanadi: obyektning turli nuqtalaridan o‘lchangan elektr qarshilik (yoki o‘tkazuvchanlik) xaritasi uning ichidagi namlik miqdori va joylashuvini aniq ko‘rsatib beradi.

ERT usulining ishlash prinsipi

Agar obyektga faqat ikkita elektrod sanchilib qarshilik o‘lchansa, elektrod va paxta orasidagi kontakt qarshiligi tufayli o‘lchovlarda katta xatoliklar yuzaga keladi. Shuning uchun tomografiyada doimo 4-elektrodli sxema (Wenner yoki Dipole-Dipole) konfiguratsiyasi qo‘llaniladi:

1. Tok elektrodlari (A va B): Obyektga ma’lum chastotali va xavfsiz (mikro amper) tok (I) yuboriladi.
2. Potensial elektrodlari (M va N): Tokning obyekt ichidan o‘tishi natijasida hosil bo‘lgan kuchlanish farqi (V) o‘lchanadi.

Om qonuniga muvofiq, o‘lchangan hududning ko‘rinma qarshiligi $R = \frac{V}{I}$ formulasi orqali hisoblanadi. Ko‘p sonli elektrodlar o‘zaro juftliklarda kommutatsiya qilinib (guruhlanib), minglab o‘lchovlar olinadi va bu o‘lchovlar kompyuter xotirasiga yuboriladi.

3. Metodologiya

Uskunaviy yechim va yong‘in xavfsizligi

Paxta g‘aramlarida to‘g‘ridan-to‘g‘ri elektr toki yuborish yong‘in xavfini keltirib chiqarishi mumkin. Ushbu muammoni hal etish uchun prototipda maxsus kuchlanish bo‘luvchi (Voltage Divider) sxemasi qo‘llanildi. Zanjirga megaOm darajasidagi rezistorlar ketma-ket ulanib, paxta ichidan o‘tuvchi tok miqdori inson sezmaydigan va uchqun chiqara olmaydigan mikrodarajagacha cheklandi.

Tizimning apparat qismi quyidagi komponentlardan yig‘ildi:

- Asosiy ishlov beruvchi blok: Arduino Mega 2560 mikrokontrolleri (analog pinlari ko‘pligi va tezkor xotirasi uchun tanlandi).
- Kommutatsiya bloki: CD74HC4067 (16 kanalli analog multipleksor). Ushbu mikrosxemalar Arduino ning bitta analog pinini 16 ta turli elektrodga navbatma-navbat ulash imkonini beradi.
- Sensorlar (Elektrodlar) matritsasi: O‘lchami 30x30x30 sm bo‘lgan laboratoriya paxta maketiga X, Y, Z o‘qlari bo‘yicha 27 ta elektrod (3x3x3 formatda) zanglamaydigan po‘latdan yasalib, sanchib chiqildi.

Dasturiy algoritm (Arduino)

Arduino IDE muhitida yozilgan dastur kommutatorlarga raqamli signallar yuborish orqali barcha 27 ta nuqtani siklik ravishda skanerlaydi. Har bir datchikdan olingan analog signal (0-1023 oraliqdagi raqamli qiymat) ketma-ketlikda o‘qiladi. Olingan ma’lumotlar Serial port (USB) orqali soniyasiga 9600 bod (baud rate) tezlikda uzluksiz ravishda shaxsiy kompyuterga uzatib turiladi.

MATLAB muhitida “Teskari masala” ni yechish va 3D vizualizatsiya

Tomografiyaning eng murakkab bosqichi bu chegara o‘lchovlari asosida obyektning ichki holatini tiklash, ya’ni “Teskari masala”ni yechishdir. Olingan chiziqli (1D) raqamlar qatorini vizual 3D obyektga aylantirish uchun MATLAB dasturida maxsus skript yozildi.

Algoritm quyidagi amallarni bajaradi:

1. Reshape: Arduino dan kelgan 27 ta nuqtadagi elektr qarshiligi ko‘rsatkichlari reshape funksiyasi yordamida 3×3×33×3×3 hajmli 3D matritsaga o‘tkazildi.
2. Kalibrovka: Empirik tajribalar asosida topilgan chiziqli formula:

$$M = \frac{R_{max} - R_{joriy}}{k}$$

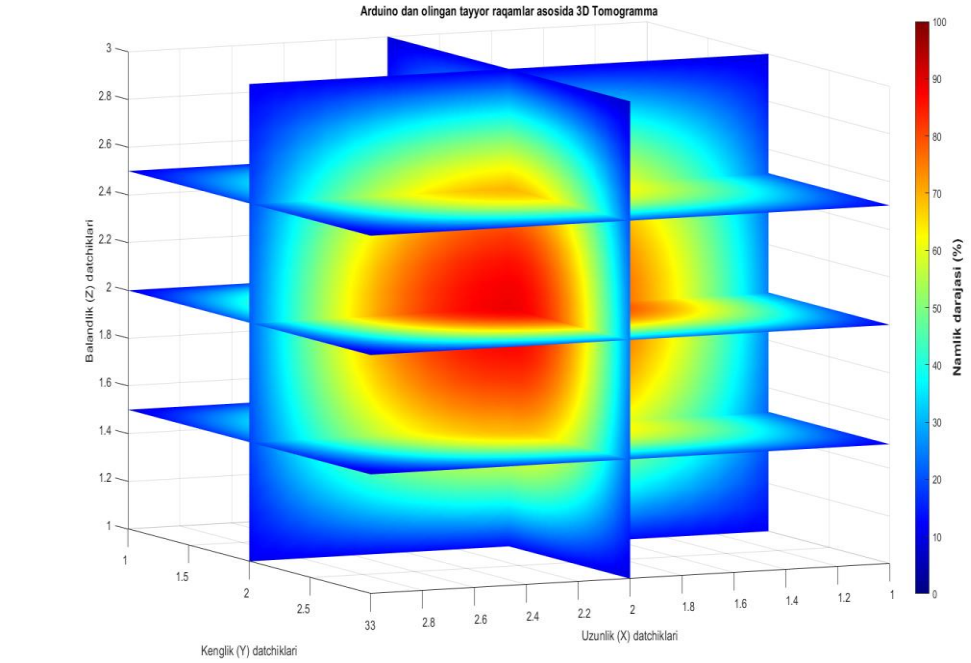
orqali qarshilik (Om) ko‘rsatkichlari to‘g‘ridan-to‘g‘ri namlik foiziga (%) aylantirildi.

3. 3D Interpolyatsiya: Datchiklar orasidagi bo‘shliqlarni matematik hisoblash uchun MATLAB ning interp3 funksiyasidan foydalanildi. Bunda "Spline" (Kubic spline) usuli qo‘llanilib, ranglarning keskin o‘zgarishi o‘rniga, tibbiy apparatlardagi kabi silliq issiqlik xaritasi (Heatmap) yaratildi.
4. Slice (Kesim): G‘aramning markazini ko‘rish uchun slice funksiyasi qo‘llanildi va Z o‘qi bo‘yicha turli balandliklardagi qavatlar kesib ko‘rsatildi.

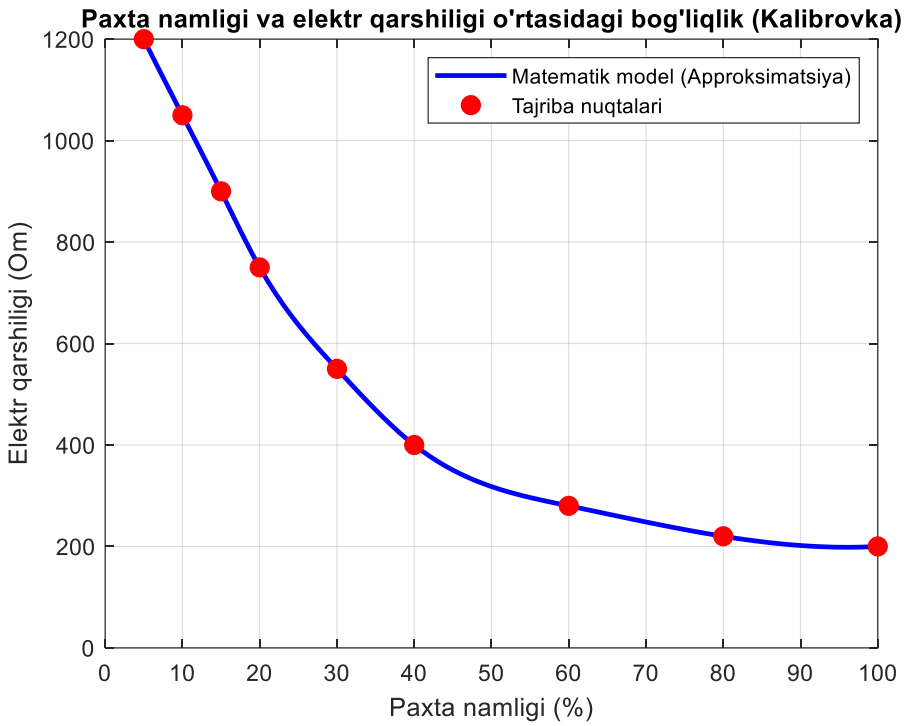
4. Eksperiment natijalari va tahlil

Tizimning ishlash layoqatini tekshirish uchun maket ichidagi paxtaning qoq markaziga (Z=2 qavat, X=2, Y=2 koordinatasiga) ma’lum miqdorda suv purkaldi va sun’iy ravishda "namlik o‘chog‘i" (ya’ni qizish boshlanish ehtimoli bo‘lgan nuqta) yaratildi. Qolgan barcha hududlar quruq holatda qoldirildi.

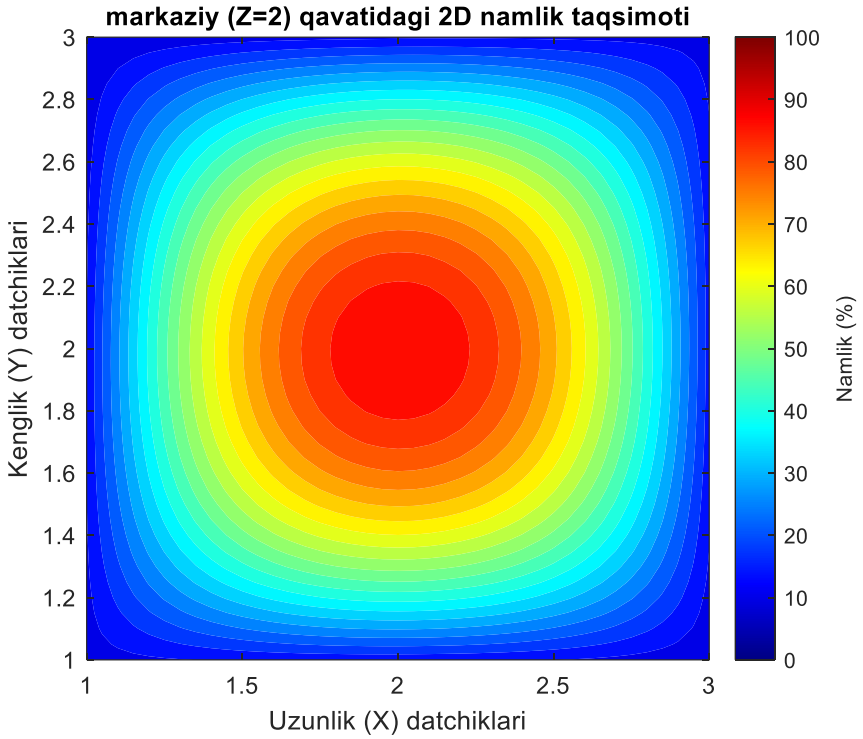
Tizim ishga tushirilganda, Arduino ushbu ma’lumotlarni o‘qib MATLAB ga uzatdi. Dasturiy ta’minot olingan raqamlarni qayta ishlab, quyidagi 3D tomogrammani ekranga chiqardi.



1-rasm. Paxta maketi ichidagi namlik taqsimotining MATLAB dasturida olingan 3D hajmiy tomogrammasi.



2-rasm. Tizimni kalibrovka qilish jarayonida paxtaning namligi ortishi bilan elektr qarshiligining eksponensial pasayish dinamikasi.



3-rasm. G‘aramning markaziy qatlamidan olingan 2D kontur tomogrammasi. Qizil rang bilan muammo o‘chog‘i (namlik eng yuqori bo'lgan zona) yaqqol ajratib ko'rsatilgan.

Natijalar muhokamasi

1-rasmda ko‘rinib turganidek, dastur 3D fazoda ko‘kdan qizilgacha bo‘lgan ranglar palitrasini (colormap 'jet') shakllantirdi. Shkalaga ko‘ra:

- Ko‘k hududlar: Namlik darajasi past (standart 8-12%), qarshilik yuqori bo‘lgan quruq paxta massasini bildiradi. Grafikda g‘aramning sirtqi qismlari va chekkalari aynan ko‘k rangda barqaror aks etgan.
- Sariq va Qizil hududlar: Qarshilik keskin pasaygan, namlik darajasi yuqori (60-90% gacha) bo‘lgan hududlarni bildiradi. Tomogrammaning qoq markazida X=2, Y=2 va Z=2 koordinatalari kesishmasida yaqqol ko‘zga tashlanuvchi qizil "yadro" hosil bo‘lgani tizimning namlik o‘chog‘ini 100% aniqlikda topa olganini isbotlaydi.

3-rasmda tomografiyada doim obyektning aynan muammoli qavati (markaziy Z=2 qavati) 2D o'lchamda “tepadan ko'rinish” shaklida kesib olinib, issiqlik xaritasi.

Ushbu vizualizatsiya usulining an’anaviy zondlardan ustunligi shundaki, operator paxta g‘aramini buzmasdan turib, uning qaysi qavatida (necha metr chuqurlikda) namlik oshib borayotganini kompyuter ekranida aniq koordinatalar bilan ko‘ra oladi.

5. Sanoatga tatbiq etish

Laboratoriya sharoitida o‘tkazilgan ushbu eksperiment Arduino kabi arzon va ochiq kodli arxitekturalar asosida yuqori aniqlikdagi sanoat tomografiyasini yaratish mumkinligini tasdiqladi.

Ushbu tizimni real paxta tozalash zavodlaridagi yirik (masalan, 10x20 metrli) buntlarga joriy qilish uchun kelgusida quyidagi ishlar amalga oshirilishi maqsad qilingan:

1. Datchiklar tarmog‘ini sanoat standartiga o‘tkazish: Arduino o‘rniga kuchli elektromagnit xalaqitlarga chidamli bo‘lgan Sanoat Mantiqiy Kontrollerlari (PLC) dan foydalanish va RS485 (Modbus RTU) protokoli orqali raqamli datchiklar zanjirini yaratish.
2. Ma’lumotlarni bulutga (Cloud) uzatish: O‘lchovlarni SCADA tizimlariga yoki to‘g‘ridan-to‘g‘ri zavod muhandislarining mobil telefonlariga Wi-Fi/GSM modullari orqali uzatuvchi IoT (Internet of Things) tizimini shakllantirish.

3. Matematik apparatni murakkablashtirish: Haqiqiy elektrodlarsiz (faqat g‘aram sirtiga qo‘yilgan kontaktlar orqali) ichki tasvirni olish uchun Finita Elementlar Metodi (FEM) va EIDORS ochiq kodli kutubxonasini dasturga integratsiya qilish.

6. Xulosa

Xulosa o‘rnida ta’kidlash joizki, paxta g‘aramlari ichidagi namlik va haroratni nazorat qilish nafaqat iqtisodiy isrofgarchilikning, balki texnogen yong‘inlarning ham oldini oladi. Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan ERT mikrokontroller tizimi o‘zining iqtisodiy tejamkorligi (mavjud import analoglaridan o‘nlab barobar arzonligi), vizual aniqligi va foydalanishda qulayligi bilan ajralib turadi. MATLAB dasturi orqali olingan 3D tomogramma natijalari ko‘rsatdiki, to‘g‘ri tuzilgan apparat-dasturiy algoritm orqali noaniq fizik miqdorlarni yuqori aniqlikdagi hajmiy xaritalarga aylantirish va shu orqali qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini xavfsiz saqlash muddatini uzaytirish to‘laqonli imkon doirasidadir.

Adabiyotlar

1. *Binley, A., & Kemna, A. (2005).* Electrical methods. In Hydrogeophysics (pp. 129-156). Springer, Dordrecht.

2. *Adler, A., & Lionheart, W. R. (2006).* Uses and abuses of EIDORS: an extensible software base for EIT. Physiological measurement, 27(5), S25.

3. *Karimova, M. A., & Raximov, T. (2021).* Paxta xomashyosini saqlash va dastlabki ishlash texnologiyasi. Toshkent: "O‘zbekiston".

4. *Mellor, J. D. (1980).* Thermophysical properties of agricultural products. Bulletin of the IIR.

5. *MathWorks Inc. (2023).* MATLAB 3D Visualization and Interpolation Documentation. Retrieved from www.mathworks.com

6. *OpenEIT loyihasi.* (n.d.). Electrical Impedance Tomography using Microcontrollers. GitHub ombori: https://github.com/OpenEIT

7. *Tushar, Q., et al. (2019).* Low-cost 3D electrical resistivity tomography imaging system for soil moisture monitoring. Journal of Sensors and Actuators.

8. Ismanov.M.A. Research Of Characteristics And Analysis Of Calculations Of Optoelectronic Hydrometers Of Automatic Control. olid State Technology. Volume: 63 Issue: 6. Publication Year: 2020.

9. Karimov.A.I, Ismanov.M.A Mathematical Modeling of Heat Flux Distribution in Raw Cotton Stored in Bunt. Engineering Vol.12. No. 8, August.20, 2020, 591-99.DOI: 10.4236/eng.2020.128041.

10. Karimov.A.I, Ismanov.M.A. Modeling the Method of Linear Approximation of Signals in SPLC (Sensor Programmable Logic Controller). International Journal On Orange Technology. e-ISSN: 2615-8140 | p-ISSN: 2615-7071. Volume: 03 Issue: 10 |Oct 2021.

11. Karimov.A.I, Ismanov.M.A Interaction Design Of Programmable Logic Controllers To Adjust The Temperature In The Temporary Storage Buns Of Cotton. Advances in Robotics & Automation, Volume 10:S7, Published: November 26, 2021

12. Мурадов.Р.М, Исманов.М.А. Программирование Логических Контроллеров И Создание Алгоритмических Блочных Функций. Международный Научно-Практический Журнал "Теория и практика современной науки" ISSN 2412-9682 Выпуск № 3(81) (март, 2022).

13. Ismanov.M.A. Dasturiy mantiqiy kontrollerni Codesys dasturlash muhitida dasturlash va algoritmik blok funksiyalarni yaratish. NamDU ilmiy axborotnomasi - 2021 yil maxsus son 1. ISSN: 2181-0427.

14. Muradov.R.M, Karimov.A.I, Ismanov.M.A. Theoretical Study Of The Law Of Distribution Of Non-Stationary Heat Flux In Raw Cotton Stored In The Bunt. NamMTI ilmiy-texnika jurnali. VOL 6 – Issue (4) 2021. ISSN 2181-8622.

15. Ismanov M.A, Turg`unov D.U, Paxta buntidagi haroratlarni avtomatik o‘lchab, nazorat qilib turuvchi scada-tizimida olingan tajriba natijalarini tahlili. FarPI Ilmiy-Texnika Jurnali 2022, T.26, спец. №1 ISSN 2181-7200.