

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.03/30.12.2019.T.03.02 RAQAMLI ILMY KENGASH**

---

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**ABDURAXMANOV ALIJON ABDULAXATOVICH**

**MAYDA DONADOR MATERIALLARNING ISSIQLIK NAMLIK  
XARAKTERISTIKALARINI TADQIQ QILUVCHI QURILMANI  
TAKOMILLASHTIRISH**

**05.03.01 – Asboblari. O'lchash va nazorat qilish usullari (texnika fanlari)**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2024**

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)**

**Abduraxmanov Alijon Abdulaxatovich**

Mayda donador materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini tadqiq qiluvchi qurilmani takomillashtirish.....3

**Абдурахманов Алижон Абдулахатович**

Совершенствование устройства для исследования тепловлажностных характеристик мелкозернистых материалов.....21

**Abdurakhmanov Alizhon Abdulakhatovich**

Improving the device for studying the heat and moisture characteristics of fine-grained materials.....39

**E’lon qilingan ishlar ro‘yxati**

Список опубликованных работ

List of published works .....43

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.03/30.12.2019.T.03.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**ABDURAXMANOV ALIJON ABDULAXATOVICH**

**MAYDA DONADOR MATERIALLARNING ISSIQLIK NAMLIK  
XARAKTERISTIKALARINI TADQIQ QILUVCHI QURILMANI  
TAKOMILLASHTIRISH**

**05.03.01 – Asboblar. O'lchash va nazorat qilish usullari (texnika fanlari)**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2024**

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.3.PhD/T598 raqam bilan ro‘yxatga olingan.**

Dissertatsiya Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) hamda “ZiyoNet” Axborot ta’lim portalida ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Uljayev Erkin**

texnika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponenlar:**

**Muhamedxanov Ulugbek Turgudovich**

texnika fanlari doktori, professor

**Jumayev Odil Abdimajitovich**

texnika fanlari doktori, professor

**Yetakchi tashkilot:**

**Andijon mashinasozlik instituti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.T.03.02 raqamli Ilmiy kengashning 2024-yil “\_\_\_” \_\_\_\_\_ soat \_\_\_ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko‘chasi, 2. Tel.: (99871) 246-46-00; faks: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (\_\_\_ raqam bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko‘chasi, 2. Tel.: (99871) 207-14-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil «\_\_» \_\_\_\_\_ kuni tarqatildi.  
(2024-yil “\_\_\_” \_\_\_\_\_ dagi \_\_\_ raqamli reestr bayonnomasi).

**N.R.Yusupbekov**

Ilmiy darajalar beruvchi  
ilmiy kengash raisi,  
t.f.d., professor, O‘zR FA akademigi

**U.F.Mamirov**

Ilmiy darajalar beruvchi  
ilmiy kengash ilmiy kotibi,  
texnika fanlari doktori (DSc), dotsent

**U.T.Muxamedxanov**

Ilmiy darajalar beruvchi  
ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,  
texnika fanlari doktori, professor

## **KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda oziq-ovqat, qurilish va farmatsevtika sanoati kabi turli sohalarda xomashyo sifatida foydalaniladigan mayda donador materiallarning sifatini baholashga alohida e'tibor qaratilmoqda. Bu borada, mayda donador materiallardan foydalanadigan ishlab chiqarish jarayonlarida mahsulot sifatiga ta'sir etuvchi asosiy parametrlarini, jumladan harorat va namlik ko'rsatkichlarini doimiy nazorat qilish va baholash bilan texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish orqali yakuniy ishlab chiqarilgan mahsulotning sifatini oshirishga doir bir qator muhim vazifalar amalga oshirilmoqda. Shu jihatdan, mayda donador materiallarning tarkibiy parametrlari, xilma-xilligi va murakkabligini inobatga olgan holda ularning turli sifat ko'rsatkichlarini bir vaqtning o'zida texnik va metrologik xossalarga ega o'lchash va nazorat qilish imkoniyatini beruvchi takomillashtirilgan o'lchash qurilmalarini ishlab chiqish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

Jahonda mayda donador materiallardan foydalanadigan ishlab chiqarish jarayonlari samaradorligini oshirish maqsadida, xususan uzluksiz oqimda xomashyoning harorati va namligini nazorat qilish imkoniyati ta'minlangan, o'lchash jarayonining tezkorligi va aniqligini oshirishga qaratilgan o'lchash usullari va vositalarini takomillashtirishga doir bir qancha ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, issiqlik usuliga asoslangan issiqlik namlik o'zgartkichlari yordamida xomashyoning asosiy sifat parametrlari sanaladigan harorat va namlik ko'rsatkichlarini o'lchash va nazorat qilish orqali texnologik jarayonlarni boshqarish tizimlarining sifat ko'rsatkichlarini ortishiga imkon beruvchi usullarni ishlab chiqish bo'yicha muhim vazifalar amalga oshirilmoqda. Shu jihatdan, uzluksiz oqimda mayda donador materiallarning harorati va namligini o'lchash va nazorat qilishda tezkorligi, sezgirligi va aniqligi yuqori bo'lgan ma'lumotlarni qayta ishlovchi, o'lchash natijalarini raqamli ko'rinishda boshqarish tizimiga masofadan uzatuvchi o'lchash vositalarini yaratish va takomillashtirish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Hozirgi kunda respublikamizda farmatsevtika va qurilish sanoatini tubdan takomillashtirishga yo'naltirilgan maqsadli chora-tadbirlar keng miqyosda amalga oshirilmoqda. 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi, jumladan, "... qurilish materiallari sohasini yanada rivojlantirish dasturini ishlab chiqish; ... farmatsevtika sanoati mahsulotlarini uch baravar; ... qurilish materiallarini ikki baravar ishlab chiqarish hajmini ko'paytirish; ... qurilishga ketayotgan vaqtni 30 foizga kamaytirish; ... qurilish tannarxini 20 foizga arzonlashtirish"<sup>1</sup> vazifalari belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan, farmatsevtika va qurilish sanoatidagi texnologik jarayonlarni takomillashtirish, uzluksiz oqimda mahsulotlarning harorati va namligini doimiy ravishda tezkor, aniq va ishonchli o'lchaydigan, yaratish texnologiyasi arzon, ko'p funksiyali, ma'lumotlarni masofadan uzatish imkoniga ega vositalarni ishlab chiqish hamda amaliyotga joriy etish nihoyatda muhim vazifa hisoblanadi.

---

<sup>1</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentyabrdagi PF-158-son “O‘zbekiston-2030” strategiyasi to‘g‘risida”gi farmoni va 2022-yil 21-fevraldagi PQ-139-son “Uy-joylar qurilishini va qurilish materiallari sanoatini qo‘llab-quvvatlashning qo‘shimcha chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarorida hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II. “Energiya, energiya va resurslarni tejash”, IV. “Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish” ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Jahonda mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog‘liqlik parametrlarini nazorat qiluvchi qurilmalarni nazariy va amaliy tomondan yaratish, takomillashtirish va amaliyotga qo‘llash masalalari bo‘yicha yetakchi ilmiy markazlar va muassasalarda, jumladan, Hydronix, Hewlett-Pascard (Buyuk Britaniya), Siemens, Ludwig Moisture Control (Germaniya), Wile Farmcomp (Finlyandiya), MoistScan (Avstraliya), RusAvtomatizatsiya (Rossiya) hamda oliy ta‘lim muassasalaridan Qirolicha Meri Universiteti (Buyuk Britaniya), Tokio texnologiya instituti (Yaponiya) va Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida ham keng qamrovli ilmiy-tadqiqot ishlari amalga oshirilmoqda.

Mazkur tadqiqot yo‘nalishi bo‘yicha P.M.Cornish<sup>1</sup>, S.O.Nelson<sup>2</sup>, B.Wang<sup>3</sup>, Qi-Jun Zhang<sup>4</sup>, M.A.Berliner<sup>5</sup>, Ye.S.Krichevskiy<sup>6</sup>, S.V.Artemova<sup>7</sup> hamda boshqa xorijlik olimlar izlanishlar olib borgan. Shuningdek, respublikamizning taniqli olimlari N.R.Yusupbekov<sup>8</sup>, X.Z.Igamberdiyev<sup>9</sup>, P.R.Ismatullayev<sup>10</sup>, P.M.Matyakubova<sup>11</sup>, Sh.M.Gulyamov<sup>12</sup>, R.K.Azimov<sup>13</sup>, E.Uljayev<sup>14</sup>, va boshqalar o‘zlarining katta hissalarini qo‘shganlar.

<sup>1</sup> Cornish, P., Laryea, K., & Bridge, B. (1973). A nondestructive method of following moisture content and temperature changes in soils using thermistors. *Soil Science*, 115, pp. 309–314.

<sup>2</sup> Stuart O. Nelson, Samir Trabelsi Historical development of grain moisture measurement and other food quality sensing through electrical properties // *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*. 2016. Vol. 19, Issue: 1, – pp. 16-23.

<sup>3</sup> B.Wang, Z.Fan, P.Lv, J.Zhao, & Y.Song (2017). Measurement of effective thermal conductivity of hydrate-bearing sediments and evaluation of existing prediction models. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 110, – pp. 142-150.

<sup>4</sup> Zhang Q.J., Gupta K.C. *Neural Networks for RF and Microwave Design*. – Artech House, Boston, London, 2000. – 392 p.

<sup>5</sup> Берлинер М.А. Измерения влажности. Изд. 2-е, перераб. и доп., М.: Энергия, 1973. – 400 с.

<sup>6</sup> Кричевский Е.С., Волченко А.Г., Галушкин С.С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов, М.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.

<sup>7</sup> Артемова С.В. Решение задачи структурного построения программного обеспечения интеллектуального датчика влажности // Программные продукты и системы. 2013. №3, – С. 272-276.

<sup>8</sup> Yusupbekov N., Adilov F. Development and Improvement of Systems of Automation and Management of Technological Processes and Manufactures // *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*. – 2017. – Т. 11. – №. 3.

<sup>9</sup> Юсупбеков, Н.Р., Игамбердиев, Х.З., Гулямов, Ш.М. 2007. Информационные технологии автоматизации производственных процессов. *Химическая технология. Контроль управления*, (1), p.50.

<sup>10</sup> Исмагуллаев П.Р., Рахманов О.Т., Жаббаров Х.Ш. Высокочастотный метод и устройство для измерения влажности твердых и сыпучих материалов // *Химическая технология. Контроль и управления*. 2012. №1, – С. 32-35.

<sup>11</sup> Матякубова П.М. Методы и технические средства контроля параметров влаготепловой обработки зерновой продукции. // Автореф. дисс. док. тех. наук. – Ташкент. 2009. – 46 с.

<sup>12</sup> Гулямов Ш.М., Игамбердиев Х.З., Ниязов З.К., Матякубова П.М. Автоматизированное управление процессом приемки зерна на мукомольном предприятии // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2008. №4, – С.4-7.

<sup>13</sup> Азимов Р.К. Измерительные преобразователи с тепловыми распределенными параметрами. Москва, издательство Энергия, 1977

<sup>14</sup> Улжаев Э. ва б., Сочилувчан материалларнинг сифимли нам ўлчагичи // Ихтиро учун гувоҳнома № IAP 05578, 17.03.2018 й.

Mayda donador materiallar ko'p tarkibli, fizik-kimyoviy murakkab xususiyatlarga ega bo'lib, bu muammoni yechishga qaratilgan ko'plab ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Shu bilan birgalikda mayda donador sochiluvchan materiallarning harorati va namligini o'lchashda, monitoring qilishda, issiqlik usuliga asoslangan issiqlik namlik o'zgartkichlarining tuzilishi, mikroprotessorli intellektuallashtirilgan texnologiyalarning qo'llanilishi, xarakteristikalarini o'zgarishi va ularning konstruksiyalarini yanada takomillashtirish imkoniyatlari yetarli darajada o'rganilmagan.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining OT-A3-57-sonli "Nanostrukturali kremniy o'zgartkichlar asosida turli obyektlarning harorati va namligini nazorat qiluvchi mikroprotessorli o'lchash asbobini ishlab chiqish" (2017-2018) loyihasi doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** uzluksiz oqimda mayda donador materiallar xarakteristikalarining haroratga bog'liqligini nazorat qiluvchi takomillashtirilgan o'lchash qurilmasini yaratishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

uzluksiz oqimda mayda donador sochiluvchan materiallar harorati va namligini o'lchash qurilmalarini yaratish nazariyasi va amaliyotga joriy etilganlik darajasining zamonaviy holatini tahlil etish;

mayda donador sochiluvchan materiallarni issiqlik namlik xossalariga ko'ra tadqiq qilishda issiqlik oqimining taqsimlanishini yuqori aniqlik bilan tadqiq qilish va baholash imkoniyatini beradigan qurilmaning fizik va matematik modellarini yaratish;

mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog'liqlik parametrlarini tadqiq qiluvchi qurilmani strukturaviy va parametrik loyihalash usullari va algoritmlari asosida takomillashtirish;

mayda donador sochiluvchan materiallarning harorati va namligini nazorat qilish uchun issiqlik usuliga asoslangan quvurli namlik o'lchash qurilmalarining asosiy statik va dinamik xarakteristikalarini aniqlash;

mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog'liqlik parametrlarini tadqiq qiluvchi qurilmaning tajriba namunasini ishlab chiqish hamda amaliyotga joriy etish.

**Tadqiqotning obykti** mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog'liqlik parametrlarini nazorat qiluvchi takomillashtirilgan qurilma va uni o'lchash sxemasi hisoblanadi.

**Tadqiqotning predmeti** mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog'liqlik parametrlarini tadqiq qilishda issiqlik usuliga asoslangan issiqlik namlik o'zgartkichlari va ularning o'lchash sxemasini takomillashtirish usullaridan iborat.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot ishini bajarish davomida taqsimlangan issiqlik parametrlariga ega o'zgartkichlarni loyihalash usullari, matematik modellashtirish usullari, namlikni o'lchash usullari, nazariyalari, o'lchash natijalarini qayta ishlash qonuniyatlari va ehtimollik nazariyalaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

quvurli o'zgartkichlar bo'ylab issiqlik oqimining taqsimlanishini yuqori aniqlik bilan tadqiq qilish va baholash imkoniyatini beradigan, to'rt qutbli sxemalar nazariyasiga asoslangan bir va bir jinsli bo'lmagan quvurli issiqlik namlik o'zgartkichlarining fizik va matematik modellari ishlab chiqilgan;

mayda donador sochiluvchan materiallarning harorat va namligini o'lchash qurilmasining tuzilishini, asosiy elementlarining aniqlik va tezlik mezonlariga ko'ra optimallashtirish uchun zarur bo'lgan asosiy elementlarining maqbul kattaliklarini tanlashga imkon beruvchi morfologik jadvallari ishlab chiqilgan;

issiqlik usuli asosida mayda donador sochiluvchan materiallarning harorati va namligini yuqori aniqlikda nazorat qiluvchi o'lchash qurilmasining turli muhitlarda qanchalik aniqlik va tezkorlik bilan ishlashini baholashga imkon beruvchi statik va dinamik xarakteristikalar qurilgan;

mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini tadqiq qilish uchun taqsimlangan issiqlik parametrlariga ega quvurli o'tkazgich asosida tuzilgan, issiqlikka o'ta sezgir va uni kam sezuvchi bo'lgan uchta qismdan tashkil topgan takomillashtirilgan o'lchash qurilmasi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlikka bog'liqlik parametrlarini tezkor ravishda aniqlovchi qurilmaning konstruksiyasi ishlab chiqilgan. O'tkazilgan hisoblar va tadqiqotlar natijasida uning entropiya xatoligi 0.6 % ekanligi ko'rsatilgan;

mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini tadqiq qiluvchi takomillashtirilgan qurilmaning maqbul konstruksiyasi va sxemasini loyihalashga yordam beruvchi morfologik jadval va qurilma elementlarini sezgirlik, tezlik va chiziqlilik me'zonlari asosida hisoblash usuli ishlab chiqilgan;

mayda donador sochiluvchan materiallarning 0-90 °C harorat va 0-20 % namlik diapazonlarida o'lchash imkoniyatini beruvchi takomillashtirilgan qurilma ishlab chiqilgan;

ishlab chiqilgan o'lchash asbobi "Texnik me'yorlash va standartlashtirish ilmiy tadqiqot instituti"ning ko'p tarmoqli sinov laboratoriyasida sinovdan o'tkazilib, uning metrologik xarakteristikalari aniqlangan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Namlik va haroratni o'lchashda haroratga bog'liqlik parametrlarini tadqiq qiluvchi o'zgartkichlar tahlili, ishlab chiqarishda zamonaviy ilmiy tadqiqot va standart usullaridan foydalanilgan holda olib borilgan bo'lib, mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog'liqlik parametrlarini tadqiq qiluvchi qurilmani yaratishda amalga oshirilgan eksperimental tajriba ishlari, hisob-kitob natijalariga o'zaro mosligi bilan asoslangan.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati turli mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog'liqlik parametrlarini tadqiq qilishda, funksional imkoniyatlari bilan keskin ajralib turadigan va yuqori aniqlik bilan tadqiqotlar o'tkazishni ta'minlovchi,



issiqlik usuliga asoslangan o'lchash qurilmalarini takomillashtirishga imkon beradigan matematik modellar, algoritmlar va konstruktiv yechimlar ishlab chiqilganligi bilan belgilanadi.

Dissertatsiyaning amaliy ahamiyati, uzluksiz oqimda mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog'liqlik parametrlarini nazorat qiluvchi, issiqlik usuliga asoslangan o'lchash qurilmalarini sezgirlik, aniqlik, tezkorlik, statik va dinamik xarakteristikalarining chiziqlilik tamoyillariga ko'ra takomillashtirish orqali undan foydalanishda o'lchashlarga sarflanadigan vaqtni sezilarli darajada kamaytirish va tezkor o'lchovlarni amalga oshirish mumkinligi bilan asoslanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Mayda donador materiallarning haroratga bog'liqlik parametrlarini tadqiq qiluvchi mikroprotessorli takomillashtirilgan o'lchash qurilmasini ishlab chiqish asosida:

quvurli issiqlikka sezgir, mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog'liqlik parametrlarini tadqiq qiluvchi o'lchash qurilmasi uchun O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi Intellektual mulk agentligi tomonidan ixtiro uchun (IAP 06143-sonli) patent berilgan. Natijada o'lchash vositasini qurishning asosiy prinsiplari va fizik modeli yaratilgan hamda harorat va namlikni uzluksiz oqimda o'lchash orqali ishlab chiqarish sohasida texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish imkoniyati yaratilgan;

mayda donador sochiluvchan materiallarning harorati va namligini tadqiq qiluvchi o'lchash qurilmasi O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi tarkibidagi «Texnik me'yorlash va standartlashtirish ilmiy tadqiqot instituti» DK ko'p tarmoqli sinov laboratoriyasida joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2024-yil 24-06/256-son ma'lumotnomasi). Natijada mayda donador sochiluvchan materiallarning harorati va namligi to'g'risidagi o'lchash ma'lumotlarini talab etilgan aniqlikda tezkorlik bilan olish imkoniyatiga erishilgan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Ushbu tadqiqot natijalari 5 ta xalqaro ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokama qilingan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 16 ta ilmiy ish, shulardan 6 tasi – O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlardagi maqolalar, jumladan, 2 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan. Shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi Intellektual mulk agentligi tomonidan tasdiqlangan 1 ta ixtiro uchun patent hamda 1 ta dasturiy ta'minot uchun guvohnoma olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya ishi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiya hajmi 110 betni tashkil etadi.

## **DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI**

**Kirish** qismida o'tkazilgan tadqiqot ishining dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obyekt va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi aniqlangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy

natijalari bayon qilingan, olingan natijalar asosida ilmiy va amaliy ahamiyati yoritib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar berilgan.

Dissertatsiyaning **“Mayda donador materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini tadqiq qiluvchi usullar va mavjud o'lchash qurilmalari”** deb nomlangan birinchi bobida mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlik namlik xossalariga asoslangan namlikni o'lchash usullari va vositalari tahlil qilingan. Uzluksiz oqimda mayda donador sochiluvchan materiallarning harorat va namlik ko'rsatkichlarini o'lchash va nazorat qilish uchun usullar va asboblarni rivojlantirishning umumiy masalalari, rentgen nurlarining diffraksiyasi, infraqizil termografiya, yadro magnit-rezonans spektroskopiyasi, vaqt-domen reflektometriyasi usullari, qolaversa termogravimetrik analizator hamda lazer tasvirli qurilmalar, issiqlik mikroskopiyasi asboblari, sig'imli, optik tolali o'zgartkichlarning qurish prinsiplari, afzalliklari va kamchiliklari tahlil qilingan.

Ishda zamonaviy mikroprotessorli vositalar bilan qo'llashni qulayliklari, funksional imkoniyatlari, konstruktiv va boshqa xususiyatlarini, ishlash rejimlarini o'rganish asosida mayda donador sochiluvchan materiallarining issiqlik namlik parametrlarini nazorat qilish uchun issiqlik usuliga asoslangan o'lchash qurilmalari tahlil etilib, ularni takomillashtirishning ustuvor yo'nalishlari keltirilgan va asoslangan.

Ishda xorijiy firma va korxonalar, shuningdek, respublikamiz olimlari tomonidan ishlab chiqilgan namlik o'lchash asboblari tahlil qilingan. Masalan, galogen qizdirgichli “Analizator HX204”, universal keng polosali “VIMS-3” dealkometrik o'zgartkichi, vaqt-domen reflektometriyasiga asoslangan “SONO-VARIO Xtrem LD” qurilmasi, M-Sens 2 namlik o'lchagichi hamda ToshDTU olimlari tomonidan ishlab chiqilgan namlik o'lchash asboblari tahlil qilingan. Boshqa usullardan farqli o'laroq, issiqlik fizik xossalariga asoslangan issiqlik namlik o'zgartkichlari soddaligi, qo'shimcha elementlarni talab qilmasligi, uzluksiz oqimda yaxshi ishlay olish imkoniyatlari bilan ajralib turadi.

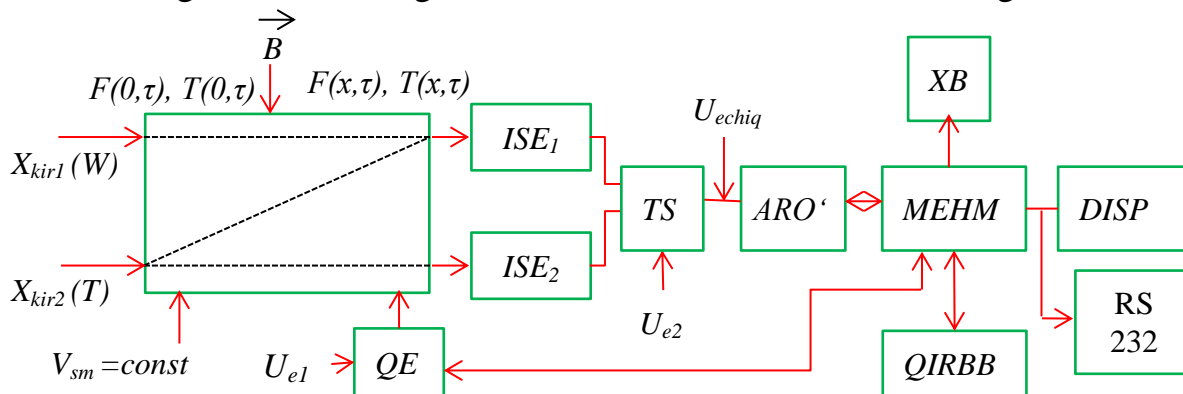
Issiqlik fizik xossalariga asoslangan issiqlik namlik o'zgartkichlarining muhim kamchiliklaridan biri bu qizdirish uchun quvvat sarfining yuqoriligi va haroratning taqsimlanish qonuniyatlarini murakkabligidir. Shu sababli yillar mobaynida issiqlik usuliga asoslangan o'lchash qurilmalari ustida yetarli tadqiqotlar olib borilmagan. Chunki issiqlikning yo'qotilishi bu turdagi o'lchash qurilmalarining samaradorligini kamaytiradi. Yuqorida sanab o'tilgan kamchiliklarni chetlab o'tib, uzluksiz oqimda muntazam ishlay oladigan, standart talablariga javob beradigan zamonaviy o'lchash o'zgartkichlarini yaratish mumkin. Shuning uchun mayda donador sochiluvchan materiallarning harorati va namligini nazorat qilish uchun issiqlik namlik o'zgartkichlarini tadqiq etish va ishlab chiqish dolzarb vazifa hisoblanadi.

Dissertatsiyaning **“Mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini tadqiq qiluvchi takomillashtirilgan o'lchash qurilmasini matematik modellashtirish”** deb nomlangan ikkinchi bobida qurilmaning takomillashtirilganligi mayda donador materiallarning issiqlik namlik

xarakteristikalarini tadqiq qilishda ko‘priki o‘lchash sxemalari, analog raqamli o‘zgartkichlar, kengaytirilgan xotiraga ega mikrokontrollerlar asosida qurilgan mikroEHM bilan asoslangan. Keltirilgan takomillashtirilgan o‘lchash qurilmasining funksiyalariga berilgan dasturga muvofiq ma’lumotlarni qayta ishlash, qizdirish elementining haroratini yuqori aniqlik bilan nazorat qilish uchun boshqaruv ma’lumotini shakllantirish, mayda donador materiallarning o‘lchangan parametrlari to‘g‘risida ishonchli ma’lumot beradigan signalni qayta ishlash kabilar kiradi.

Shuningdek takomillashtirilgan o‘lchash qurilmasi atrof-muhit harorati va namligi o‘zgarishi natijasida yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan xatoliklarning oldini olish, noaniq mantiqiy ma’lumotlarning mavjudligi bilan bog‘liq xatoliklarni to‘g‘irlash, moslashishni amalga oshirish, olingan ma’lumotlarning ishonchligini baholash va o‘z-o‘zini kalibrlash orqali takomillashtirilgan. Tadqiq etilayotgan o‘lchash qurilmasining takomillashtirilganligi statik va dinamik tavsiflarni hisoblash va shakllantirishda o‘lchash natijalari ma’lumotlaridan yuqori darajada samarali foydalanish imkoniyatini beradi.

Ishda issiqlik fizik xossalari asoslangan, bir jinsli va bir jinsli bo‘lmagan takomillashtirilgan harorat va namlik o‘lchash qurilmalarining matematik va fizik modellari tadqiq qilinib, ularning eksperimental natijalarga mosligi aniqlangan. Tajriba ishlarida ko‘rib chiqilgan takomillashtirilgan harorat va namlik o‘lchash qurilmalarining umumlashtirilgan struktura sxemasi 1-rasmda keltirilgan.



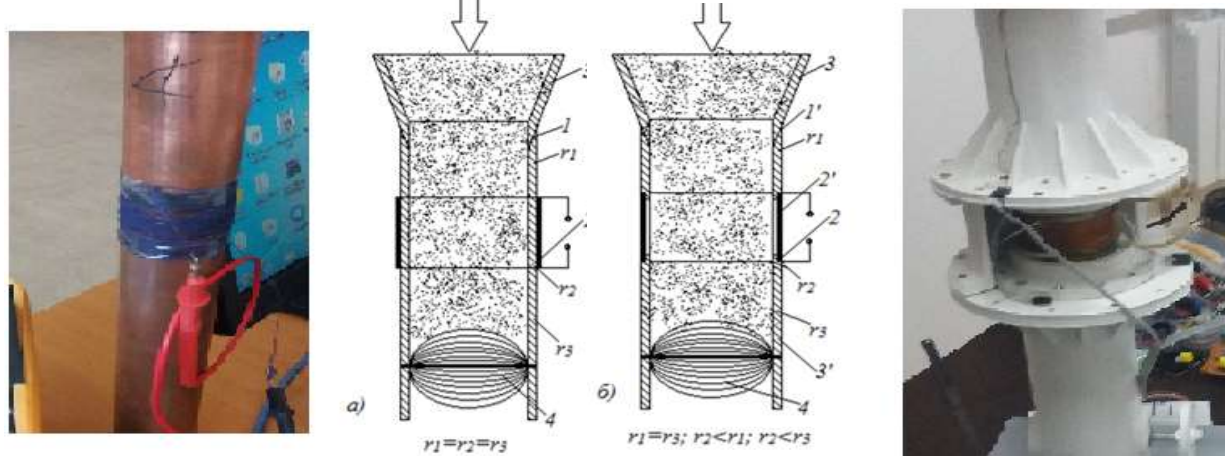
1-rasm. Takomillashtirilgan qurilmaning umumlashtirilgan struktura sxemasi.

Qurilmaning ishlash prinsipi tadqiq qilinayotgan materialning harorati  $X_{kir2}(T)$  va namligiga  $X_{kir1}(W)$  bog‘liq bo‘lgan parametrlar, issiqlik oqimi va  $F(0, \tau)$  uning tarqalishiga  $F(x, \tau)$ , qolaversa o‘zgartkich bo‘ylab dastlabki harorat  $T(0, \tau)$  hamda uning taqsimlanishi  $T(x, \tau)$  bo‘yicha issiqlik fizik qonunyatlariga muvofiq tahlil qilinib, tashqi ta’sirlarni hisobga olgan holda harorat va namlikni nazorat qilishga asoslangan. Umumiy holda, quvurli o‘tkazgich asosidagi issiqlik namlik o‘zgartkichining umumlashtirilgan matematik modelini quyidagi tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$X_{chIQ}(\tau) = F_1(\vec{B})[F_2 X_{kir1}(W), X_{kir2}(T), \vec{B}] \Phi(0, \tau).$$

Bu yerda,  $F_1$  va  $F_2$  operatorlar  $\Phi(0, x)$  issiqlik oqimining quvurli issiqlik o‘tkazgich bo‘yicha harorat taqsimotini o‘zgartirish jarayonini aks ettiradi.

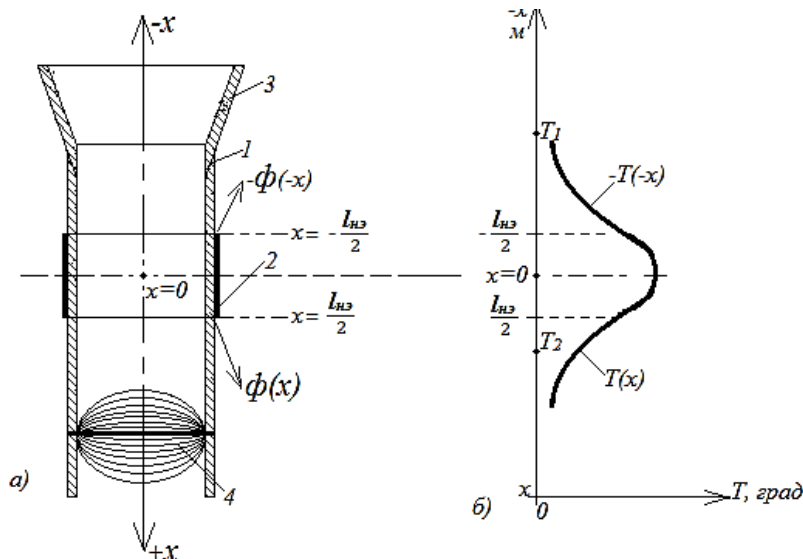
Umumlashgan struktura sxemasi asosida bir jinsli va bir jinsli bo‘lmagan (2-rasm) mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog‘liqlik parametrlarini nazorat qiluvchi qurilmalarning fizik modellari tadqiq qilingan.



2-rasm. Mayda donador sochiluvchan materiallarning haroratga bog‘liqlik parametrlarini nazorat qiluvchi qurilmalarning fizik modellari.

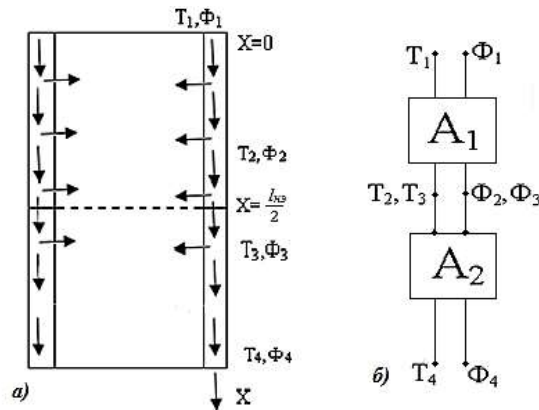
Bu yerda a) – bir jinsli quvurli issiqlik o‘tkazgich; b) – tarkibli (bir jinsli bo‘lmagan) quvurli issiqlik o‘tkazgich; 1,1’,2’,3’ – issiqlik o‘tkazgich bo‘laklari; 2 – qizdiruvchi element; 3 – bunker; 4 – sharli ta’minlovchi.

Bir jinsli va bir jinsli bo‘lmagan issiqlik namlik o‘zgartkichlarining fizik modellari ustida o‘tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijasi issiqlik oqimi va haroratning taqsimlanishi quyidagicha bo‘lishini ko‘rsatdi (3-rasm):



3-rasm. Bir jinsli issiqlik namlik o‘zgartkichi a) va issiqlik oqimining tarqalish grafigi b).

Mayda donador sochiluvchan materiallarning bir jinsli issiqlik namlik o‘zgartkichining matematik modelini tuzish uchun uning issiqlik tizimini issiqlik to‘rtqutbliligi sifatida (4-rasm) tasavvur etish tavsiya etilgan, kirish kattaliklari sifatida harorat  $T$  va issiqlik oqimi  $F$  dan foydalanilgan.



4-rasm. Bir jinsli quvurli issiqlik namlik o'zgartgichning fizik modeli a) va operatorli shakli b).

Bu yerda  $A_1$  va  $A_2$  – issiqlik to'rtqutbliklari;  $T_1, \Phi_1$  –  $A_1$  to'rtqutblik kirishidagi harorat va issiqlik oqimi,  $T_2, \Phi_2$  –  $A_1$  to'rtqutblik chiqishidagi harorat va issiqlik oqimi;  $T_3, \Phi_3$  –  $A_2$  to'rtqutblik kirishidagi harorat va issiqlik oqimi,  $T_4, \Phi_4$  –  $A_2$  to'rtqutblik chiqishidagi harorat va issiqlik oqimi.

Issiqlik tizimining tahlilini soddalashtirish maqsadida, bir jinsli qurilma tizimi parametrlari ko'rib chiqilgan. Bu yerda quyidagi cheklanishlar qabul qilingan: issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $\alpha = const$  bo'lganda  $r_1 = r_2 = r_3$ , quvurli o'tkazgichning diametri  $D = const$  va issiqlik miqdorining quvurli o'tkazgich yuzasi bo'yicha bir tekis taqsimlanishi  $\frac{l^2 R_{qe}}{l_{qe}} = const$ . U holda tizimning matritsa ko'rinishida matematik modulini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \left| \begin{array}{c} T_1(x, p) \\ \Phi_1(x, p) \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} T_q(x, p) \{ch[\gamma(p)x] - 1\} + \frac{r}{\gamma(p)} \Phi_q(x, p) sh[\gamma(p)x] \\ \frac{T_q(x, p)}{Z(p)} sh[\gamma(p)x] + \Phi_q(x, p) \{1 - ch[\gamma(p)x]\} \end{array} \right| = \\ = \left| \begin{array}{cc} A(x, p) & B(x, p) \\ C(x, p) & D(x, p) \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} T_1(0, p) \\ \Phi_1(0, p) \end{array} \right|. \end{aligned}$$

Bunda  $A_1$  va  $A_2$  to'rtqutbliklarning parametrlari quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

$$\begin{aligned} A_1(x, p) &= A_2(x, p) = ch[\gamma(p)x]; \\ B_1(x, p) &= B_2(x, p) = -Z(p)sh[\gamma(p)x]; \\ C_1(x, p) &= C_2(x, p) = -\frac{1}{Z(p)}sh[\gamma(p)x]; \\ D_1(x, p) &= D_2(x, p) = ch[\gamma(p)x]. \end{aligned}$$

Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan issiqlik namlik o'zgartkichlarining fizik modellari va ularning ishlash prinsiplari o'xshashligi tufayli ushbu ikkala fizik modellarga oid matematik modellar ham umumiydir. Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan quvurli o'tkazgichli fizik modellarning asosiy farqi quyidagidan iborat: bir jinsli modellarda  $r_1 = r_2 = r_3$ , bir jinsli bo'lmagan modellarda esa  $r_1 = r_3$  ga teng bo'ladi, ammo  $r_2 < r_1$  ba  $r_2 < r_3$  bo'lishi kerak.

Natijada mayda donador materiallarning xarakteristikalarini tahlil etish uchun umumiy matematik modelni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin.

$$T_1(x) = T_0(0)ch\gamma(x) + \frac{q}{g}(1 - ch\gamma(x)) = \left[T_1(0) - \frac{q}{g}\right]ch\gamma(x) + \frac{q}{g}.$$

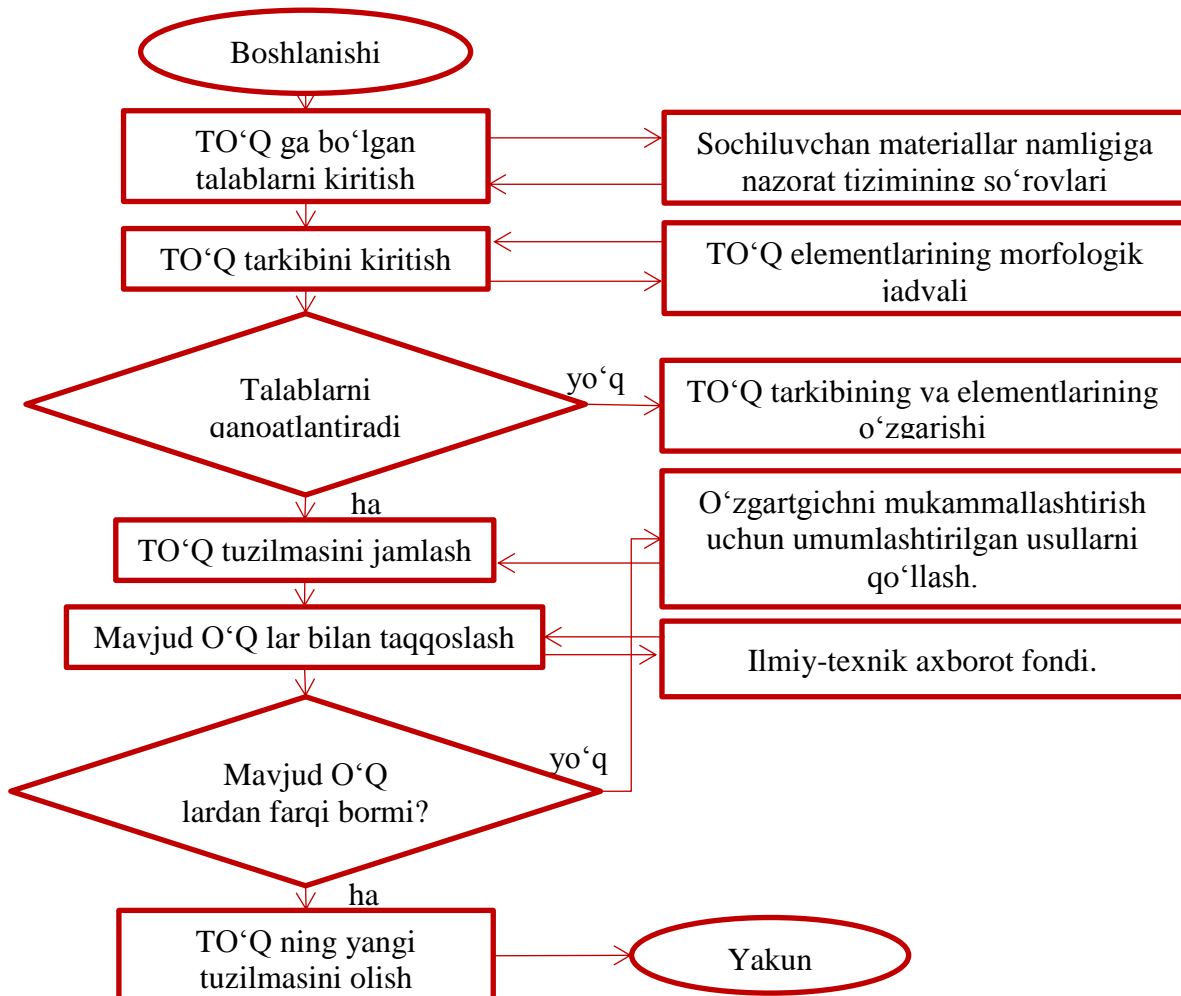
$$T_2(x) = T_3\left(\frac{l_{qe}}{2}\right)ch\gamma_2(x) - Z_2\Phi_2\left(\frac{l_{qe}}{2}\right)sh\gamma_2(x)x = T_2\left(\frac{l_{qe}}{2}\right)e^{-r_2(x)x}.$$

Yuqorida keltirilgan tahlillarga asoslanib bir jinsli bo‘lmagan quvurli issiqlik o‘zgartgichining matematik modelini tuzish mumkin:

$$T_1(x) = \frac{q}{g} \left\{ 1 - \frac{ch[\sqrt{r_2(c_2p + g)} \cdot x]}{ch[\sqrt{r_2(c_2p + g)}] + \frac{\sqrt{r_2(c_2p + g)}}{\sqrt{r_3(c_3p + g)}} \cdot sh\left[\sqrt{r_2(c_2p + g)} \cdot \frac{l_{qe}}{2}\right]} \right\}.$$

$$T_2(x) = \frac{\sqrt{r_2(c_2p + g)}}{\sqrt{r_3(c_3p + g)}} \left[ \frac{q}{g} - T_1(0) \right] sh\left[\sqrt{r_2(c_2p + g)} \cdot \frac{l_{qe}}{2}\right] e^{-(x - \frac{l_{qe}}{2})\sqrt{r_3(c_3p + g)}}.$$

Matematik modellarga asoslanib, bir jinsli bo‘lmagan issiqlik namlik o‘zgartkichini loyihalash algoritmi yaratilgan (5-rasm).



5-rasm. Mayda donador materiallarning issiqlik namlik xossalarini takomillashtirilgan o‘lchash qurilmasining maqbul tarkibini loyihalash algoritmining blok-sxemasi.

Olingan natijalar asosida yaratilgan takomillashtirilgan mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini tadqiq qiluvchi qurilmaning A kesimda ko‘rinishi dissertatsiya ishida keltirilgan.

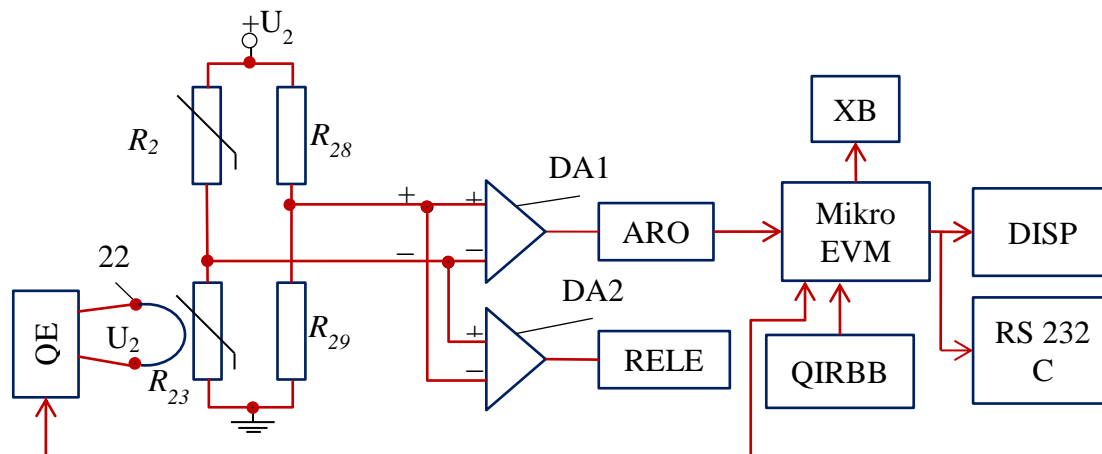
Yuqoridagilardan kelib chiqib, mayda donador materiallar uchun issiqlik namlik o‘lchash qurilmasi uchun o‘lchash sxemasi ishlab chiqildi va tanlangan o‘lchash sxemasi asosida qurilmaning real vaqtdagi statik va dinamik xarakteristikalari tadqiq qilindi.

Mayda donador materiallar uchun issiqlik namlik o‘lchash qurilmasining loyihalash algoritmi blok-sxemasiga muvofiq takomillashtirish natijasida qurilma intellektual mulk agentligi tomonidan IAP 06143 raqamli patent bilan tasdiqlangan.

Dissertatsiyaning «**Mayda donador materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini tadqiq qiluvchi takomillashtirilgan o‘lchash qurilmasining tajriba namunasi va loyihalash algoritmi**» deb nomlangan uchinchi bobida taklif etilgan mayda donador materiallarning issiqlik namlik parametrlarini takomillashtirilgan o‘lchash qurilmasining tajribaviy namunasi 6-rasmda keltirilgan.



6-rasm. Mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlik namlik parametrlarining takomillashtirilgan o‘lchash qurilmasining tajribaviy namunasi.



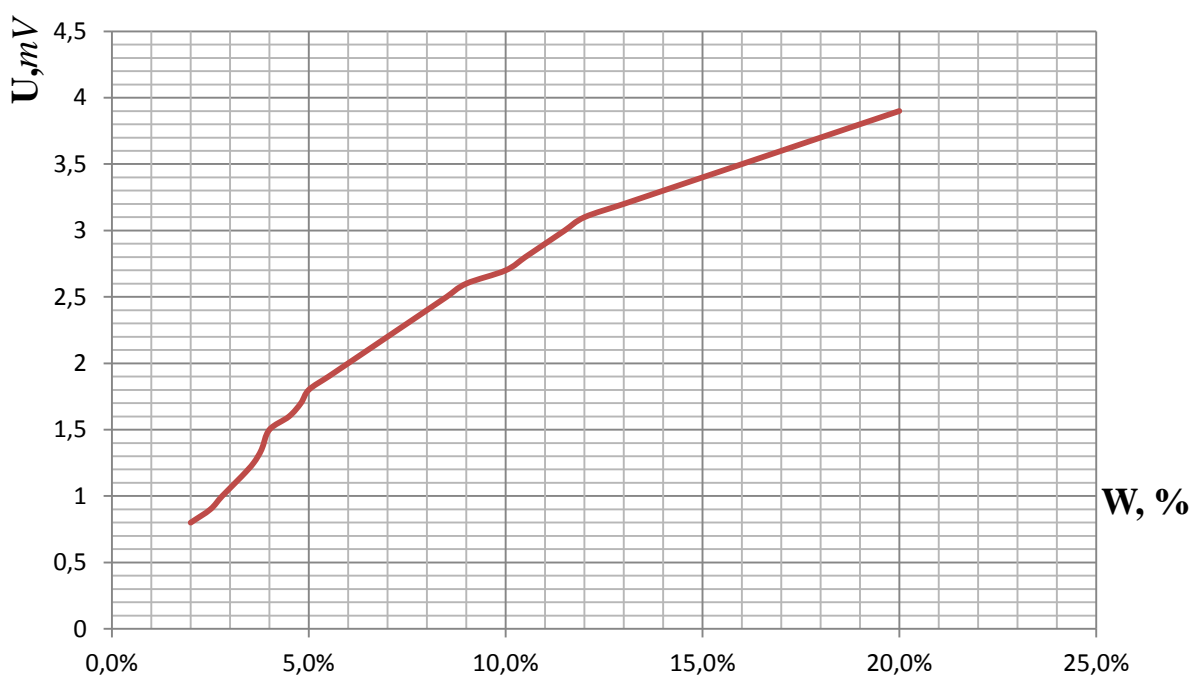
7-rasm. Mayda donador materiallarning issiqlik namlik parametrlarini takomillashtirilgan o‘lchash qurilmasining sxemasi.

Yuqorida keltirilgan sxemaga ko‘ra (7-rasm) ikkita aralash faol yelkali ko‘prik sxemasidan foydalanganda chiqish signali quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$U_{chiq} = U_k \frac{K}{(K + 1)^2} [\varepsilon_1(W) + \varepsilon_1(T) - \varepsilon_2(T)].$$

Bunda  $K$  – ko‘prik o‘lchash sxemasining simmetriya koeffitsiyenti;  $\varepsilon_1(W)$  – sochiluvchan material namligi o‘zgarishidagi qarshilikning nisbiy o‘zgarishi;  $\varepsilon_1(T)$  - sochiluvchan material oqimi haroratining o‘zgarishidagi  $R_{20}$  qarshilikning nisbiy o‘zgarishi;  $\varepsilon_2(T)$  - sochiluvchan material oqimi haroratining o‘zgarishidagi  $R_{23}$  qarshilikning nisbiy o‘zgarishi.

Mazkur formula issiqlik namlik parametrlarini tadqiq qiluvchi qurilmaning ikkita ish rejimlari uchun ya’ni isitish elementining doimiy quvvatida ( $P_{qe} = const$ ) va qizdirish elementlarigacha hamda qizitish elementi yuzasida doimiy haroratlar farqi ( $\Delta T = const$ ) bo‘lgandagi holatlar uchun tatbiq etildi. Natijada  $P_{qe} = const$  rejimida qurilmaning statik harakteristikasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ldi.



8-rasm. Sochiluvchan material uchun namlik issiqlik o‘zgartgichining statik xarakteristikasi.

O‘rganilayotgan issiqlik o‘zgartgichida yarimo‘tkazgichli qarshilik termometrlari ko‘rinishidagi termosezgir elementlar bilan  $P_{qe} = const$  rejimida katta sezgirlik kuzatildi. Sochiluvchan materiallarning namlik issiqlik o‘zgartkichlar ining bunday ishlashi texnik jihatdan eng sodda hisoblanadi.

Sochiluvchan materiallar qo‘llaniladigan ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarish va nazorat etish tizimlari tomonidan namlik o‘zgartkichlariga bo‘lgan talablarni hisobga olgan holda, ushbu o‘zgartkichlar ning dinamik xarakteristikalarida o‘tish jarayonining vaqt doimiysi kattaligi muhim hisoblanadi.



Umumiy holda, sochiluvchan materiallarning quvurli issiqlik namlik o'zgartgichining  $W(p)_{inuu}$  uzatish funksiyasini issiqlik o'tkazgichning asosiy elementlarini: issiqlik uzatgich, qizdirish elementi va termosezgir elementlarni inobatga olgan holda, quyidagicha ifodalash mumkin.

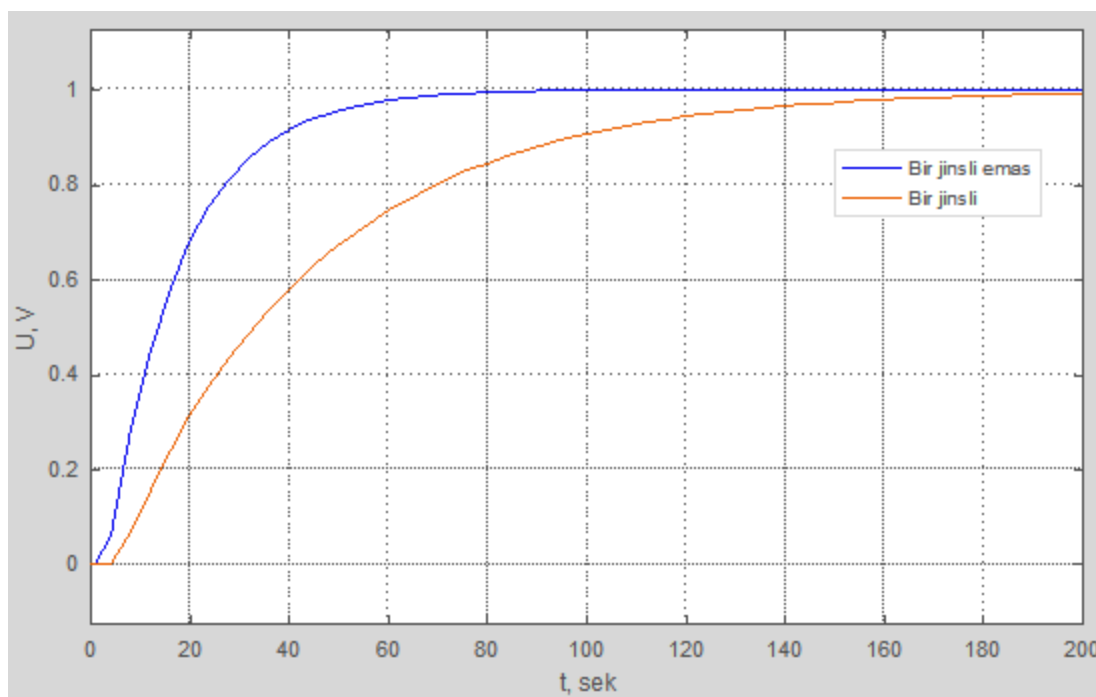
$$W(p)_{inuu} = W(p)_{iu} \cdot W(p)_{qe} \cdot W(p)_{tse},$$

bu yerda  $W(p)_{iu}$ - issiqlik uzatgichning uzatish funksiyasi;  $W(p)_{qe}$ - qizdirish elementining uzatish funksiyasi;  $W(p)_{tse}$ - termosezgir elementning uzatish funksiyasi.

Eksperimental tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, dinamik xarakteristika, diametri  $D = 50 \cdot 10^{-3}m$  va devor qalinligi  $\delta = 0,2 \cdot 10^{-3}m$  bo'lgan mis quvurli bir jinsli bo'lmagan issiqlik uzatgich uchun quyidagi chegaralarda bo'ladi:

$$T_{vaqt\ tajz} = 4 \div 5 \text{ sek}.$$

Tajriba ishlari natijasida qumning namligini nazorat qilishda bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan quvurli issiqlik o'zgartkichlarining o'tish jarayoni egri chizig'i grafigi 9-rasmda keltirilgan.



9-rasm. Qumning namligini nazorat qilishda bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan quvurli issiqlik o'zgartkichning o'tish jarayoni egri chizig'i.

Olingan tadqiqot natijalariga ko'ra vaqt doimiysi kattaligi nuqtayi nazaridan, o'lchash bo'lagi yupqa devorli mis quvurdan yasalgan bir jinsli bo'lmagan o'zgartgichning dinamik xarakteristikasi yaxshi hisoblanadi.

Dissertatsiyaning «**Mayda donador materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini takomillashtirilgan o'lchash qurilmasining metrologik tavsiflari**» deb nomlangan to'rtinchi bobida o'lchash qurilmasi tajriba namunasining ishonchlilik oralig'i va xatoliklar taqsimoti o'rganildi.

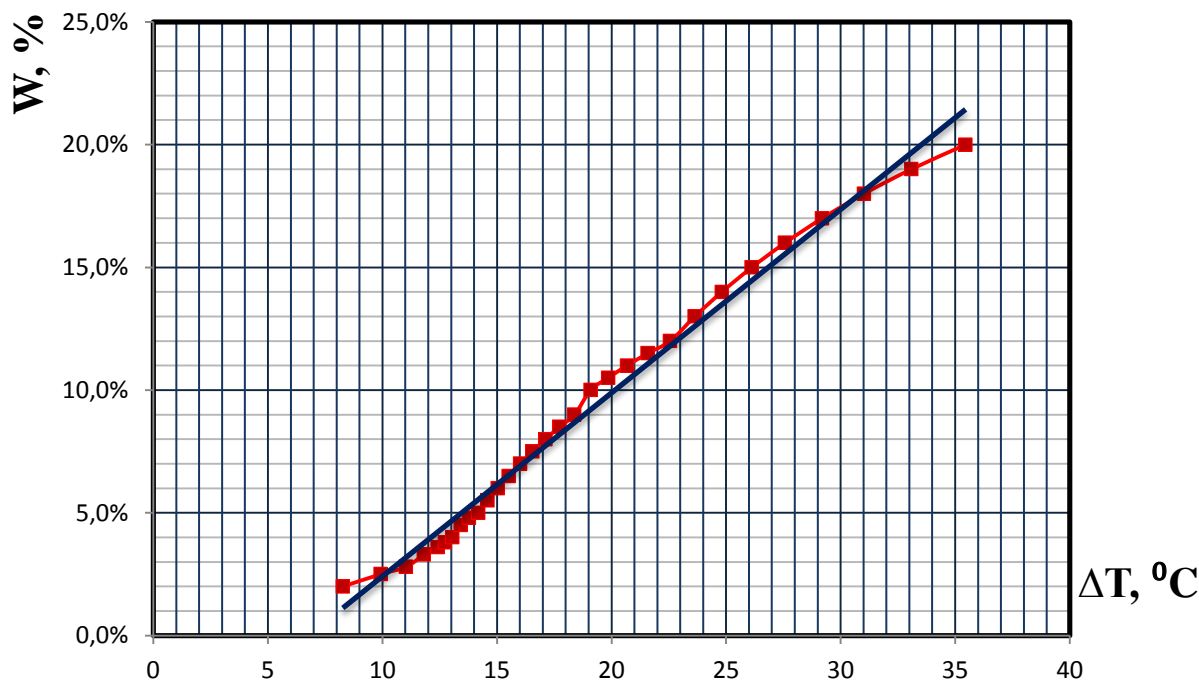
Yaratilgan takomillashtirilgan o'lchash qurilmasining o'lchash natijalarini monitorga chiqarish va kalibrlashni soddalashtirish maqsadida haroratlar farqining namlikka bog'liqligi quyidagi formula bilan aniqlandi:

$$\Delta T = R_{T1} - R_{T2} = \frac{P_{qe}}{\alpha_w \cdot F}.$$

Qurilmaning yuqori sezgirligi va ishonchliligini ta'minlash uchun qizdirish elementining quvvati  $P_{qe}$ , issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\alpha$  va issiqlik almashinuv yuzasining optimal qiymatlari aniqlangan hamda haroratlar farqining namlikka bog'liqlik qiymatlari dissertatsiya ishida keltirilgan.

Tadqiqotlar natijasida mayda donador materiallarning issiqlik namlik xossalari o'zaro bog'liqligi, haroratlar farqi yuqori bo'lganda, namlik ko'rsatkichi ham yuqori bo'lishi aniqlandi.

Qum misolida olib borilgan tadqiqot ishi natijalariga muvofiq haroratlar farqi va namlikning o'zaro bog'liqlik grafigi tuzilgan (10-rasm).



10-rasm. Haroratlar farqining namlikka bog'liqlik grafigi.

Xatolikning normal qonuniyat bo'yicha taqsimlanishini o'rganish maqsadida qurilmaning minimal o'lchash diapazonida o'lchash imkoniyatlaridan foydalanildi, ya'ni 2% namlikda haroratlar farqining o'zgarishiga asosan qurilmaning xatoligi va ishonchliligi aniqlandi.

Eksperiment uchun tanlab olingan qumning minimal namligi shartli ravishda  $W = 2\%$  ga va issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_{qum} = 0.68 \frac{Wt}{m \cdot grad}$  ga teng deb olsak,  $\alpha$  issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda_{sm}}{d} = \frac{32.08 \cdot 0.68}{50 \cdot 10^{-3}} = 436 \frac{Wt}{m^2 \cdot grad}.$$

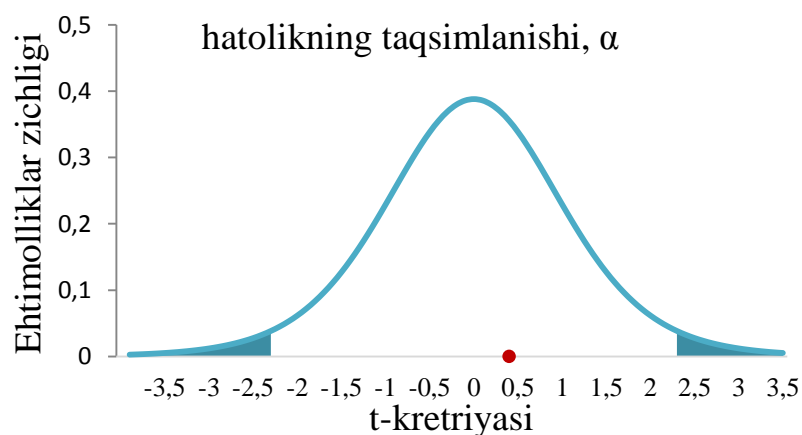
Yuqoridagi qiymatlarni inobatga olgan holda qumning 2% namligini o'lchashda sodir bo'ladigan xatoliklar tadqiq qilingan (1-jadval).

O'lchash natijalari bo'yicha xatoliklar.

T/R	$\Delta T$	$W_i$	$W_{o'rt}$	$\Delta W$	$\Delta W^2$	$\sum \Delta W^2$	$\sigma$	$\sigma_n$	$\varepsilon$
1	7,299567	2	2,066	0,066	0,004356	0,1076	0,109341463	0,034576807	0,023051204
2	7,299426	1,97	2,066	0,096	0,009216				
3	7,299589	2,1	2,066	-0,034	0,001156				
4	7,299567	2	2,066	0,066	0,004356				
5	7,299861	2,3	2,066	-0,234	0,054756				
6	7,299731	2,2	2,066	-0,134	0,017956				
7	7,299567	2	2,066	0,066	0,004356				
8	7,299589	2,1	2,066	-0,034	0,001156				
9	7,299559	1,99	2,066	0,076	0,005776				
10	7,299567	2	2,066	0,066	0,004356				

Bu yerda  $\Delta T$  – haroratlar farqi;  $W_i$  – o'lchashlar natijasi;  $\sigma$  – o'rtacha kvadratik xatolik;  $\varepsilon$  – ehtimoliy xatolik.

Ko'rsatkichlar	Qiymatlar
$\mu$	2
$X_{sr}$	2,066
n	10
s	0,5
ishonchlilik	0,97
d.f.	9
t-koeffitsiyent	2,262



11- rasm. Styudent koeffitsiyenti bo'yicha xatoliklarning taqsimlanish grafigi.

Olingan natijalar o'lchash xatoligi normal taqsimlanish qonuniyatiga bo'ysunishini va ishonchlilik koeffitsiyenti talab etilgan oralig'ida bo'lishini ko'rsatdi (10-rasm).

## XULOSA

“Mayda donador materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini tadqiq qiluvchi qurilmani takomillashtirish” mavzusi bo'yicha dissertatsiya ishi doirasida olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi natijalar olindi:

1. Mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini tadqiq qilish hamda o'zgartkichlarini ishlab chiqish uchun ehtiyojlar, ularni qurish tamoyillari tahlili, tizimlashtirish va mayda donador sochiluvchan materiallar harorati va namligini tezlik va aniqlik mezonlari asosida nazorat qilish uchun yangi issiqlik o'zgartirgichlarini yaratish usullari ishlab chiqildi.

2. Oqimdagi mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlik namlik parametrlarini o'lchash qurilmalarini ishlab chiqish uchun ularning sezgirligi va tezligini samarali darajada oshiradigan, bir jinsli bo'lmagan quvurli issiqlik o'tkazish asosida tuzilgan takomillashtirilgan qurilmaning tuzilish sxemalari taklif etilgan.

3. Quvurli o'tkazgichlarning issiqlikka bog'liqlik parametrlari, statik va dinamik karakteristikalarini tadqiq qilindi. Mayda donador sochiluvchan materiallarning turli namlik darajalarida, harorat taqsimoti va issiqlik oqimi qonuniyatini issiqlik to'rt qutbli sxemalar nazariyasiga asoslangan matematik modellar ishlab chiqildi. Eksperimental tadqiqotlar ishlab chiqilgan matematik modellarning fizik modellarga adekvatligini va tajriba natijalari bilan hisoblashlar o'rtasidagi tafovut belgilangan chegaradan oshmasligini ko'rsatdi.

4. Issiqlik namlik parametrlarini takomillashtirilgan o'lchash qurilmasining tuzilishini, statik va dinamik karakteristikalarining: sezgirlik, chiziqlilik va tezlik mezonlariga ko'ra optimal variantini sintezlashga zarur bo'lgan asosiy elementlarning parametrlari va boshqa kattaliklari bo'yicha morfologik jadvallari hamda loyihalash usullari ishlab chiqilgan.

5. Mayda donador materiallarning issiqlik namlik parametrlarini o'lchash qurilmasining aniqlik va tezlik mezonlari bo'yicha tarkibiy va parametrik loyihalash usuli va algoritmi ishlab chiqildi. Taklif etilgan usul va algoritmi mayda donador materiallar uchun issiqlik o'zgartirgichlaridan foydalanish, harorat taqsimotini hisoblash, elementlarning parametrlarini optimallashtirish mezonlarini tanlash, boshlang'ich muammoning ko'p ekstremalligini tekshirish va boshqa masalalarni yechishga asoslangan.

6. Issiqlik namlik parametrlarini takomillashtirilgan o'lchash qurilmasining asosiy xarakteristikalarini: statik, dinamik, sezgirlik, nochiziqlilik va o'zgartirgichlarning o'zgarish diapazonlari o'rganildi. Mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlik namlik parametrlarini takomillashtirilgan o'lchash qurilmasining xatoliklari tahlil qilindi va hisoblandi, natijada entropiya xatoligi 0,6 % dan oshmasligi aniqlandi.

7. Mayda donador sochiluvchan materiallarning issiqlik namlik xarakteristikalarini tadqiq qilish uchun quvurli o'tkazgich asosida tuzilgan, issiqlikni kam sezuvchi va issiqlikka o'ta sezgir uchta qismdan tashkil topgan takomillashtirilgan sinov qurilmasi ishlab chiqildi. Yaratilgan qurilmaning yangiligi O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining Intellektual mulk agentligi tomonidan IAP 06143 patenti bilan tasdiqlangan.

8. Yaratilgan tajriba qurilma O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi "Texnik me'yorlash va standartlashtirish ilmiy tadqiqot instituti" Davlat muassasasi ko'p tarmoqli sinov laboratoriyasida qumning namligini va boshqa xarakteristikalarini olish uchun sinovdan o'tdi va bitta qurilmani joriy qilish natijasida olinadigan yillik iqtisodiy samaradorlik 54 483 000 so'mni tashkil etdi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**АБДУРАХМАНОВ АЛИЖОН АБДУЛАХАТОВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

**05.03.01 - «Приборы. Методы измерения и контроля»**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Тошкент – 2024**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В 2023.3.PhD/T598.**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.  
Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и в Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Улжаев Эркин</b> доктор технических наук, профессор
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Мухамедханов Улугбек Тургудович</b> доктор технических наук, профессор  <b>Жумаев Одил Абдимажитович</b> доктор технических наук, профессор
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Андижанский машиностроительный институт</b>

Защита диссертации состоится «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2.Тел:(99871)246-46-00; факс:(99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано № \_\_\_\_\_). (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (998971) 207-14-70)

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года.  
(реестр протокола рассылки № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года.)

**Н.Р. Юсупбеков**  
Председатель Научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, профессор, академик АН РУз

**У.Ф. Мамиров**  
Ученый секретарь Научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, доцент

**У.Т. Мухамедханов**  
Председатель научного семинара  
при Научном совете по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, профессор

## **Введение (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире особое внимание уделяется оценке качества мелкозернистых материалов, используемых в качестве сырья в различных отраслях промышленности, таких как пищевая, строительная и фармацевтическая. В связи с этим решается ряд важных задач по повышению качества конечного продукта за счет автоматизации технологических процессов с постоянным контролем и оценкой основных параметров, влияющих на качество продукции, в том числе показателей температуры и влажности, в производственных процессах с использованием тонкодисперсной продукции. Одной из важнейших задач является разработка усовершенствованных устройств измерения, позволяющих определять и контролировать различные показатели качества мелкозернистых материалов с одновременным обеспечением технических и метрологических свойств с учетом их структурных параметров, разнообразия и сложности.

В целях увеличения объемов и эффективности производства с использованием мелкозернистых материалов в мире, в частности, предусмотрена возможность работы по измерению и контролю температуры и влажности сырья в непрерывном потоке, с использованием измерительных методов и средств, направленных по скорости и точности процесса измерений проводится ряд научных исследований. В частности, быстро развиваются исследования теплофизических свойств мелкозернистых материалов на основе термического метода. С помощью тепловлажностных методов можно измерять и контролировать показатели температуры и влажности, которые являются основными показателями качества сырья в производственных процессах, а также создавать автоматизированные системы управления технологическими процессами. В связи с этим при измерении и контроле температуры и влажности мелких сыпучих материалов в непрерывном потоке с высокой чувствительностью и точностью можно быстро выполнять измерения, а результаты измерений могут отображаться в цифровом виде в системах управления. Создание и совершенствование дистанционных передатчиков и измерительных приборов является актуальной проблемой современности.

В настоящее время в республике широко реализуются целенаправленные меры, направленные на коренное улучшение фармацевтической и строительной отрасли. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы отмечены задачи, «...разработку программы дальнейшего развития отрасли строительных материалов; ... в три раза больше продукции фармацевтической промышленности; ...удвоить производство строительных материалов; ...сокращение сроков строительства на 30 процентов; ...снижение стоимости строительства на 20%. Реализация этих задач, в том числе совершенствование технологических процессов в фармацевтической и строительной промышленности, разработка средств, позволяющих измерять температуру и влажность продуктов в непрерывном

потоке быстро, точно и надежно, создание дешевой, многофункциональной и удобной технологии и внедрение на практике инструментов с возможностью удаленной передачи данных является чрезвычайно важной задачей.

Данная диссертационная работа в определенной степени служит выполнению задач предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-158 от 11 сентября 2023 года: «О стратегии «Узбекистан – 2030» и № ПП-139 от 21 февраля 2022 года, а также, Постановления “О дополнительных мерах по поддержке строительства жилья и промышленности строительных материалов” и других нормативных и правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энергия и ресурсосбережение», и IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** Ведущие мировые научные центры и учреждения занимаются вопросами теоретического и практического совершенствования, создания и применения устройств, контролирующих температурную зависимость мелкозернистых сыпучих материалов, в числе которых Hydronix, Hewlett-Pascard (Великобритания), Siemens, Ludwig Moisture Control, (Германия), Wile Farmcomp (Финляндия), MoistScan (Австралия), «РусАвтоматизация» (Россия). Комплексные научные исследования проводят высшие учебные заведения Queen Mary University (Великобритания), Токийский технологический институт (Япония) и Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова.

В этой области проводили исследования и внесли большой вклад зарубежные ученые P.M.Cornish<sup>1</sup>, S.O. Nelson<sup>2</sup>, B.Wang<sup>3</sup>, Qi-Jun Zhang<sup>4</sup>, M.A.Берлинер<sup>5</sup>, Е.С.Кричевский<sup>6</sup>, С.В.Артемова,<sup>7</sup> а также известные учёные нашей республики: Н.Р.Юсупбеков<sup>8</sup>, Х.З.Игамбердиев<sup>9</sup>, П.Р.Исматуллаев<sup>10</sup>, П.М.Матякубова<sup>11</sup>, Ш.М.Гулямов<sup>12</sup>, Р.К.Азимов<sup>13</sup>, Э.Улжаев<sup>14</sup>, и другие.

<sup>1</sup> Cornish, P., Laryea, K., & Bridge, B. (1973). A nondestructive method of following moisture content and temperature changes in soils using thermistors. *Soil Science*, 115, pp. 309–314.

<sup>2</sup> S.O. Nelson, S. Trabelsi, Microwave dielectric properties of cereal grains // *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2012. Vol. 55(5), – pp. 1989-1996.

<sup>3</sup> B.Wang, Z.Fan, P.Lv, J.Zhao, & Y.Song (2017). Measurement of effective thermal conductivity of hydrate-bearing sediments and evaluation of existing prediction models. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 110, – pp. 142-150.

<sup>4</sup> Zhang Q.J., Gupta K.C. *Neural Networks for RF and Microwave Design*. – Artech House, Boston, London, 2000. – 392 p.

<sup>5</sup> Берлинер М.А. Измерения влажности. Изд. 2-е, перераб. и доп., М.: Энергия, 1973. – 400 с.

<sup>6</sup> Кричевский Е.С., Волченко А.Г., Галушкин С.С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов, М.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.

<sup>7</sup> Артемова С.В. Решение задачи структурного построения программного обеспечения интеллектуального датчика влажности // Программные продукты и системы. 2013. №3, – С. 272-276.

<sup>8</sup> Yusupbekov N.R., Aliyev R.A., Aliyev R.R., Yusupbekov A.N. Boshqarishning intellektual tizimlari va qaror qabul qilish. – Toshkent: «O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi», 2015. – 572 b.

<sup>9</sup> Марахимов А.Р., Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Сиддиков И.Х., Нечетко-множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. – Ташкент: ТашГТУ, 2014. – 240 с.

<sup>10</sup> Исматуллаев П.Р., Рахманов О.Т., Жаббаров Х.Ш. Высокочастотный метод и устройство для измерения влажности твердых и сыпучих материалов // *Химическая технология. Контроль и управления*. 2012. №1, – С. 32-35.

<sup>11</sup> Матякубова П.М. Методы и технические средства контроля параметров влаготепловой обработки зерновой продукции. // Автореф. дисс. док. тех. наук. – Ташкент. 2009. – 46 с.



Мелкозернистые материалы обладают многокомпонентностью, сложными физико-химическими свойствами и для решения этой проблемы проводится множество научных исследований. Несмотря на достигнутые научные результаты в области исследования тепловлажностных характеристик мелкозернистых материалов, их конструкции недостаточно изучены.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Данная диссертационная исследования выполнена в рамках проекта научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета №ОТ-АЗ-57 «Разработка микропроцессорного измерительного устройства, контролирующего температуру и влажность различных объектов на основе наноструктурированных кремниевых преобразователей» (2017-2018).

**Цель исследования** заключается в создании усовершенствованного измерительного устройства, контролирующего температурную зависимость характеристик мелкозернистых материалов в непрерывном потоке.

**Задачи исследования:**

анализ современного состояния теории создания приборов для измерения температуры и влажности мелкозернистых дисперсных материалов в непрерывном потоке и уровня их внедрения в практику;

создание физико-математической модели устройства, позволяющей проводить высокоточные исследования и оценку распределения теплового потока при исследовании мелкозернистых дисперсных материалов по их тепловлажностным свойствам;

совершенствование устройства для исследования температурной зависимости параметров мелкозернистых дисперсных материалов на основе методов и алгоритмов структурного и параметрического проектирования;

определить основные статические и динамические характеристики трубчатых влагомеров на основе теплового метода контроля температуры и влажности мелкозернистых дисперсных материалов;

разработка и внедрение экспериментального образца устройства для исследования параметров температурной зависимости мелкозернистых дисперсных материалов.

**Объектом исследования** является усовершенствованное устройство, контролирующее параметры зависимости температуры мелкозернистых сыпучих материалов и рассчитывающее схему его измерения.

**Предметом исследования** являются преобразователи с распределенными тепловыми параметрами на основе теплового метода и методы совершенствования схемы их измерения при исследовании температурозависимых параметров мелкозернистых дисперсионных

---

<sup>12</sup> Гулямов Ш.М., Игамбердиев Х.З., Ниязов З.К., Матякубова П.М. Автоматизированное управление процессом приемки зерна на мукомольном предприятии // Промышленные АСУ и контроллеры. 2008. №4, – С.4-7.

<sup>13</sup> Азимов Р.К. Измерительные преобразователи с тепловыми распределенными параметрами. Москва, издательство Энергия, 1977

<sup>14</sup> Улжаев Э. ва б., Сочилувчан материалларнинг сифимли нам ўлчагичи // Ихтиро учун гувоҳнома № IAP 05578, 17.03.2018 й.

материалов.

**Методы исследований.** В ходе научно-исследовательской работы использовались методы проектирования преобразователей с распределенными тепловыми параметрами, методы математического моделирования, методы измерения влажности, законы обработки результатов измерений и теории вероятностей.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработаны физико-математические модели однородных и неоднородных трубчатых тепловлажностных преобразователей на основе теории четырехполюсных схем, которые дают возможность с высокой точностью исследовать и оценивать распределение теплового потока по трубчатым преобразователям;

разработаны конструкция устройства измерения температуры и влажности мелкозернистых сыпучих материалов, морфологические таблицы, позволяющие выбрать оптимальные конструктивные параметры, необходимые для оптимизации основных элементов по критериям точности и быстродействия;

на основе теплового метода, контролирующего температуру и влажность мелкозернистых дисперсных материалов с высокой точностью, построены статические и динамические характеристики, позволяющие оценить, насколько точно и быстро работает прибор для измерения температуры и влажности в различных средах;

разработано усовершенствованное измерительное устройство для исследования тепловлажностных характеристик мелкозернистых сыпучих материалов, состоящее из трех частей низкой и высокой термочувствительности и на основе трубчатого преобразователя с распределенными тепловыми параметрами.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана конструкция устройства, способствующая с достаточной точностью оперативно проводить исследования температурной зависимости характеристик параметров мелкозернистых сыпучих материалов. В результате проведенных исследований и расчетов установлено, что их энтропийная погрешность не превышает 0,6 %;

разработаны морфологическая таблица и методы расчета параметров элементов устройства, которые способствуют проведению синтеза рациональной конструкции и структуры схемы усовершенствованного устройства измерения тепловлажных параметров мелкозернистых сыпучих материалов по критериям чувствительности, линейности и быстродействия;

разработано усовершенствованное устройство измерения, позволяющее проводить исследования характеристик параметров мелкозернистых сыпучих материалов в диапазонах измерения температуры от  $0 \div 90^\circ\text{C}$  и влажности от  $0 \div 20\%$ ;

разработанный измерительный прибор прошел испытания в комплексной испытательной лаборатории ГУ “Научно-исследовательский институт технического нормирования и стандартизации в строительстве” и

определены его метрологические характеристики.

**Достоверность результатов исследования.** Подтверждается анализом преобразователей для изучения зависимости параметров от температуры при измерении влажности и температуры, который проводился с использованием современных научных и стандартных исследований в производстве методов, основанных на совместимости.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследований определяется разработкой алгоритмов, конструктивных решений и математических моделей, обеспечивающих усовершенствование измерительных устройств на основе теплового метода, а также проведение исследований с большой точностью, резко отличающихся своими функциональными возможностями при изучении тепловлажностных характеристик мелкозернистых материалов в зависимости от температуры.

Практическая значимость диссертационной работы подтверждается разработкой измерительного устройства на основе теплового метода измерения для контроля параметров мелкозернистых материалов в зависимости от влажности, обеспечивающих высокую точность, надежность и быстроедействие, и особенно по линейности статических и динамических характеристик.

**Внедрение результатов исследований.** На основе разработки модернизированного измерительного устройства, на базе микропроцессора, предназначенного для исследования температурозависимых параметров мелкозернистых материалов:

получен патент на изобретение (№ IAP 06143), выданный Агентством интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Узбекистан на измерительное устройство, изучающее параметры температурной зависимости мелкозернистых материалов. В результате созданы основные принципы и физическая модель конструкции средства измерений, а также создана возможность автоматизации технологических процессов в производственной сфере путем измерения температуры и влажности в непрерывном потоке;

разработан измерительный прибор для испытания температуры и влажности мелкозернистых сыпучих материалов и внедрен в многопрофильной испытательной лаборатории «Научно-исследовательский институт технического нормирования и стандартизации» Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан (Справка Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан № 24-06/2024 №256). В результате удалось быстро получить данные измерений температуры и влажности мелкозернистых сыпучих материалов с необходимой точностью.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследований обсуждались на 5 международных научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** Всего по теме диссертации издано 16 научных работ, из них 6 статей в научных изданиях,

рекомендованных к публикации основных научных результатов докторских диссертаций ВАК РУз, в том числе 2 статьи, опубликованные в зарубежных журналах. Также получены 1 патент на изобретение и 1 свидетельство на программное обеспечение, зарегистрированные в Агентстве интеллектуальной собственности Республики Узбекистан при Министерстве юстиции.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 110 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснованы актуальность и необходимость проводимых в исследовании, описаны цели и задачи, объект и предмет исследования, совместимость исследования с приоритетными направлениями развития науки и техники Республики Узбекистан. Обоснованы научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта научная и практическая значимость полученных результатов, представлены сведения о внедрении и достоверности результатов исследования, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе **«Существующие методы и измерительные приборы для исследования тепловлажностных характеристик мелкозернистых материалов»** приведены методы и преобразователи измерения влажности, основанные на тепловлажностных свойствах мелкозернистых сыпучих материалов. Представлены общие вопросы разработки методов и приборов контроля температурно-зависимых технологических параметров мелкозернистых сыпучих материалов в непрерывном потоке, рентгеновской дифракции, инфракрасной термографии, спектроскопии ядерного магнитного резонанса, методов рефлектометрии во временной области, а также анализ термогравиметрических анализаторов и устройств лазерной визуализации, приборов термомикроскопии, принципов построения, преимущества и недостатки емкостных, оптоволоконных преобразователей.

На основе исследования применимости функциональных возможностей, структурных и других характеристик, режимов работы с современными микропроцессорными средствами, рассматриваются измерительные приборы на основе теплового метода для контроля параметров температурной зависимости мелкозернистых сыпучих материалов. Представлены и обоснованы приоритетные направления их совершенствования.

В работе были проанализированы приборы для измерения влажности, разработанные зарубежными компаниями и предприятиями, а также учеными нашей республики. Например, «Анализатор НХ204» с галогенным нагревателем, универсальный широкополосный диэлькометрический преобразователь «ВИМС-3», прибор «SONO-VARIO Xtrem LD» на основе рефлектометрии во временной области, влагомер M-Sens 2, а также приборы

для измерения влажности, разработанные учеными ТашГТУ. В отличие от других методов, тепловой влагомер на основе теплофизических свойств характеризуется простотой, не требует дополнительных элементов и способен хорошо работать в непрерывном потоке.

Одним из важных недостатков тепловлажностных преобразователей, основанных на теплофизических свойствах, является высокая потребляемая мощность на нагрев и сложность законов распределения температуры. По этой причине на протяжении многих лет мало исследовались измерительные устройства, основанные на термическом методе. Значительные потери тепла снижают эффективность измерительных приборов этого типа. Современные измерительные преобразователи, отвечающие стандартным требованиям, способны работать в установившемся потоке без указанных выше недостатков. Поэтому актуальными являются исследование и разработка тепловлажностных преобразователей для регулирования температуры и влажности мелкозернистых сыпучих материалов.

Во второй главе, озаглавленной **«Математическое моделирование усовершенствованного измерительного устройства для исследования тепловлажностных характеристик мелкозернистых сыпучих материалов»** модернизация устройства основана на исследовании тепловых влажностных характеристик мелкозернистых материалов с помощью микроЭВМ, построенных на основе мостовых измерительных схем, аналоговых цифровых преобразователей, микроконтроллеров с расширенной памятью. В функции приведенного усовершенствованного измерительного прибора входит обработка данных в соответствии с заданной программой, формирование управляющей информации для высокоточного контроля температуры нагревательного элемента, обработка сигналов, дающих достоверную информацию об измеряемых параметрах мелкозернистых материалов.

Также усовершенствованное измерительное устройство улучшается за счет предотвращения возможных ошибок, вызванных изменениями температуры и влажности окружающей среды, исправления ошибок, связанных с наличием неопределенной логической информации, выполнения адаптации, оценки достоверности полученных данных и самокалибровки. Модернизация исследуемого измерительного прибора позволяет при расчете и формировании статических и динамических характеристик использовать данные результатов измерений с высокой степенью эффективности.

В работе исследованы математические и физические модели однородных и неоднородных модернизированных приборов измерения температуры и влажности на основе теплофизических свойств, установлено их соответствие экспериментальным результатам. Обобщенная структурная схема модернизированных приборов измерения температуры и влажности, рассмотренная в экспериментальных работах, представлена на рис. 1.

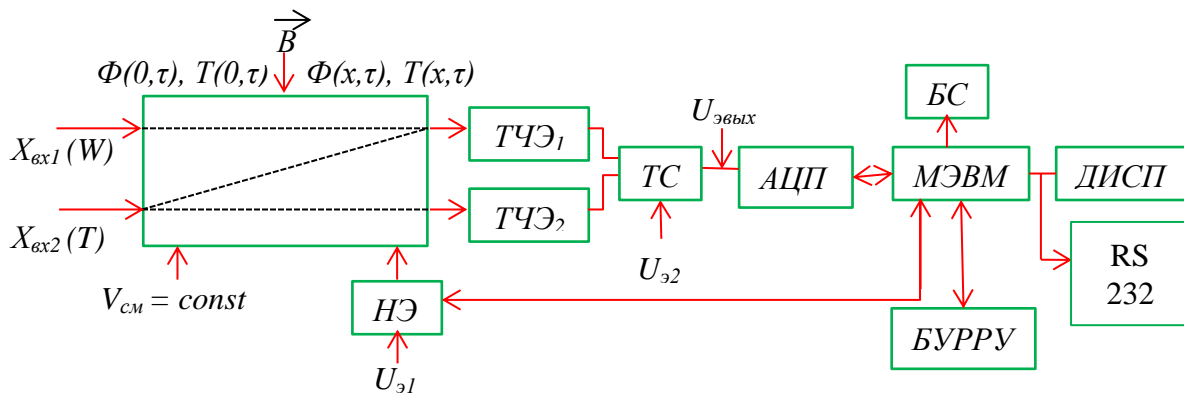


Рис. 1. Обобщенная структурная схема усовершенствованного преобразователя.

Принцип работы устройства основан на температуре  $X_{вх2}(T)$  и влажности  $X_{вх1}(W)$  исследуемого материала, параметрах, которые зависят от теплового потока и  $\Phi(0,t)$ , от его распространения  $\Phi(x,t)$  и начальной температуры  $T(0,t)$  вдоль преобразователя, ее распределение основано на контроле температуры и влажности с учетом внешних воздействий, анализируемых по законам теплофизики по  $T(x,t)$ . В целом, обобщенная математическая модель теплового влагомера на основе трубчатого проводника может быть выражена следующим уравнением:

$$X_{вых}(\tau) = F_1(\vec{B})[F_2 X_{вх1}(W), X_{вх2}(T), \vec{B}] \Phi(0, \tau),$$

здесь операторы  $F_1$  и  $F_2$  – процессы изменения температурного распределения теплового потока  $\Phi(0, x)$  на трубчатом теплопроводнике,

На основе обобщенной функциональной схемы исследованы физические модели однородных и неоднородных (рис. 2) тепловлажностных преобразователей.

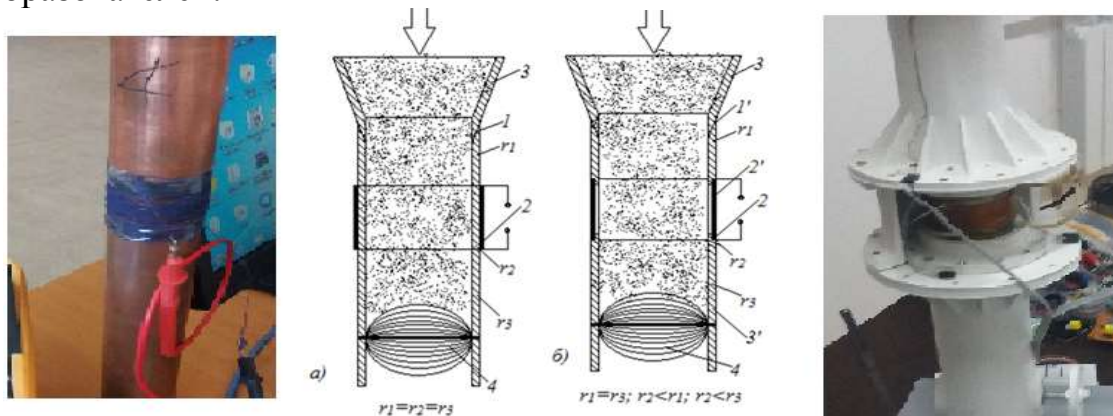


Рис. 2. Физические модели трубчатых влагомеров мелкозернистых материалов.

Здесь: а) – однородный трубчатый теплопровод; б) – неоднородный трубчатый теплопровод; 1, 1', 2', 3' – части теплопровода; 2 – нагревательный элемент; 3 – бункер; 4 – шариковые питатель.

Результаты экспериментальных исследований на физических моделях однородных и неоднородных тепловлажностных преобразователей выявили, закон распределения теплового потока и температуры (рис. 3).

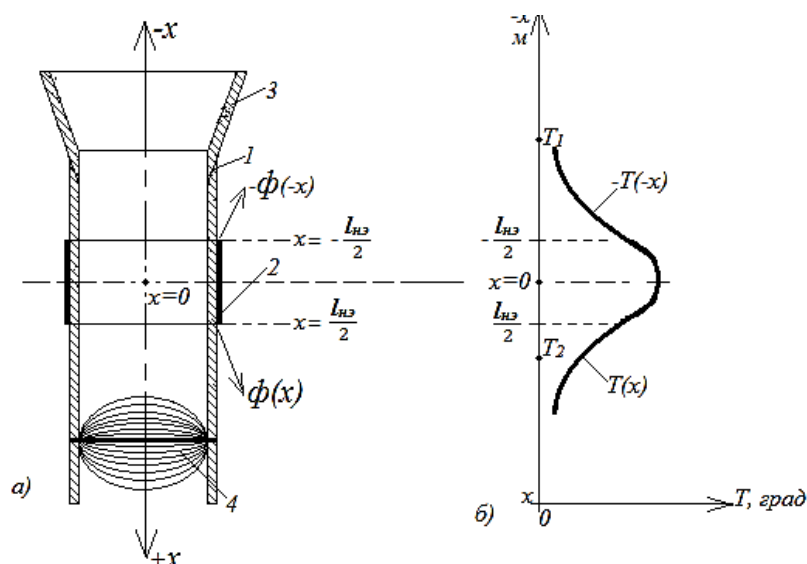


Рис. 3. а) однородный тепловой влагомер и б) график распределения теплового потока.

Для создания математической модели однородного теплового влагомера для мелкозернистых сыпучих материалов рекомендуется представить его тепловую систему в виде теплового четырёхполюсника (рис. 4), используя в качестве входных переменных температуру  $T$  и тепловой поток  $\Phi$ .

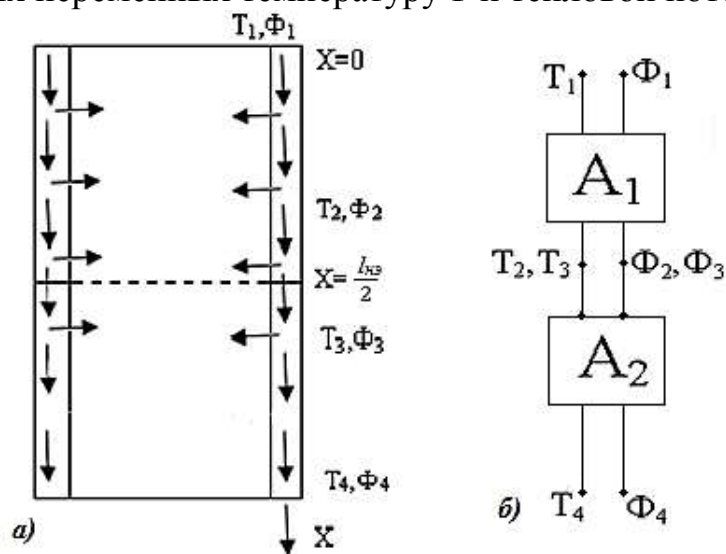


Рис. 4. а) операторная форма однородного трубчатого теплопровод и б) физическая модель.

Здесь  $A_1$  и  $A_2$  — тепловые четырёхполюсники;  $T_1, \Phi_1$  — температура и тепловой поток на входе в четырёхполюсник  $A_1$ ,  $T_2, \Phi_2$  — температура и тепловой поток на выходе из четырёхполюсника  $A_1$ ;  $T_3, \Phi_3$  — температура и тепловой поток на входе четырёхполюсника  $A_2$ ,  $T_4, \Phi_4$  — температура и тепловой поток на выходе четырёхполюсника  $A_2$ .

Для упрощения анализа тепловой системы, она рассматривалась при параметрах однородного преобразователя:  $r_1 = r_2 = r_3$  при коэффициенте теплопередачи  $\alpha = \text{const}$ , диаметре трубчатого проводника  $D = \text{const}$  и равномерном распределении количества тепла по поверхности трубки-

проводника  $\frac{l^2 R_{\text{нэ}}}{l_{\text{нэ}}} = \text{const}$ . В этом случае математическую модель системы можно записать в виде матрицы:

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} T_1(x, p) \\ \Phi_1(x, p) \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} T_q(x, p)\{ch[\gamma(p)x] - 1\} + \frac{r}{\gamma(p)} \Phi_q(x, p)sh[\gamma(p)x] \\ \frac{T_q(x, p)}{Z(p)} sh[\gamma(p)x] + \Phi_q(x, p)\{1 - ch[\gamma(p)x]\} \end{vmatrix} = \\ = \begin{vmatrix} A(x, p) & B(x, p) \\ C(x, p) & D(x, p) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_1(0, p) \\ \Phi_1(0, p) \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

В этом случае параметры квадрупольей  $A_1$  и  $A_2$  определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} A_1(x, p) &= A_2(x, p) = ch[\gamma(p)x]; \\ B_1(x, p) &= B_2(x, p) = -Z(p)sh[\gamma(p)x]; \\ C_1(x, p) &= C_2(x, p) = -\frac{1}{Z(p)}sh[\gamma(p)x]; \\ D_1(x, p) &= D_2(x, p) = ch[\gamma(p)x]. \end{aligned}$$

Ввиду сходства физических моделей однородных и неоднородных тепловлажностных преобразователей и принципов их работы математические модели, относящиеся к этим двум физическим моделям, также являются общими. Основное отличие физических моделей однородных и неоднородных трубчатых проводников заключается в следующем: в однородных моделях  $r_1 = r_2 = r_3$ , в неоднородных моделях  $r_1 \neq r_3$ , но должны удовлетворяться неравенства  $r_2 < r_1$  и  $r_2 < r_3$ .

В результате общую математическую модель анализа характеристик мелкозернистых материалов можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} T_1(x) &= T_0(0)ch\gamma(x) + \frac{q}{g}(1 - ch\gamma(x)) = \left[ T_1(0) - \frac{q}{g} \right] ch\gamma(x) + \frac{q}{g}, \\ T_3(x) &= T_3 \left( \frac{l_{\text{кэ}}}{2} \right) ch\gamma_2(x) - Z_2 \Phi_2 \left( \frac{l_{\text{нэ}}}{2} \right) sh\gamma_2(x)x = T_2 \left( \frac{l_{\text{нэ}}}{2} \right) e^{-\gamma_2(x)x}. \end{aligned}$$

На основе выше изложенного, можно создать математическую модель неоднородного трубчатого преобразователя:

$$\begin{aligned} T_1(x) &= \frac{q}{g} \left\{ 1 - \frac{ch[\sqrt{r_2(c_2p+g)} \cdot x]}{ch[\sqrt{r_2(c_2p+g)}] + \frac{\sqrt{r_2(c_2p+g)}}{\sqrt{r_3(c_3p+g)}} sh[\sqrt{r_2(c_2p+g)} \cdot \frac{l_{\text{кэ}}}{2}]} \right\}, \\ T_3(x) &= \frac{\sqrt{r_2(c_2p+g)}}{\sqrt{r_3(c_3p+g)}} \left[ \frac{q}{g} - T_1(0) \right] sh \left[ \sqrt{r_2(c_2p+g)} \cdot \frac{l_{\text{нэ}}}{2} \right] e^{-(x - \frac{l_{\text{нэ}}}{2})\sqrt{r_3(c_3p+g)}}. \end{aligned}$$

На основе математических моделей создан алгоритм проектирования неоднородного теплового влагомера (рис. 5).





Рис. 5. Структурная схема алгоритма расчета оптимального состава модернизационного измерителя тепловлажностных свойств мелкозернистых материалов.

Далее в диссертационной работе представлен вид модифицированного устройства для исследования тепловлажностных характеристик мелкозернистых сыпучих материалов.

На основании вышеизложенного была разработана схема измерений тепловлажностного измерителя мелкозернистых материалов и исследованы статические и динамические характеристики прибора в режиме реального времени при работе выбранной схемы измерений.

В результате доработки структурной схемы алгоритма проектирования тепловлажностного измерителя мелкозернистых материалов прибор получил одобрение Агентством по интеллектуальной собственности под номером патента IAP 06143.

Экспериментальный образец модернизационного измерителя тепловлажностных параметров мелкозернистых материалов, предложенный в третьей главе диссертации под названием «**Экспериментальный образец и алгоритм разработки модернизированного тепловлажностного преобразователя для исследования характеристик мелкозернистых сыпучих материалов**» представлен на рис. 6.



Рис. 6. Экспериментальный образец модернизированного устройства измерения тепловлажностных параметров мелкозернистых сыпучих материалов.

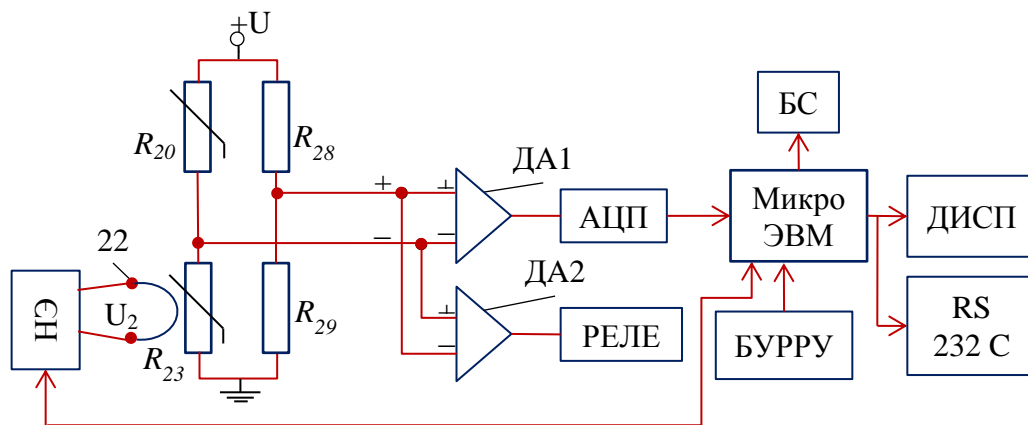


Рис. 7. Схема усовершенствованного устройства тепловлажностных параметров мелкозернистых материалов.

При использовании двух смешанных активных плечевых мостовых схем, по приведенной выше принципиальной схеме, выходной сигнал определяется следующим уравнением:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{м}} \frac{K}{(K + 1)^2} [\varepsilon_1(W) + \varepsilon_1(T) - \varepsilon_2(T)].$$

где  $K$  – коэффициент симметрии мостовой схемы измерения;  $\varepsilon_1(W)$  – относительное изменение сопротивления влажности сыпучего материала;  $\varepsilon_1(T)$  – относительное изменение сопротивления  $R_{20}$  при изменении температуры сыпучего потока материала;  $\varepsilon_2(T)$  – относительное изменение сопротивления  $R_{23}$  при изменении температуры потока сыпучего материала.

Данная формула применена для двух режимов работы прибора исследования тепловлажностных параметров, т.е. при постоянной мощности нагревательного элемента ( $P_{\text{нэ}} = \text{const}$ ) для случаев, когда имеется постоянный перепад температур ( $\Delta T = \text{const}$ ) с нагревательным элементом и на поверхности нагревательного элемента. В режиме  $P_{\text{нэ}} = \text{const}$  статическая характеристика устройства имеет следующий вид (рис. 8).

В исследованном тепловом влагомере с термочувствительными элементами в виде полупроводниковых термометров сопротивления большое возбуждение наблюдается в режиме  $P_{нэ} = const$ . Такая эксплуатация тепловых влагомеров сыпучих материалов является технически наиболее простой.

Учитывая требования, предъявляемые к тепловым влагомерам со стороны систем управления и контроля технологических процессов, где используются сыпучие материалы, важным считается величина постоянной времени переходного процесса в динамических характеристиках этих влагомеров.

В общем виде передаточную функцию  $W(p)_{ТП}$  трубчатого тепловлажностного преобразователя мелкозернистых сыпучих материалов можно выразить соотношением (12), учитывающим основные элементы преобразователя: теплопровод, нагревательный элемент и термочувствительные элементы.

$$W(p)_{ТП} = W(p)_Т \cdot W(p)_{нэ} \cdot W(p)_{ТЧЭ},$$

где  $W(p)_Т$  – передаточная функция преобразователя,  $W(p)_{нэ}$  – передаточная функция нагревательного элемента,  $W(p)_{ТЧЭ}$  – передаточная функция термочувствительного элемента.

Экспериментальные исследования показывают, что динамические характеристики медного трубчатого неоднородного преобразователя, диаметром  $D = 50 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  и толщиной стенки  $\delta = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  будут находиться в пределах следующих ограничений:

$$\mathcal{T}_{вр_{эксп2}} = 4 \div 5 \text{ сек.}$$

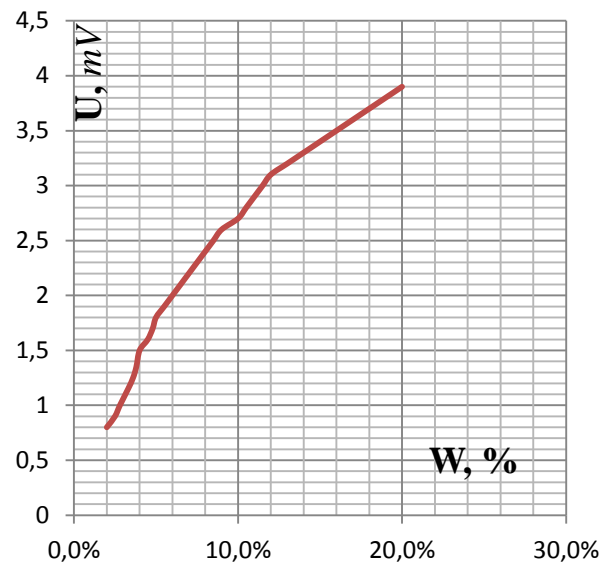
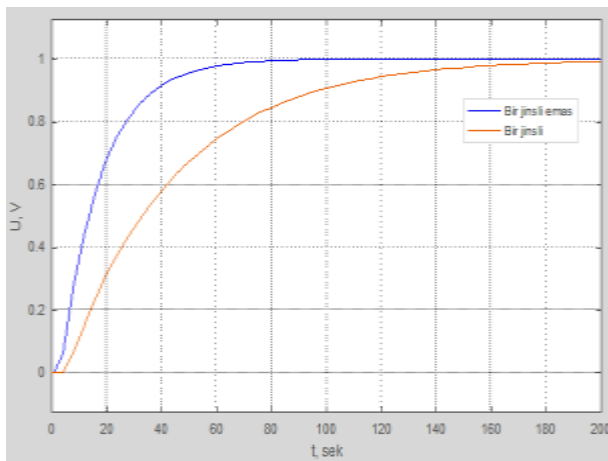


Рис. 8. Статическая характеристика тепловлажного преобразователя для мелкозернистых сыпучих материалов.

График кривой перехода однородных и неоднородных трубчатых тепловых влагомеров при контроле влажности песка в результате их работы в эксперименте представлен на рисунке 9.

Рис. 9. Кривая переходного процесса однородного и неоднородного трубчатого теплового влагомера при контроле влажности песка.

По полученным результатам исследований, с точки зрения величины постоянной времени, лучшей считается динамическая характеристика неоднородного преобразователя, измерительная часть которого выполнена на основе тонкостенной медной трубки.

В четвертой главе диссертации «Метрологические характеристики усовершенствованного устройства измерения тепловых влажностных характеристик мелкозернистых материалов» исследован доверительный интервал и распределение погрешностей испытуемого образца измерительного прибора.

С целью отображения результатов измерений созданного модернизированного измерительного прибора на мониторе и упрощения калибровки зависимость разности температур от влажности определялась по следующей формуле:

$$\Delta T = R_{T1} - R_{T2} = \frac{P_{H3}}{\alpha_w \cdot F}.$$

Для обеспечения высокой чувствительности и надежности прибора в диссертационной работе были определены оптимальные значения мощности нагревательного элемента  $P_{H3}$ , коэффициент теплопередачи  $\alpha$  и поверхности теплообмена  $F$ , а также представлена кривая зависимости влажности от значения разницы температур.

В результате исследований установлено, что тепловлажностные свойства мелкозернистых материалов взаимосвязаны, причем показатель влажности выше при большой разнице температур.

По результатам исследований, проведенных на примере песка, был построен график корреляции разницы температур и влажности (рис. 10).

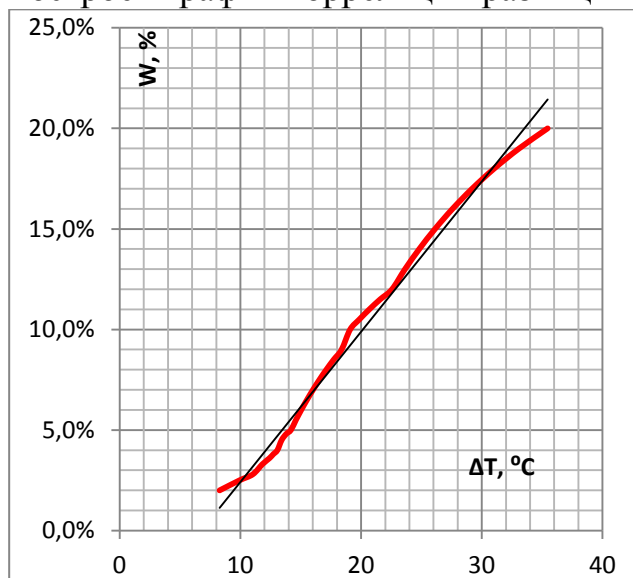


Рис. 10. График разницы температур в зависимости от влажности.

Для исследования закона распределения погрешности использовались измерительные возможности прибора в минимальном диапазоне измерений, то есть погрешность и надежность прибора определялись по изменению разности температур при 2% влажности.

Полагая, что минимальная влажность выбранного для эксперимента песка условно равна  $W = 2\%$ , а теплопроводность равна  $\lambda_{см} = 0.68 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{град}}$ , коэффициент теплопроводности  $\alpha$  будет равен:  $\alpha = Nu \frac{\lambda_{см}}{d} = \frac{32.08 \cdot 0.68}{50 \cdot 10^{-3}} = 436 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$ .

С учетом приведенных выше значений определим погрешности, возникающие при измерении влажности 2% песка (табл. 1).

Таблица 1.

## Ошибки в результатах измерений.

№	$\Delta T$	$W_i$	$W_{\text{урт}}$	$\Delta W$	$\Delta W^2$	$\sum \Delta W^2$	$\sigma$	$\sigma_n$	$\varepsilon$
1	7,299567	2	2,066	0,066	0,004356	0,1076	0,109341463	0,034576807	0,023051204
2	7,299426	1,97	2,066	0,096	0,009216				
3	7,299589	2,1	2,066	-0,034	0,001156				
4	7,299567	2	2,066	0,066	0,004356				
5	7,299861	2,3	2,066	-0,234	0,054756				
6	7,299731	2,2	2,066	-0,134	0,017956				
7	7,299567	2	2,066	0,066	0,004356				
8	7,299589	2,1	2,066	-0,034	0,001156				
9	7,299559	1,99	2,066	0,076	0,005776				
10	7,299567	2	2,066	0,066	0,004356				

Здесь  $\Delta T$  – разность температур;  $W_i$  – результат измерений;  $\sigma$  – среднеквадратическая ошибка;  $\varepsilon$  – вероятностная ошибка.

Показатель	измерения
$\mu$	2
$X_{\text{ср}}$	2,066
$n$	10
$s$	0,5
достоверность	0,97
t-коэффициент	2,262

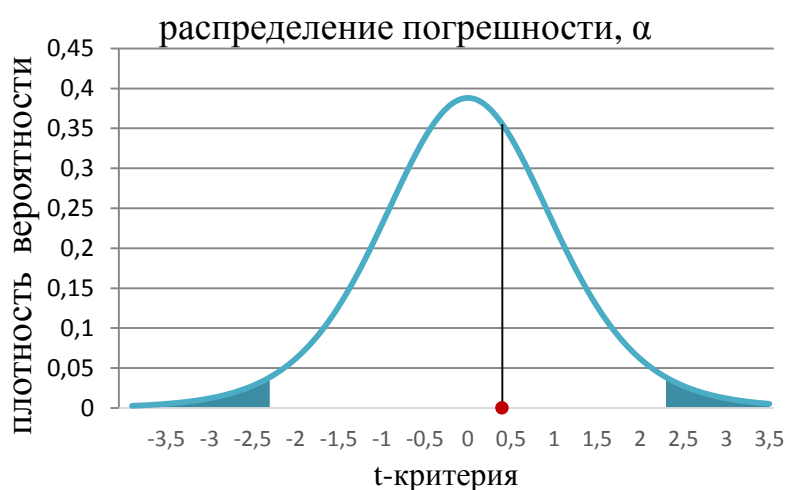


Рис. 11. График распределения ошибок коэффициента Стьюдента.

Полученные результаты показали, что погрешность измерения подчиняется закону нормального распределения, а коэффициент надежности находится в требуемом диапазоне (рис. 11).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований диссертационной работы на тему «Совершенствование устройства для исследования тепловлажностных характеристик мелкозернистых материалов» получены следующие результаты:

1. Выявлена необходимость разработки новых методов создания тепловых влагомеров для контроля температуры и влажности мелкозернистых сыпучих материалов по критериям скорости и точности на основе исследования существующих тепловлагомеров мелкозернистых сыпучих материалов, анализа и систематизации принципов их построения.

2. Для разработки устройств измерения тепловлажностных параметров мелкозернистых материалов в потоке предложены структурные схемы модернизированного устройства на основе неоднородной трубной теплопередачи, позволяющие эффективно повысить их чувствительность и быстродействие.

3. Исследованы параметры тепловязисимости, статические и динамические характеристики трубчатых тепловых влагомеров. Разработаны математические модели, основанные на теории тепловых четырёхполюсников, схем распределения температуры и закона теплового потока мелкозернистых сыпучих материалов при различных уровнях влажности. Экспериментальные исследования показали адекватность разработанных математических моделей физическим моделям и разница между экспериментальными результатами и расчетами не превышает заданного предела.

4. Разработаны морфологические таблицы и методы расчета параметров и других размеров основных элементов, необходимых для синтеза конструкции модернизированного устройства измерения параметров тепловлажности, статических и динамических характеристик: оптимальный вариант по критериям чувствительности, линейности и быстродействия.

5. Разработаны метод и алгоритм структурного и параметрического проектирования устройства измерения тепловлажностных параметров мелкозернистых материалов по критериям точности и быстродействия. Предлагаемый метод и алгоритм основаны на использовании тепловых влагомеров для мелкозернистых материалов и расчете распределения температуры, выборе критериев оптимизации параметров элементов, проверке многоэкстремальности исходной задачи и решении других задач.

6. Изучены основные характеристики модернизационного измерителя тепловлажностных параметров: статические, динамические, чувствительность, нелинейность и диапазоны изменения преобразователей. Проанализированы и рассчитаны погрешности модернизированного измерителя тепловлажностных параметров мелкозернистых сыпучих материалов, в результате установлено, что их энтропийная погрешность не превышает 0,6%.

7. Для исследования тепловлажностных характеристик мелкозернистых сыпучих материалов разработано усовершенствованное испытательное устройство на основе трубчатого проводника, состоящее из трех частей низкой и высокой термочувствительности. Новизна созданного устройства подтверждена Агентством интеллектуальной собственности Республики Узбекистан патентом IAP 06143.

8. Созданное экспериментальное устройство прошло испытания в «Научно-исследовательском институте технического регулирования и стандартизации» для определения влажности и других характеристик песка, и годовая экономическая эффективность, полученная в результате внедрения устройства на одном предприятии, составила 54 483 000 сумов.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.02  
ON THE ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE  
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**ABDURAKHMANOV ALIZHON ABDULAKHATOVICH**

**IMPROVING THE DEVICE FOR STUDYING THE HEAT AND  
MOISTURE CHARACTERISTICS OF FINE-GRAINED MATERIALS**

**05.03.01 – Devices. Methods of measurement and control (technical sciences)**

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2024**

**The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2023.3.PhD/T598.**

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

The Abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and Information and Educational Portal «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific adviser:** **Uljaev Erkin**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:** **Muhamedkhanov Ulugbek Turgudovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Jumayev Odil Abdimajitovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Leading organization:** **Andijan machine-building institute**

Defense of dissertation will take place in «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 at \_\_\_ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-46-00; fax: (+99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number № \_\_\_\_\_). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-03-41).

Abstract of dissertation sent out on «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 year.  
(mailing report № \_\_\_\_, on «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 year).

**N.R.Yusupbekov**  
Chairman of Scientific Council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor, academician

**U.F.Mamirov**  
Scientific secretary of Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences (DSc), professor

**U.T.Mukhamedkhanov**  
Chairman of the Academic seminar under the  
Scientific council on awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor



## INTRODUCTION (abstract to PhD dissertation)

**The aim of the research work.** The objective is to develop an enhanced measuring device that monitors the temperature dependence of the characteristics of fine-grained materials in a continuous flow.

**The object of the research is** a device that has been enhanced to control the parameters that affect the temperature dependency of fine-grained materials and to calculate the circuitry necessary to perform measurements of such materials.

**The scientific novelty of the research work** consists of the following:

physical and mathematical models of homogeneous and inhomogeneous tubular heat and humidity transducers, based on the theory of four-pole circuits, have been developed. These models allow for the study and evaluation of the distribution of heat flow through tubular transducers with a high degree of accuracy;

a device for measuring the temperature and humidity of fine-grained bulk materials has been designed. Morphological tables have been developed to allow the user to select the optimal design parameters necessary to optimise the main elements according to the criteria of accuracy and speed;

the morphological tables of the main elements necessary to optimize the structure of the device for measuring the temperature and humidity of fine-grained scattering materials, according to the criteria of accuracy and speed, and an algorithm for selecting optimal parameters have been developed;

a novel apparatus has been devised for the investigation of the thermal and moisture characteristics of fine-grained bulk materials. It comprises three distinct sections, each exhibiting varying degrees of thermal sensitivity. The apparatus is based on a tubular converter with distributed thermal parameters;

**Implementation of the research results:** A modernization measuring device, based on a microprocessor, has been developed with the objective of studying the temperature-dependent parameters of fine-grained materials:

a patent for an invention (No. IAP 06143) was granted by the Intellectual Property Agency of the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan for a measuring device that studies the parameters of the temperature dependence of fine-grained materials. Consequently, the fundamental principles and physical model of the design of the measuring instrument were established, and the potential for automating technological processes in the production sector by measuring temperature and humidity in a continuous flow was identified.

a measuring device has been developed for testing the temperature and humidity of fine-grained bulk materials and implemented in the multidisciplinary testing laboratory “Research Institute of Technical Norms and Standardization” of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan (certificate number 24-06/2024 No. 256, Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan). Consequently, it was possible to rapidly obtain temperature and humidity measurements of fine-grained bulk materials with the requisite precision.

**Structure and volume of the dissertation:** The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, a reference list and applications, with a total volume of 110 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (Часть I; Part I)**

1. АЗИМОВ Р.К., Матякубова П.М., Абдурахманов А.А., Бобоев Г.Г., Усманова Х.А., Тургунбоев А., Назарбоева Б.А., Жабборов Х.Ш., Машарипов Ш.М., Аvezова Н.И. Тепловой влагомер сыпучих материалов // Патент на изобретение № IAP06143 (23.01.2020.)

2. Uljaev E., Abdurakhmanov A.A. The algorithm for the design of fine granular substances' smart-type heat and moisture converters based on their accuracy and speed criteria // International scientific – technical journal “Chemical Technology, Control and Management”. –Tashkent, 2023. -Vol. 5. – PP.36-41. DOI: <https://doi.org/10.59048/2181-1105.1512> (05.00.00; № 12)

3. Abdurakhmanov A.A. Modified thermal moisture sensor for bulk materials // Scientific – technical journal “Technical science and innovation”. – Tashkent, 2021. –Vol 4. – PP.190-196. (05.00.00; № 16)

4. Azimov R.K., Abdurakhmonov A.A., Talipov A.R., Akbarova N. Thermal tubular probe of humidity of disperse granular materials // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 7, Issue 6, June-2020. (05.00.00. №8)

5. Azimov R.K., Abdurakhmanov A.A., Talipov A.R., Makhmudov M.M. Investigation of thermophysical properties and characteristics of dispersed materials based on experiment planning methods. // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences Scientific journal № 7–8 2019 (July–August) Pg. 11-16.(05.00.00. №2)

6. Abdurakhmanov A.A., Rashidov A.A., Makhmudjanov M.M. Analysis and trends in the development of models for studying thermal physical properties of solid and disperse substances. // Scientific – technical journal “Technical science and innovation”. – Tashkent, 2019. –Vol 2. – PP.236-241.(05.00.00. № 16)

7. Abduraxmanov A.A., Tangriyev O.X. Paxta mahsulotlarini namligini o'lchash usullari va ularning tahlili // “ToshDTU Xabarlari”. Toshkent, 2018. № 3. 42-47 bet. (05.00.00. №16)

**II bo'lim (Часть II; Part II)**

8. Alijon Abdurakhmanov, Norkhuja Nizomov. Analysis of available innovative methods of measuring and controlling the quality of energy supply in digital technology facilities. // International scientific journal science and innovation special issue: "Modern problems and prospects of development of energy supply of digital technology facilities", March 1, Tashkent - 2024 <https://doi.org/10.5281/zenodo.10724491>

9. O'ljayev E., Abduraxmanov A.A. Mayda donador sochiluvchan materiallar uchun issiqlik namlik o'zgartgichining o'lchov sxemasini ishlab chiqish va statik harakteristikasini aniqlash. / “Innovatsiya-2023” XXVII Xalqaro ilmiy-amaliy anjumani. Ilmiy maqolalar to'plami. Toshkent-2023. 262-265 betlar.

10. Abdurakhmanov A.A., Ernazarova Z.X. The role of software revisions and updates in calibration processes. / II Международная конференция «Перспективы инновационного метрологического обеспечения промышленности и его актуальные научно - практические проблемы» 23-24 май, 2023 г. Ташкент, Узбекистан. 175-179 ст.

11. Айтбаев Т.А., Абдурахманов А.А., Эшмурадов Д.Э. Анализ характеристик существующих конструкций и выработка требований к термодатчику. // Международной научно-практической журнал «Теория и практика современной науки». – Саратов, 2021. -№1(67). –С.57-64

12. Абдурахманов А.А., Саттарберганава Г.Қ. К вопросу об измерении влажности сыпучих материалов тепловым методом в непрерывном потоке. // Техника юлдузлари №1/2020.

13. Азимов Р.К., Абдурахманов А.А. Анализ метода и приборы для измерения влажности строительных материалов / Материалы XV Международной научно-практической конференции «Образование и обучение без границы - 2019». – 07-15 декабря 2019 Том 10. Польша-2019.

14. Абдурахманов А.А. Теоретические основы принципа действия теплового влагомера сыпучих материалов / Материалы XXXIX Международной научно-практической интернет-конференции «Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации» 28 сентября 2018 года.

15. Абдурахманов А.А. Контроль качества сыпучей продукции в технологическом потоке. / «Управление качеством образования, продукции и окружающей среды» Материалы 9-й Всероссийской научно-практической конференции. Бийск-2015 стр-164.

16. O'ljayev E., Abdurakhmanov A., Sheraliyev J. Mayda donador sochiluvchan materiallarning harorat va namlik o'Ichagichining dasturiy ta'minoti / Guvohnoma DGU 30790 (07.12.2023y.)

Avtoreferat «TEXNIKA FANLARI VA INNOVATSIYA» ilmiy jurnali  
tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro  
muvofiqlashtirildi.

**Bosmaxona litsenziyasi:**



**9338**

Bichimi: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» garniturası.  
Raqamli bosma usulda bosildi.  
Shartli bosma tabog‘i: 2,5. Adadi 100 dona. Buyurtma № 29/24.

Guvohnoma № 851684.  
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.  
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko‘chasi, 83-uy.

