



**AQLLI LIBOSLAR DIZAYNIDA TEKSTIL DATCHIKLARI VA
MIKROKONTROLLERLI TIZIMLARNI INTEGRATSIYA QILISH
TEKNOLOGIYASINI TADQIQ ETISH
RESEARCH ON THE TECHNOLOGY OF INTEGRATING
TEXTILE SENSORS AND MICROCONTROLLER SYSTEMS IN SMART
CLOTHING DESIGN
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕГРАЦИИ
ТЕКСТИЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ СИСТЕМ
В ДИЗАЙНЕ УМНОЙ ОДЕЖДЫ**

Sotvoldiyeva Nozima Xaydarjon qizi

Namangan davlat texnika universiteti magistranti

Sotvoldiyeva Nozima Khaydarjon qizi

Master's student, Namangan State Technical University

Сотволдиева Нозима Хайдаржон кизи

*Магистрант Наманганского государственного технического
университета*

ANNOTATSIYA. Ushbu maqolada aqlli liboslar muhitida tekstil datchiklari va mikrokontrollerli tizimlarni komponentlar darajasida integratsiya qilish texnologiyalari axborot-boshqaruv tizimlari muhandisligi nuqtai nazaridan tadqiq etilgan. To'qimachilik va tikuvchilik sanoatini raqamlashtirish sharoitida kiyim konstruksiyasi statsionar bo'lmagan, ko'p parametrlil dinamik boshqaruv ob'ekti sifatida tahlil qilingan. Jahon ilmiy amaliyotidagi SeamFit, FibeRobo va bosma elektronika texnologiyalarining ishlash prinsiplari hamda ularni mikrokontrollerli apparat platformalari bilan koordinatsiyalash masalalari ko'rib chiqilgan. Datchiklardan olinadigan analog signallarni dasturiy-apparat darajasida avtomatik filtrlash, tana harakati davomida yuzaga keladigan dinamik shovqinlarni



kompensatsiyalash va ma'lumotlar uzatish traktida signal-shovqin nisbatini optimallashtirish algoritmlari ilmiy asoslangan.

KALIT SO‘ZLAR: *aqlli liboslar, tekstil datchiklari, mikrokontrollerli tizimlar, avtomatlashtirilgan monitoring, birlamchi o'zgartirgich, raqamli filtrlash, bosma elektronika, statsionar bo'lmagan ob'ekt, dinamik xatolik, signal-shovqin nisbati.*

ABSTRACT. *This article investigates the technology of integrating textile sensors and microcontroller systems at the component level within smart clothing environments from the perspective of information-control systems engineering. In the context of digitalization in the textile and garment industry, clothing construction is analyzed as a non-stationary, multi-parametric dynamic control object. The operational principles of global technologies such as SeamFit, FibeRobo, and printed electronics are reviewed, alongside the challenges of coordinating them with microcontroller hardware platforms. Furthermore, the article scientifically substantiates the necessity of hardware-software level automatic filtering of analog signals from sensors, dynamic noise compensation during body movement, and optimization of the signal-to-noise ratio (SNR) in the data transmission tract.*

KEYWORDS: *smart clothing, textile sensors, microcontroller systems, automated monitoring, primary transducer, digital filtering, printed electronics, non-stationary object, dynamic noise, signal-to-noise ratio.*

АННОТАЦИЯ. *В данной статье исследуются технологии интеграции текстильных датчиков и микроконтроллерных систем на компонентном уровне в среде умной одежды с точки зрения инженерии информационно-управляющих систем. В условиях цифровизации текстильной и швейной промышленности конструкция одежды анализируется как нестационарный, многопараметрический динамический объект управления. Рассмотрены принципы работы таких мировых технологий, как SeamFit, FibeRobo и печатная электроника, а также вопросы их координации с микроконтроллерными аппаратными платформами. Научно обоснована*



актуальность аппаратно-программной автоматической фильтрации аналоговых сигналов, поступающих от датчиков, компенсации динамических помех при движении тела и оптимизации отношения сигнал/шум (SNR) в тракте передачи данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *умная одежда, текстильные датчики, микроконтроллерные системы, автоматизированный мониторинг, первичный преобразователь, цифровая фильтрация, печатная электроника, нестационарный объект, динамическая помеха, отношение сигнал/шум.*

KIRISH. Bugungi kunda O‘zbekiston Respublikasi to‘qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatida ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish hamda raqamlashtirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 1-maydagi “To‘qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatini rivojlantirishni yangi bosqichga olib chiqish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PF-71-son Farmoni hamda 2025-yil 16-janvardagi “To‘qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatida qayta ishlash zanjirini rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PF-6-son Farmonlari tarmoq korxonalarida "Smart Factory" (Aqlli fabrika) konsepsiyalarini joriy etish uchun zamonaviy texnologik zamin yaratdi. Davlat strategiyasida belgilangan ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va innovatsion mahsulotlar turini kengaytirish vazifalari, tikuvchilik mahsulotlariga avtomatlashtirilgan monitoring va boshqaruv tizimlarini komponent darajasida integratsiya qilish zaruriyatini yuzaga keltirmoqda.

Ushbu yo‘nalishning mantiqiy davomi sifatida joriy texnologik jarayonlarda mikroelektronika va avtomatika elementlari asosida ishlaydigan aqlli kiyimlar (Smart Clothing) tizimlarini shakllantirish dolzarb bo‘lib bormoqda. Mazkur muhandislik yo‘nalishida kiyim-kechak konstruksiyasi statsionar bo‘lmagan, ko‘p parametrlı dinamik boshqaruv ob‘ekti sifatida qaraladi. Inson tanasining biomexanik harakatlari, antropometrik ko‘rsatkichlari va hayotiy funksiyalari (harorat, nafas olish) tizimning kirish parametrlari bo‘lib, ular uzluksiz va tasodifiy xarakterga ega.



Tizimning texnik asosi ushbu ko'rsatkichlarni real vaqt rejimida qayd etuvchi birlamchi o'zgartirgichlar (tekstil datchiklari) majmuasidan iborat.

Biroq, yumshoq va egiluvchan materiallar asosiga avtomatika komponentlarini o'rnatishda o'ziga xos muhandislik muammolari mavjud. Standart qattiq o'tkazgichlar hamda odatiy sanoat mikrosxemalari materialning elastiklik xususiyatlarini buzadi va mexanik uzilishlarga olib keladi. Eng asosiysi, inson harakati davomida datchikning elastik tabiati tufayli birlamchi analog signallarda yuqori darajadagi dinamik shovqinlar va artefaktlar yuzaga keladi. Shu sababli, mikrokontrollerli boshqaruv bloklari va moslashuvchan datchiklarni kiyim strukturasiga materialning jismoniy parametrlariga zarar yetkazmasdan integratsiya qilish, signallarni dasturiy-apparat darajasida avtomatik filtrlash va xatoliksiz uzatish zanjirini loyihalash bugungi kunda avtomatlashtirilgan tizimlar muhandisligi oldida turgan muhim vazifalardan biridir.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYASI: Aqlli kiyimlar muhitida tekstil datchiklari va mikrokontrollerli tizimlarni loyihalash masalalari xalqaro va mahalliy ilmiy adabiyotlar asosida o'rganildi. Xalqaro ilmiy amaliyotda moslashuvchan datchiklar va o'tkazgich materiallar nazariyasini X. Tao o'zining "Smart Fibres and Fabrics" asarida yoritib, tolalarning o'ziga o'tkazgichlik xususiyatini berish imkoniyatlarini asoslagan. Hisoblash tekstili va mikrokontrollerli elementlarni kiyim ichiga integratsiya qilishda L. Buechley va uning jamoasi tomonidan yaratilgan LilyPad platformasi apparat arxitekturasini o'rganishda asosiy manba bo'lib xizmat qiladi.

Tadqiqotning uslubiy asosi sifatida axborot-o'lchov tizimlarini tizimli tahlil qilish va raqamli signallarga ishlov berish metodlari qabul qilindi. Tekstil datchiklaridan olinadigan birlamchi signallarni dinamik artefaktlar (shovqinlar)dan tozalash uslubiyati A. Tognetti hamda N. Carbonaro tomonidan taklif etilgan kiyim datchiklari signallarini apparat-dasturiy filtrlash konsepsiyasiga tayanadi. Tizimda tasodifiy o'zgaruvchi xatoliklarni kamaytirish uchun H.D. Hesar va M. Mohebbi tomonidan asoslangan adaptiv signallarga raqamli ishlov berish (DSP) va filtrlar



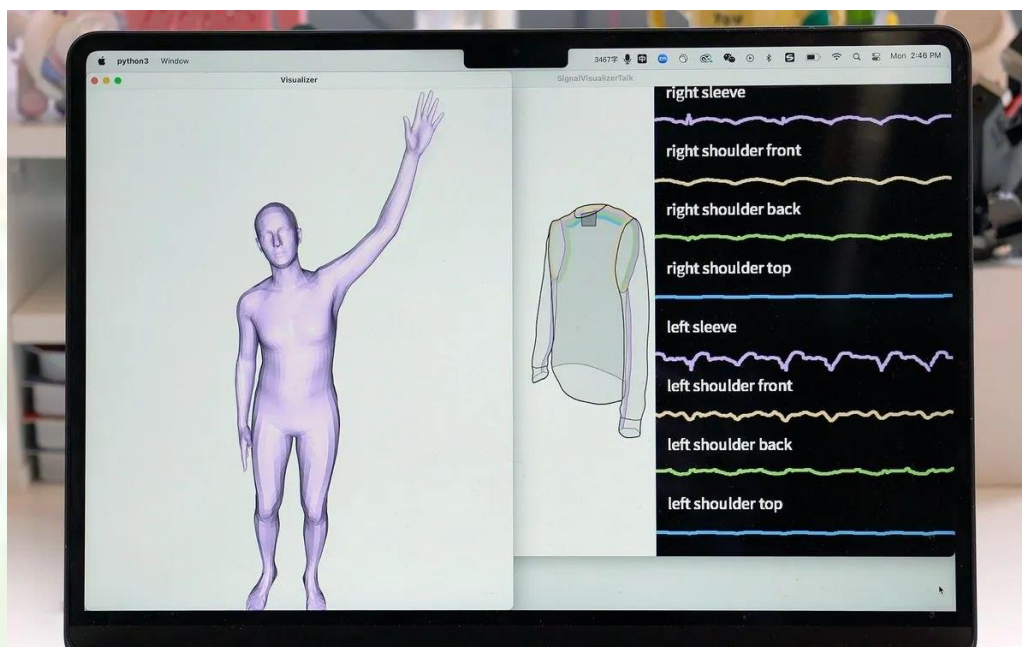
bankini mikrokontroller sathida modellashtirish metodologiyasidan foydalanish zarurligi hisobga olindi.

Mahalliy adabiyotlar qatorida F.B. Ismoilov va M.Z. Toirovlar o'zlarining "To'qimachilik sanoati mashinalari va apparatlarini avtomatlashtirish" darsligida yengil sanoat uskunalari datchiklarning ishlash prinsiplari va texnologik jarayonlarni avtomatik boshqarish sxemalarini batafsil yoritib berganlar. Ushbu tadqiqotda datchik signallarini o'lchash ko'priklari va kuchaytirgichlar orqali mikrokontroller bloklariga muvofiqlashtirib o'tkazishda mazkur mualliflarning texnik koordinatsiyalash prinsiplariga tayanildi.

Birlamchi o'zgartirgichboshqaruv datchiklarining kiyim konstruksiyasidagi joylashuv koordinatalarini optimallashtirish va dinamik deformatsiya nuqtalarini aniqlash, professor S.Sh. Tashpulatov va I.V. Cherunova tomonidan ishlab chiqilgan smart-tekstil tizimlarini 3D biomexanik modellashtirish uslubi asosida tahlil qilindi. Bu yondashuv boshqaruv ob'ekting harakat amplitudasidan kelib chiqib, datchik xatoliklarini geometrik sathida minimal darajaga tushirish imkonini beradi. Alohida yo'nalish sifatida X.M. Arzikulov va R.I. Teshboyevlarning ilmiy ishlarida aqlli matolarning kiyim texnologiyalaridagi funksional afzalliklari va mikro-tizimli axborot almashinuvi kanallarini tashkil etish prinsiplari o'rganilgan. N.D. Abdurakhmanova va professor X.X. Kamilova esa maxsus uniformalar dizaynida intellektual materiallar tizimini modellashtirish masalalarini ko'rib chiqqanlar.

NATIJARLAR. Jahon ilmiy amaliyotida aqlli kiyimlar ichidagi axborot-boshqaruv tizimlarini elementlar darajasida optimallashtirish bo'yicha eng so'nggi yo'nalishlardan biri sifatida Kornell Universiteti muhandislarining SeamFit texnologiyasi o'rganildi. Mazkur muhandislik yechimining asosiy ishlash prinsipi shundan iboratki, kiyim karkasiga hech qanday qo'shimcha, qattiq tashqi datchik modullari o'rnatilmaydi. Buning o'rniga, libosning tayyor konstruktiv tikuv choklariga (bo'yin, yeng va yon choklar qismiga) maxsus elastik o'tkazgich iplar integratsiya qilinadi. Inson harakatlanishi davomida ushbu tikuv choklarida mexanik deformatsiya yuzaga keladi va iplarning cho'zilishi hisobiga ularning elektr sig'imi

o'zgaradi, ya'ni tizim sig'im tipidagi birlamchi o'zgartirgich vazifasini bajaradi. Kiyim yoqasining orqa qismiga joylashtiriladigan kichik elektron plata ushbu elektr sig'imi o'zgarishlarini birlamchi datchik signali sifatida qayd etadi. Harakat davomidagi statik va dinamik gisterezis xatoliklarini kamaytirish hamda tana holatini avtomatik aniqlash uchun tizim tarkibiga Sun'iy intellekt algoritmlari integratsiya qilingan.



1-rasm.

Kornell universiteti yondashuvidan farqli o'laroq, mikroelektron platalarsiz va mikrosxemalarsiz ishlaydigan mutlaqo boshqa avtomatlashtirilgan tizim tamoyili sifatida Massachusetts Texnologiya Instituti (MIT) laboratoriyalarida yaratilgan FibeRobo dasturlashtiriladigan aqlli tolalari ishlash mexanizmi o'rganildi. Suyuq kristalli elastomerlardan tayyorlangan ushbu intellektual tolalar faqatgina tashqi muhit harorati yoki inson tanasining qizishi ta'sirida o'z-o'zidan mexanik ravishda qisqarish yoki kengayish xususiyatiga ega. Ushbu texnologiyani tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, kiyim materialining o'zi tashqi signallarga (haroratga) javob beruvchi

faol aktuator vazifasini bajaradi va libosning ergonomik shaklini inson aralashuviziz avtomatik ravishda regulyatsiya qiladi.

2-rasm.

Yirik sanoat miqyosida ishlab chiqarish konveyerlariga moslashtirish maqsadida Saralon va DuPont muassasalari muhandislari tomonidan



rivojlantirilayotgan bosma elektronika yoʻnalishi komponent darajasida tahlil qilindi. Tizimning ishlash asosi mato yuzasiga qogʻoz qalinligidagi elastik sxemalarni toʻgʻridan-toʻgʻri maxsus printerlar yordamida bosib chiqarishga imkon beruvchi elektr oʻtkazuvchan elastik siyohlar texnologiyasiga tayanadi. Kumush va grafen zarralaridan iborat ushbu oʻtkazgich yoʻlakchalar mato bilan birga 100 foizgacha uzilishlarsiz va chiziqli deformatsiyalanish xususiyatiga ega boʻlib, mikrokontrollerli tizimlarda analog signallarni barqaror yetkazib berish zanjirini hosil qiladi. Bu esa mikrokontroller interfeyslarida maʼlumotlar yoʻqolishining oldini oladi.

Mazkur tadqiqot doirasida olingan natijalar mahalliy olimlarning konstruktiv yechimlariga tayanib, ularni aynan o'tkazgich va sensorli tizimlarning mikrokontrollerli apparat integratsiyasi, interfeyslarni muvofiqlashtirish va raqamli signallarni uzatish algoritmlari bilan to'ldiradi.



3-rasm.

MUHOKAMA. Aqlli liboslar muhitida tekstil datchiklari va mikrokontrollerli qurilmalarni apparat darajasida integratsiya qilish masalalariga oid ilmiy adabiyotlar va texnologiyalar tahlili shuni ko'rsatadiki, xalqaro yo'nalishlar ko'proq materiallar muhandisligiga (MIT, Cornell) qaratilgan. Biroq, ushbu xalqaro texnologik yechimlar yuqori resurs talab qiluvchi xomashyo bazasiga tayangani sababli, ularni mahalliy ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirishda keng qo'llash hozircha texnik-iqtisodiy jihatdan cheklangan.

O'zbekiston ilmiy maktablarida esa, xususan professor S.Sh. Tashpulatov tadqiqotlarida, e-textile tizimlari elementlarining ob'ekt yuzasidagi topografik koordinatalarini 3D raqamli modellashtirish prinsiplari mukammal asoslangan bo'lib, bu datchiklar koordinatalarini geometrik sathda optimallashtirish imkonini beradi.



Ushbu tadqiqot doirasida muammoning eng muhim apparat-dasturiy yechimi muhokama qilindi. Tekstil datchiklarining elastik tabiati tufayli tana harakati davomida yuqori chastotali dinamik shovqinlar yuzaga keladi. Mikrokontrollerli qurilmalarning apparat resurslari cheklanganligini hisobga olib, analog signallarni dasturiy tozalashda yuqori hisoblash quvvatini talab qiladigan murakkab algoritmlar o'rniga, mikrodastur darajasida Eksponentsial silliqlash yoki past chastotali Raqamli Butternvort filtri algoritmlarini qo'llash texnik jihatdan eng samarali yechim hisoblanadi. Mikrokontroller ichiga olingan o'rnatilgan Analog-raqamli o'zgartirgich orqali raqamli ko'rinishga keltirilgan signal ushbu filtrlar yordamida dinamik xatoliklardan tozalanadi. Ma'lumotlarni tashqi monitoring markaziga uzatish esa Bluetooth Low Energy (BLE) 5.0 simsiz aloqa protokoli orqali amalga oshirilishi tizimning energiya samaradorligini ta'minlaydi.

XULOSA. Aqlli liboslar muhitida tekstil datchiklari va mikrokontrollerli qurilmalarni apparat darajasida integratsiya qilish texnologiyasini tadqiq etishga doir ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, sohada global miqyosdagi apparat-dasturiy prinsiplar bilan mahalliy maktablarning 3D topografik modellashirish yondashuvlari o'rtasida texnologik sintezni ta'minlash zarur. Sensorli elementlarning elastik tabiati tufayli yuzaga keladigan dinamik shovqinlarni real vaqt rejimida adaptiv filtrlash hamda mikrokontrollerli tizimlarning energiya samaradorligini ta'minlovchi mikro-dasturiy algoritmlarni ishlab chiqish hamon eng dolzarb muandislik muammosi bo'lib qolmoqda.

Kelajakda mahalliy yengil sanoat korxonalarida axborot-o'lchov tizimlarini rivojlantirish va monitoringni kuchaytirish uchun birlamchi o'zgartirgichlar topografiyasini apparat-dasturiy boshqaruv bloklari va simsiz aloqa protokollari bilan integratsiya qiluvchi, signal-shovqin nisbati optimallashtirilgan kompleks avtomatlashtirilgan tizimlarni va ularning matematik modellarini chuqur tadqiq etish talab etiladi.



ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni. To'qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatini rivojlantirishni yangi bosqichga olib chiqish chora-tadbirlari to'g'risida. 2024-yil 1-may, PF-71-son.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni. To'qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatida qayta ishlash zanjirini rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida. 2025-yil 16-yanvar, PF-6-son.
3. Tao, X. (Ed.). Smart Fibres and Fabrics. Woodhead Publishing, 2001. – 272 p.
4. Buechley, L., Eisenberg, M., Catchen, J., & Crockett, A. LilyPad Arduino: Using Computational Textiles to Investigate Engagement, Aesthetics, and Diversity in Computer Science Education. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2008, pp. 423-432.
5. Ismoilov, F. B., & Toirov, M. Z. To'qimachilik sanoati mashinalari va apparatlarini avtomatlashtirish. Darslik. Farg'ona: FarPI, 2023. – 240 b.
6. Tashpulatov, S. Sh., et al. Technological aspects of digital clothing design with smart fiber optic textiles. AIP Conference Proceedings, 2025, Vol. 3142, No. 1.
7. Cornell University Department of Fiber Science & Apparel Design. SeamFit Technology: Biomechanical and Capacitive Integration of Fabric Sensors. Technical Report, 2024.
8. MIT Media Lab (FibeRobo Research Group). Liquid Crystal Elastomer Actuators and Programmable Autonomous Fibers. Technical Paper, 2023.
9. Saralon & DuPont Technical Research. Stretchable Conductive Inks and Printed Electronics System Architecture for Flexible Garments. Technical Documentation, 2024.
10. Arzikulov, Kh. M., & Teshboyev, R. I. The advantages of smart textiles in modern textile technologies. Экономика и социум. 2025, 5(132), pp. 412-418.
11. Abdurakhmanova, N. D., & Kamilova, Kh. Kh. Systematization of women's uniforms for law enforcement agencies with "Smart Textiles". Science and Innovation International Scientific Journal. 2024, 3(B7), pp. 189-194.



12. Cherunova, I. V., Tashpulatov, S. Sh., Bobojonova, Sh. R., & Zufarova, Z. U. 3D Design of smart clothing: a biomechanical approach to integration of electronic technologies. The Journal of Almaty Technological University. 2026, 152(2), pp. 224-231.