

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ЖАББОРОВ ХАМДАМ ШАЙМАРДОНОВИЧ

**СИҒИМЛИ ЦИЛИНДРИК ЎЗГАРТКИЧ АСОСИДА ДОН ВА
ДОН МАҲСУЛОТЛАРИ НАМЛИГИНИ ЎЛЧАШ АСБОБИ**

05.03.01 – Асбоблар. Ўлчаш ва назорат қилиш усуллари (техника фанлари)

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент– 2020

**Фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

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

Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Жабборов Хамдам Шаймардонович

Сигимли цилиндрлик ўзгарткич асосида дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш асбоби3

Жабборов Хамдам Шаймардонович

Измеритель влажности зерна и зернопродуктов на основе емкостного цилиндрического преобразователя.....21

Jabborov Khamdam Shaymardonovich

Moisture meter for grain and grain products based on a capacitive cylindrical transducer39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works43

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ЖАББОРОВ ХАМДАМ ШАЙМАРДОНОВИЧ

**СИҒИМЛИ ЦИЛИНДРИК ЎЗГАРТКИЧ АСОСИДА ДОН ВА
ДОН МАҲСУЛОТЛАРИ НАМЛИГИНИ ЎЛЧАШ АСБОБИ**

05.03.01 – Асбоблар. Ўлчаш ва назорат қилиш усуллари (техника фанлари)

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент– 2020

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.4.PhD/T518 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ҳамда «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Исматуллаев Патхулла Раҳматович**
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Аҳмедов Барат Маҳмудович**
техника фанлари доктори, профессор

Ўлжаев Эркин
техника фанлари доктори, профессор


Етакчи ташкилот: **Тошкент кимё-технология институти**

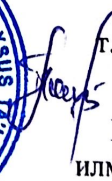
Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «15» 10 соат 12⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-46-00; факс: (+99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@edu.uz).

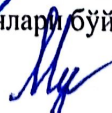
Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (161 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2020 йил «8» 10 куни тарқатилди.
(2020 йил «19» 09 даги 19 - рақамли реестр баённомаси).




Н.Р. Юсупбеков
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
т.ф.д., профессор, академик


У.Ф.Мамиров
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)


У.Т.Мухамедхонов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги Илмий семинар раиси,
т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда бугунги кунда жадал ривожланаётган информацион-ўлчаш техникаси соҳасида истиқболли соҳалардан бири ҳисобланган турли муҳитлар намлигини назорат қилувчи сиғим элементли ўзгарткичларни яратишга катта эътибор берилмоқда. Бу соҳада дон ва дон маҳсулотлари намлигини назорат қилишда ишлатиладиган статик ва динамик характеристикалари, ишончлиги юқори аниқликда бўлган сиғим элементлари асосидаги намлик ўзгарткичларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири бўлиб келмоқда. Янги авлод сиғим ўзгарткичларини яратиш, статик характеристикаси чизикли ва дестабил ташқи ва ички факторлар таъсирида эффектив ишлай оладиган ўлчаш воситаларини ишлаб чиқиш долзарб ҳисобланади.

Жаҳонда дон ва дон маҳсулотлари намлик характеристикаси билан боғлиқ бўлган сиғимли ўзгарткичларни таҳлил қилиш муҳим аҳамият касб этади. Шу мақсадда зарур ва эътиборга молик илмий тадқиқотлар, жумладан, хатолиги кичик ва аниқлиги юқори бўлган дон маҳсулотлари сиғим ўзгарткичларини ишлаб чиқиш учун уларнинг конструкцияларини такомиллаштириш, сиғимли ўзгарткичнинг хатолигини ва статик характеристикасини баҳолай оладиган интеллектуал ўлчаш схемасини яратиш ва сиғим ўзгарткичларини қуришнинг асосий принципларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан ҳисобланади. Намликни ўлчашдаги ўлчаш қурилмаси хатоликларининг манбаи ва уларни бартараф этадиган конструктив ечимларни ишлаб чиқиш, сиғим ўзгарткичининг ишончлиги, сезгирлиги ва ўлчаш диапазонининг мезонларидан асосийси ҳисобланган статик характеристикани тўғри чизиклилигини таъминлаш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Республикамизда ҳозирги кунда сиғим элементли дон ва дон маҳсулотларининг намлигини ўлчаш ўзгарткичларини ишлаб чиқиш борасида қуйидаги устувор йўналишларда илмий-тадқиқотлар олиб борилмоқда, жумладан, ўзгарткич олиш технологияси арзон, сезгирлиги талаб даражасида бўлган, оптимал чиқиш сигналларига эга ва замонавий ўлчаш техникаси талабларига жавоб бера оладиган, чиқишдаги ўлчаш тизими билан осон боғланишли сиғим ўзгарткичларини яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, "... илмий тадқиқот ишларини рағбатлантириш ва ишлаб чиқаришга татбиқ қилишнинг самарали механизмларини яратиш масалаларига асосий эътиборни қаратиш"¹ вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан, сиғим ўзгарткичли дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш қурилмаларида кечаётган физик жараёнларни тадқиқ қилиш асосида уларни янги мақсадларда қўллашни жорий қилиш билан сиғим элементлари асосида сиғим ўзгарткичли ўлчаш воситаларини ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этади. Бундан ташқари илмий-тадқиқот ва инновацион ғоялар ривожланишининг ҳозирги замон

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон "Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси" тўғрисидаги Фармони.

талабларига жавоб берувчи, ишлаб чиқилган янги натижалар асосидаги фаол тадбиркорликни ва технологияларни ривожлантириш мақсадга мувофиқдир.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги фармони ва Вазирлар Маҳкамасининг 2006 йил 25 майдаги 95-сонли “Дон ва донни қайта ишлаш маҳсулотлари ҳисобини юритиш тизимини такомиллаштиришга, уларнинг сақланиши устидан назоратни кучайтиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида” ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу илмий-тадқиқот иши муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Илмий тадқиқот иши республика фан ва технологияларни ривожланишининг III. «Энергетика, транспорт, машина ва асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника ва электрон асбобсозлиги ривожланиши» нинг устувор йўналишлариги мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Турли объектларнинг, жумладан, дон ва дон маҳсулотларини намлигини ўлчаш қурилмаларида интеллектуал микропроцессорларни қўллаш масалаларини ечишга жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва муассасалари, жумладан, Hewlett-Packard (Англия), Siemens, Volvo (Германия), Wile Farmcomp (Финляндия), Acvatron АУРА (Швейцария) каби таниқли фирмалар ҳамда Stuard Gordon, Ferry N. Toth (Австралия), Tianming Chen, Mathew G. Pelettier, Muchael E. Gvili, Houri Johari (АҚШ), Mohd Nirar Hamidon (Малайзия), Jukka Voutilainen (Финляндия), Burak Okcan (Туркия), В.В.Молочников, С.В.Годлевская, И.К.Пожиток, Н.И.Мухуров, В.В Лисовский (Белоруссия), Ю.П.Секанов, Е.С.Кричевский, В.С.Ройфе, С.Н.Шведов, П.М.Пугачев ва В.С.Афонин (Россия) каби хорижий олимлар улкан ҳисса қўшишган.

Ўлчаш ўзгарткичларининг принципларини яратиш ва ишлаб чиқиш борасида ўзбек олимларидан академиклар: Н.Р.Юсупбеков, Х.З.Игамбердиев, М.С.Боходирхонов; профессорлар: П.Р.Исматуллаев, Ш.М.Гуломов, М.М.Мухитдинов, Р.М.Мирсаатов, О.Ш.Хақимов, Р.К.Азимов, А.Т.Раҳманов, Ю.Г.Шипулин, У.Т.Мухамедханов, Б.М.Ахмедов, П.М.Матякубова ва Э.Ўлжаевларнинг ишлари ҳам эътиборга лойиқдир. Бироқ сиғим асосидаги намлик ўзгарткичларининг тадқиқоти ва уларни яратиш борасидаги ривожланиш босқичлари ҳамда муаммолар ва ечимларнинг замонавий ҳолатини таҳлил қилишдан шундай ҳолат маълум бўлдики, бунда сиғим элементларининг эффектив геометрияси ва физик жараёнларнинг бирламчи катталикини ўзгартиришдаги иштироқи даражаси, ўлчаш хатоликлари ва уларнинг келиб чиқиш сабаблари етарли даражада таҳлил қилинмаган.

Шу билан бир қаторда, айниқса, дон маҳсулотлари намлигини ўлчашда қўлланиладиган сиғим ўзгарткичларининг конструкцияси, катталикининг сигнал кўринишдаги ўзгаришида ўзгарткичда юз берадиган зарядларнинг

поляризация жараёнининг дастлабки таъсири кабилар назорат доирасига киритилмаган. Ўз навбатида, улар талаб даражасида эмаслиги, жумладан, статик характеристикаларининг ночизиқлилиги, дестабил ташқи ва ички таъсирларга берилувчанлиги, конструктив сиғим элементларининг физик эффектлар билан мос эмаслиги каби камчиликлардан холи бўлган сиғим ўзгарткичларини лойиҳалаштириш заруратини келтириб чиқарди.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг 22/10/02-3800 – сонли «Ишлаб чиқариш шароитида шихта намлигини ўлчаш воситасини ишлаб чиқиш ва жорий этиш» мавзусидаги хўжалик шартномаси (2010-2013) ва ОТ-А3-57-сонли «Наноструктурали кремний ўзгарткичлар асосида турли объектларнинг температура ва намлигини назорат қилувчи микропроцессорли ўлчаш асбобини ишлаб чиқиш» (2017-2018) лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади аниқлиги ва ишончилиги юқори бўлган сиғимли цилиндрик ўзгарткич асосида дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш учун микропроцессор қурилмаси ва хатоликларини таҳлил қилишнинг структуравий схемаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

дон маҳсулотларини намлигини назорат қилиш усуллари ва воситалари назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолатини таҳлил қилиш;

цилиндрик электродли дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш ўзгарткичини қуришнинг асосий принциплари ва математик моделини яратиш;

цилиндрик электродли дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш ўзгарткичи хатоликларини синфлаш имкониятини берадиган ва уларнинг таъсирини баҳолай оладиган структуравий схемаларини ишлаб чиқиш;

сиғимли цилиндрик ўлчаш ўзгарткичларининг сезгирлиги, аниқлиги, ишончилиги ва статик характеристикасининг тўғри чизиқлилиги мезонлари бўйича параметрик лойиҳалаш усуллари ишлаб чиқиш;

сиғимли цилиндрик ўлчаш ўзгарткичи асосида дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш микропроцессор қурилмасини ишлаб чиқиш;

ишлаб чиқилган дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш воситасини донни қайта ишлаш корхоналарида тажриба синовидан ўтказиш ва таклиф қилинаётган ўлчаш воситасини техник-иқтисодий кўрсаткичларини баҳолаш.

Тадқиқотнинг объекти статик характеристикалари чизиқли, юқори ишончилик ва аниқликка эга бўлган дон ва дон маҳсулотлари намлигини назорат қилишнинг сиғимли цилиндрик ўлчаш ўзгарткичлари ҳамда улар асосида ишлаб чиқилган микропроцессорли интеллектуал ўлчаш қурилмасидан иборат.

Тадқиқотнинг предметини дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш учун сиғимли цилиндрик ўзгарткичларни қуриш принциплари ва статик характеристикалари, ўлчаш хатоликлари, янги ўзгарткич конструкцияси ва улар асосида микропроцессорли ўлчаш қурилмалари ташкил қилади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот ишини бажариш давомида намликни ўлчашнинг умумий усуллари, ўлчашлар назарияси, ўлчаш натижаларига ишлов бериш ва уларни статистик таҳлил қилиш, ахборот-ўлчаш тизимлари назарияси, тажрибани ташкил қилиш усуллари ва воситалари, граф ўтишлар назарияси усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

янги турли конструкциядаги дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчашнинг сиғимли ўзгарткичлари ва уларнинг сиғимини ҳисоблаш формулалари ишлаб чиқилган;

цилиндрик электродли дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш ўзгарткичини қуришнинг асосий принциплари ва математик модели яратилган;

цилиндрик электродли дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш ўзгарткичи хатоликларини синфлаш имкониятини берадиган ва уларнинг таъсирини баҳолай оладиган структуравий схемалари ишлаб чиқилган;

сиғимли цилиндрик ўлчаш ўзгарткичларининг сезгирлиги, аниқлиги, ишончлилиги ва статик характеристикасининг тўғри чизиқлилиги мезонлари бўйича параметрик лойиҳалаш усуллари ишлаб чиқилган;

мавжуд аналоглар билан солиштирилиб, метрологик афзалликларга эга бўлган сиғимли цилиндрик ўлчаш ўзгарткичи асосида дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш микропроцессор қурилмаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

статик характеристикаси чизиқли, юқори аниқлик ва ишончлиликка эга бўлган дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш учун сиғимли цилиндрик ўзгарткичнинг конструкцияси ишлаб чиқилган;

сиғимли цилиндрик ўзгарткич чиқиш сигналини жуда кичик ўлчаш хатоликларига эга бўлган микропроцессорли ўлчаш тизими яратилган;

дон ва дон маҳсулотлари параметрларини сиғим ўзгарткич сиғими билан боғлиқлиги аниқланган ва шу асосида ўзгарткич статик характеристикасининг математик ифодаси ишлаб чиқилиб, таҳлил қилинган;

сиғимли ўзгарткич асосида ишлаб чиқилган дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш қурилмаси лаборатория ва ишлаб чиқариш шароитларида синовдан ўтказилиб, унинг метрологик характеристикалари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги намликни ўлчаш сиғим ўзгарткичларини тадқиқ қилиш, ишлаб чиқишда замонавий илмий тадқиқот ва стандарт усуллардан фойдаланилган ҳолда аниқланади, ўлчаш натижаларининг ишончлилиги эса назарий ҳисоблашлар ва тажриба натижалари ўзаро таққосланади ва уларнинг бири-бирига мослиги аниқланади, бинобарин, бу эса кириш параметрини ўзгартириш занжирида дестабил факторларни ҳисобга олиб, юқори аниқлик ва чизиқли статик характеристикага, ўлчаш тизими хатолиги кичик, юқори ишончлилик ва барқарор сезгирликка эга бўлган дон ва дон маҳсулотларини намлигини ўлчашнинг сиғим элементли ўзгарткичлар ҳамда улар асосида рақамли интеллектуал микропроцессор воситаларини қўллаш билан таъминланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Диссертация ишининг илмий аҳамияти кириш параметрини ўзгартириш занжирида юз берадиган физик жараёнларни граф модели асосидаги қонуниятларини тадқиқ қилиш ҳамда дон ва дон маҳсулотлари намлигини сиғимли цилиндрик ўлчаш ўзгарткичи чиқиш сигнали аниқлиги, шунингдек статик характеристикасининг тўғри чизиқлилигига ташқи ва ички дестабил факторларнинг таъсирини аниқлашдан иборат.

Диссертациянинг амалий аҳамияти шу билан изоҳланадики, сиғимли цилиндрик элементлари асосида ишлаб чиқилган намликни ўлчаш интеллектуал микропроцессор қурилмаларини дон ва дон маҳсулотларини сақлаш ва қайта ишлаш тизимларида ишлатилишидан ташқари, уни қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини сақлаш ва қайта ишлаш, табиатни муҳофаза қилиш ҳамда кон-металлургия саноатида технологик параметр бўлган намликни назорат қилишда ҳам самарали фойдаланиш имкониятлари яратилган.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Сиғим ўзгарткич асосида яратилган дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчашда қўлланиладиган интеллектуал микропроцессорли ўлчаш қурилмасини ишлаб чиқиш асосида:

цилиндрик электродли дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш ўзгарткичини қуришнинг асосий принциплари ва математик модели ҳамда дон намлиги тўғрисидаги маълумотларни тезкорлик билан олиш имкониятлари “GALLA-ALTEG” АЖда жорий қилинган (“ЎЗДОНМАҲСУЛОТ” АКнинг 2020 йил 13 июлдаги 8-11/74-1080-сон маълумотномаси). Натижада дон маҳсулотларини таҳлилга тайёрлаш, қуритилишдан олдин ва сўнг уларни тарозида тортиш, маҳсус хоналардан фойдаланиш ва билвосита ўлчаш натижаларини ҳисоблаш ишларидан озод қилиш имконияти яратилган;

донни сақлаш ва қайта ишлаш корхоналарида буғдой маҳсулотларини намлигини сиғимли ўзгарткич асосида интеллектуал микропроцессорли ўлчаш воситаси “GALLA-ALTEG” АЖга жорий қилинган (“ЎЗДОНМАҲСУЛОТ” АКнинг 2020 йил 13 июлдаги 8-11/74-1080-сон маълумотномаси). Натижада дон маҳсулотларини сақлашнинг барқарор бўлган шароитлари ва уларнинг сифатини юқори даражага кўтариш ва исроф бўлишнинг олдини олиш имкониятлари яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация тадқиқоти натижалари 4 та халқаро ва 2 та республика илмий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 18 та илмий иш, шулардан 9 таси – ЎзР Олий аттестация комиссияси тавсия этган илмий ишлардаги мақолалар, жумладан, 6 таси хорижий илмий журналларида нашр этилган ва 1 та ЭҲМ учун дастур олинган.

Диссертация тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, 137 номдаги библиография рўйхатидан иборат. Илмий ишнинг асосий моҳияти 110 саҳифа матн, 48 та расм ва 7 та жадвалда баён қилинган.

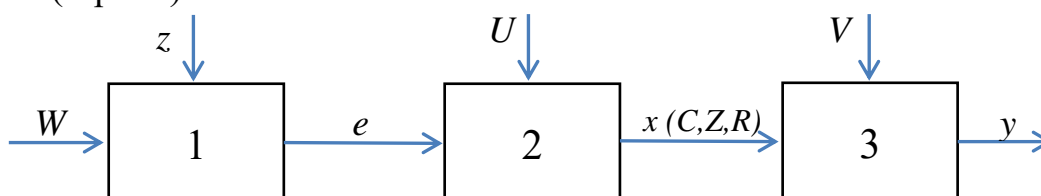
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати, мақсад ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар, диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Қаттиқ ва сочилувчан материаллар намлигини ўлчаш усуллари ва воситаларининг илмий таҳлили”** деб номланган биринчи бобида донни қайта ишлаш корхоналарида дон намлигини путур етказмасдан назорат қилиш жараёнига қўйиладиган талаблар ва улар асосида дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчашга мувофиқ равишда сиғимли усулни кенг қўллаш, сочилувчан ва қаттиқ моддалар намлигини ўлчаш усул ва воситаларини илмий таҳлили, уларнинг асосий камчилиги ва афзалликлари, шунингдек уларни қўлланилиш соҳалари, сиғимли цилиндрлик электродли ўзгарткич асосида намлик ўзгарткичларининг конструктив элементлари, уларнинг геометрияси, дастлабки сигнални ўзгартириш принциплари ҳамда уларда юз берадиган физик жараёнлар таҳлили ҳамда бизнинг мамлакатимизда ва хорижда ишлаб чиқилган ва тавсия этилган нам ўлчаш асбобларининг метрологик характеристикалари ва уларга қўйилган талаблар таҳлил қилинган ва улар асосида сиғимли ўлчаш ўзгарткичлари метрологик характеристикалари ва ишончилиги, шунингдек иқтисодий кўрсаткичлари бўйича самарали эканлиги кўрсатиб ўтилган.

Диссертациянинг **“Сиғимли намлик ўзгарткичларини яратиш ва уларни тадқиқ қилиш”** деб номланган иккинчи бобида дон ва дон маҳсулотларининг намлигини ўлчашда сиғимли ўзгарткичларнинг структура модели ва ўлчаш аниқлигига бевосита таъсир этувчи турли кўринишдаги поляризация жараёнлар мураккаб поляризация диэлектрик асосда ҳар томонлама таҳлил қилинган.

Сиғимли ўзгарткични исталган электрофизик, шу билан бирга намликни диэлкометрлик усулда ўлчашга асосланган, кетма-кет уланган 3 та звенодан ташкил топган ўзгарткичнинг умумлашган структура схемасини кўриб чиқамиз (1-расм).



1-расм. Сиғимли ўзгарткичнинг умумлашган структура схемаси.

1-звенода ўлчанадиган катталик, яъни намлик W , материалнинг намлигига боғлиқ электр хусусиятларини характерловчи физик (бизни ҳолда электр) катталик e га ўзгартирилади. 2-звено – нам ўлчагичнинг бирламчи

ўлчаш ўзгарткичи бўлиб, унда e кейинги қайта ўлчаш учун қулай бўлган чиқиш сигнали x (сиғим, комплекс қаршилик ёки унинг бирор бир ташкил этувчиси) га ўзгартирилади. 3-звено ўлчаш ўзгарткичи (ўлчаш қурилмаси) нинг чиқишида олинadиган аналогли ёки рақамли чиқиш сигнали y намлик бирлигида даражаланади.

Бундай мураккаб структура бўйича мураккаб кўп компонентли ва бир жинсли бўлмаган дон ва дон маҳсулотлари гетрогенли тизим синфига тегишли бўлади ва уларнинг электрик хусусиятларини тасвирлашда диэлектрикларнинг замонавий физик усуллари билан бир қаторда гетрогенли қоришмаларнинг хусусиятларини ҳам ҳисобга олишга тўғри келади.

Диссертациянинг **“Цилиндрик ўзгарткич асосидаги намлик ўлчагичнинг асосий метрологик характеристикалари”** деб номланган учинчи бобида сиғимли электродлар асосида нам ўлчагич ўлчаш ячайкасининг физик модели ишлаб чиқилиб, назорат қилинувчи модданинг жойлашишига, муҳит ва модданинг диэлектрик сингдирувчанлиги ва электродларнинг геометрик ўлчамларига боғлиқ бўлган ўлчаш электродларининг электр сиғими ва унга мос келувчи электродлар орасидан ўтувчи ток аниқланган.

Маълумки, дон ва дон маҳсулотлари нам ўлчагичининг сиғимли цилиндрик ўзгарткичнинг конструкцияси ва унинг асосий элементлари ўзгарткичнинг метрологик характеристикаларига, жумладан, аниқлиги, ўлчаш хатолиги, ишончлилиги ва ўлчаш натижасини узатишга бевосита таъсир кўрсатади. Ўзгарткични лойиҳалаш даврида юқорида таъкидлаб ўтилган характеристикаларни яхшилаш фақатгина аниқ ҳисоблашлар асосида амалга оширилади. Шу нуқтаи назардан келиб чиққан ҳолда, цилиндрик ўзгарткични дастлабки сиғимни ҳисоблаш зарурати юзага келади.

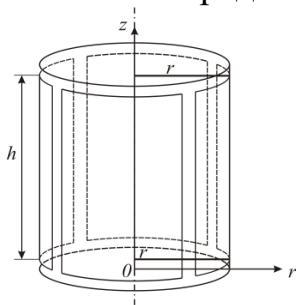
Сиғимли цилиндрик ўзгарткичнинг электр сиғими C қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$C = \frac{q}{\varphi},$$

бунда q – ҳисоблаш қулай бўлган ўлчаш ўзгарткичнинг ўтказувчан қисмининг битта электродида тўпланган заряд; φ – электродлар орасидаги потенциал. Ўзгарткичнинг барча электродларининг тўлиқ юзасига тенг тақсимланган заряд миқдори қуйидаги интеграл ифодадан аниқланади:

$$q = \int \sigma dS = \sigma \int dS,$$

бунда $\sigma = \text{const}$ – заряднинг юзавий зичлиги.



2-расм. Цилиндрик намлик ўлчаш ўзгарткичи

Бир неча математик ўзгартиришлардан сўнг цилиндрик координаталар тизимида ўзгарткич битта электроди учун унинг учларидаги потенциал $\varphi_{от}$ ни ва электродининг геометрияси билан боғлиқ бўлган дастлабки сиғими учун қуйидаги математик ифодаларни топамиз (2-расм):

$$\varphi_{ot} = \int d\varphi = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{x} = \frac{\sigma r}{8\epsilon_0} \ln \left| \frac{h + \sqrt{h^2 + r^2}}{r} \right|,$$

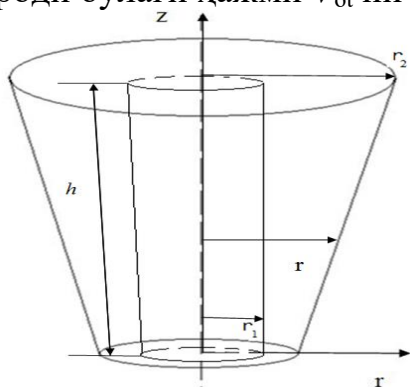
$$C = \frac{\sigma\pi RH}{2} \frac{8\epsilon_0}{\sigma R \ln \left| \frac{H + \sqrt{H^2 + R^2}}{R} \right|} = \frac{4\pi\epsilon_0 H}{\ln \left| \frac{H + \sqrt{H^2 + R^2}}{R} \right|} \quad (1)$$

Энди худди шу каби кесик конус шаклидаги сиғимли ўзгарткичнинг ҳам сиғимини ҳисоблаш формуласини топамиз. Ўзгарткич барча электродларининг тўлиқ ҳажмига тенг тақсимланган заряд миқдори қуйидаги интеграл ифодадан аниқланади:

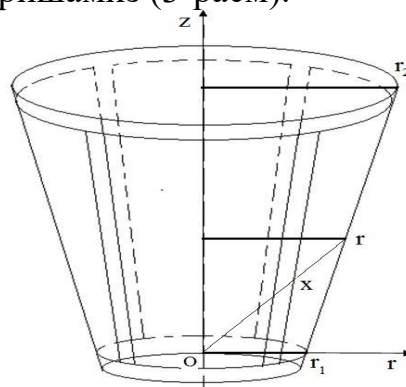
$$q = \int \rho dV = \rho \int dV,$$

бунда ρ – заряднинг ҳажмий зичлиги; V – электродларнинг ҳажми.

Цилиндрсимон координаталар тизимида ишлаб чиқиш учун қулай бўлган дон намлигини ўлчаш ўзгарткичининг ўтказувчан қисми битта электроди бўлаги ҳажми V_{ot} ни ҳисоблашга киришамиз (3-расм).



3-расм. Кесик конус шаклидаги намлик ўлчаш ўзгарткичининг битта электрод сиғимини ҳисоблаш



4-расм. Кесик конус шаклидаги намлик ўлчаш ўзгарткичининг битта электрод потенциални ҳисоблаш

Бунинг учун биз дастлаб r_1 ва r_2 асосларининг радиуси ва h баландлиги билан кесик V_{uk} конуснинг ҳажмини ҳисобламиз, яъни

$$V_{uk} = \frac{\pi h}{3} (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)$$

ва олинган натижани 4 га бўламиз, жумладан, битта электрод ҳажми расмда кўрсатилган тўла ҳажимнинг чорак қисмини ташкил қилади (4-расм).

Натижада қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$V_{ot} = \frac{\pi h}{12} (r_2^2 + r_1 r_2 + r_1^2).$$

Сиғимли цилиндрик ўзгарткич электродлари учларидаги потенциални аниқлаш муҳим бўлиб, электродлар орасида ҳосил бўладиган электр майдон кучланганлигига бевосита таъсир қилади, чунки майдон потенциали электр майдонининг энергетик характеристикасидир. Электр майдон потенциални ҳисоблаш цилиндрсимон координаталар тизимида амалга оширилади.

Сиғимли цилиндрик ўзгарткич электродлари учларидаги потенциал

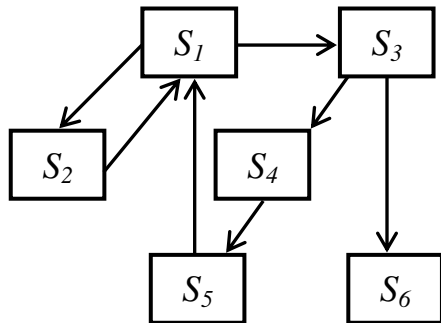
$$\varphi = \int d\varphi = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dQ}{x} = \frac{\rho}{8\epsilon_0} \int_0^h dz \int_{r_1}^r \frac{rdr}{\sqrt{z^2 + r^2}}$$

ни ҳисоблаб, ўлчаш ўзгарткичи битта электроди учун унинг дастлабки сиғими учун қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$C = \frac{\frac{\pi h}{12}(r_2^2 + r_1 r_2 - 2r_1^2)}{\frac{I_1 + I_2}{8\pi\epsilon_0}} = \frac{2\pi^2 \epsilon_0 h (r_2^2 + r_1 r_2 - 2r_1^2)}{3(I_1 + I_2)}. \quad (2)$$

Демак, 1 ва 2 формулалардан кўринадики, сиғим ўлчаш ўзгарткичининг дастлабки сиғими асосан унинг геометрик ўлчамларига боғлиқ бўлади. Бинобарин, бу параметрлар жуда аниқ қилиб олиниши зарур. Бу эса ўзгарткичининг ўзгартириш коэффициентини оширади.

Цилиндрик электрод асосидаги намликни ўлчаш ўзгарткичида юз берадиган жараёнининг математик моделини тузишга киришамиз. Ўзгарткич электродлари орасига нам модда жойлаштирилганда электр сиғим ўзгаради, бу деган сўз электродлар орасидаги электр майдон оқимининг кучланганлиги ўзгаришига олиб келади. Бу жараёнлар тасодифий равишда юз беради, натижада ўлчаш занжирининг чиқиш сигнали ҳосил бўлади. Ана шу бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтишда ўзгарткич занжирида сигнал ҳосил бўлишини тасодифий жараёнлар назариясининг асосий хулосаларидан бири бўлган граф ўтишлари билан боғланишни аниқлаб, ўзгарткич математик моделини ишлаб чиқамиз.



5-расм. S системанинг мураккаб ўтиш ҳолатларига эга бўлган граф модели

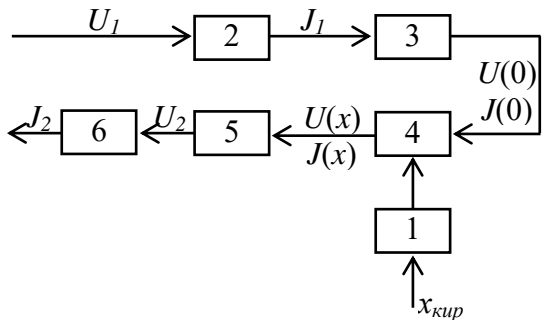
Тақсимланиш параметрларининг ўзгариши сиғим электродли ўзгарткичининг чиқишида ток $J_i(x)$ ва кучланиш $U_i(x)$ ни ўзгаришига олиб келади, чунончи, бу ўзгариш ўзгартириш занжирида сиғим $C_i(x)$, ўтказувчанлик $G_i(x)$ ва қаршилик $R_i(x)$ ларнинг таъсирида амалга ошади.

Сиғим ўзгарткичининг ўзгартириш занжирида барча граф ўтиш ҳолатлар бир-бирига боғлиқ бўлиб, агар улардан бири ўзгарса, қолганлари ҳам мос равишда ўзгаради. Демак, граф ўтишлар ўзгарткичининг статик ва динамик характеристикаларини аниқлаш имкониятини яратади.

Юқоридаги фикр-мулоҳазалардан шу нарса маълум бўладики, цилиндрлик ўзгарткич асосидаги намликни ўлчаш ўзгарткичи характеристикаларини

баҳолаш, уни куриш принципларини аниқлаш ва ўлчаш хатолиги манбаларини аниқлашда граф моделидан фойдаланиш зарурияти келиб чиқади. Граф модели асосида ўзгартириш занжирлари орасидаги ўзгарувчи параметрларни функционал боғланишни аниқловчи занжирлараро коэффициентларни аниқлаш билан ўзгарткичининг статик ва динамик характеристикаларини тадқиқ қилиш мумкин.

Шу нуқтаи назардан келиб чиққан ҳолда, цилиндрик электрод асосидаги намликни ўлчаш ўзгарткичининг умумлашган структура схемасини кўриб чиқамиз (6-расм).



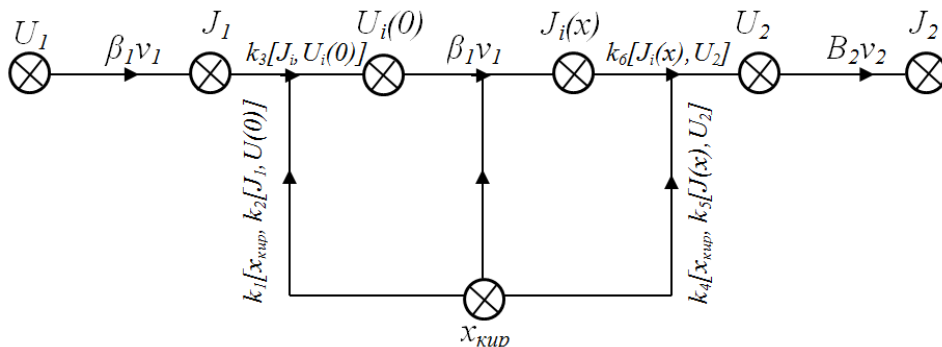
6-расм. Цилиндрик электрод асосидаги намликни ўлчаш ўзгарткичининг умумлашган структура схемаси

Структура схемасидан кўринадики, $x_{куп}$ кириш катталиги куйидаги элементларга бевосита ёки қабул қилувчи элемент орқали таъсир этиши мумкин: 2 – физик майдонни кўзгатувчи ток манбаи; 3 – физик майдонни тақсимланиш канали; 4 – физик майдонни қабул қилувчи элемент, 5 ва 6 чиқиш сигналини ўзгартирувчи элементлар.

Цилиндрик электрод асосидаги намлик ўзгарткичининг электродлари атрофидаги электр оқими кучланганлигини ўзгариши, яъни умумлашган ҳолда физик майдоннинг нам материал юзаси бўйича тақсимланиши граф ўтишларнинг моҳиятидан келиб чиқади.

Шуни таъкидлаш керакки, физик майдоннинг тақсимланиши ва унинг қабул қилиниши натижасида ҳосил бўлган чиқиш сигнали U_1 электр кучланиши ёки J_1 ток сифатида олинади, бинобарин, бу эса сигнални яна ўзгартириш, қайта ишлаш, филтр элементларини қўллаш ва уни масофага узатиш имкониятларини юқори даражага кўтаради.

7-расмда цилиндрик электродли намликни ўлчаш ўзгарткичининг умумлашган граф модели тасвирланган.



7-расм. Цилиндрик электродли намликни ўлчаш ўзгарткичининг граф модели.

Граф моделидан кўринадики, ўзгартириш занжирининг электр майдонни кўзгалиши занжирида ҳосил бўлган J_1 ток занжирлараро $k(J_{1i}, U_i)$ коэффициентда ўз аксини топади. Электр оқимини, яъни физик майдоннинг

ўзгаришида $J_i(x)$ ва $U_i(0)$ функциялар орасидаги боғланиш схемали функция β_i ва параметр v_i лар орқали аксланади, бинобарин, ўлчаш занжирининг майдонни қабул қилиш соҳасида $J_i(x)$ ва $U_i(x)$ лар дастлаб, U_2 чиқиш сигналига, кейин эса J_2 келтирилган граф модели асосида $x_{куп}$ кириш катталигини ҳолатларининг $J_i(x)$ ва U_2 соҳасига таъсир этгандаги цилиндрик электродли намлик ўзгарткичининг умумлашган статик характеристикаси қуйидагича ифодаланади:

$$U_2 = U_1 \beta_1 v_1 k_1 (J_1, J_i(0)) \cdot (\beta_i v_i) k_2 \{x_{куп}, k_3 [J_1(x), U_2]\} x_{куп}; \quad (3)$$

бунда β_1 – занжирлараро схема функцияси, v_1 – ўтиш жараёнининг параметри; $x_{куп}$ – ўлчанаётган муҳитнинг намлиги; k_1 – кириш катталигининг цилиндрик электродли намлик ўзгарткичи геометрик параметрларига боғланишини ифодаловчи коэффициенти; k_2 – кириш катталигини ички занжирда ўзгартирилишини характерловчи коэффициент; k_3 – ўзгарткич билан назорат қилинаётган объектни боғланишини ифодаловчи коэффициент; U_1 – кириш кучланиши.

(3) тенгламани қайта ёзиб фақат цилиндрик электродли намлик ўзгарткичи учун ҳосил қиламиз, яъни

$$U_2 = U_1 \beta_1 v_1 k_1 (J_1, J_c(0)) \cdot (\beta_c v_c) k_2 \{x_{куп}, k_3 [J_c(x), U_2]\} x_{куп}. \quad (4)$$

Юқорида таъкидлаб ўтганимиздек, граф моделидаги ҳар бир ўтиш коэффициенти аниқ бир физик эффе́ктни ҳамда цилиндрик электродли намлик ўзгарткичини кириш кучланишини, занжирнинг ички қисмидаги кириш катталиги ўзгаришини ифодалайди.

Ишлаб чиқилган граф модели хулосаларига асосан, ҳар бир граф ўтиш билан боғлиқ бўлган ўзгартириш занжирида физик майдоннинг ўзгариши сиғимли нам ўлчагич электродлари орасига жойлаштирилган дон маҳсулоти параметрларининг ўзгариши билан, жумладан, унинг актив ва реактив қаршиликлари тақсимланиши турлича бўлганлиги учун маҳсулотнинг бирлик узунлигига тўғри келган комплекс қаршиликни ўзгариши сиғим электродли ўзгарткич сиғимини ва дон маҳсулотининг диэлектрик сингдирувчанлигини қайта тақсимланишига олиб келиб, ниҳоят чиқиш занжирида ўлчаш сигнали юзага келади.

Шу нуқтаи назардан олганда, куруқ модда билан сувнинг ўзаро таъсири жуда мураккаб жараён бўлиб, бу таъсир натижасида намлик модданинг турли нуқталарида турлича тақсимланади, демак, сиғим электродли намлик ўзгарткичининг сиғими бир неча параметрларга (аргументларга) боғлиқ бўлган мураккаб функциядан иборат бўлади, яъни

$$C = f[\omega(\varepsilon, \rho)],$$

бунда ε ва ρ – дон маҳсулотининг диэлектрик сингдирувчанлиги ва зичлиги.

Дон маҳсулотини натижавий диэлектрик сингдирувчанлигини аниқлашда қуйидаги ифодадан фойдаланамиз, яъни

$$\lg \varepsilon_c = \sum_{i=1}^n \mu_i \ln \varepsilon_i, \quad (5)$$

бунда μ_i ва ε_i – i - компонентанинг ҳажмий концентрацияси ва диэлектрик

сингдирувчанлиги.

Дон маҳсулотини дон, сув ва ҳаводан иборат деб ҳисоблаб (5) тенгламани қуйидагича ёзамиз:

$$\lg \varepsilon_C = \mu_1 \ln \varepsilon_1 + \mu_2 \ln \varepsilon_2 + \mu_3 \ln \varepsilon_3 \quad (6)$$

(6) тенгламада ҳавонинг диэлектрик сингдирувчанлиги $\varepsilon_3 = 1$ бўлганлиги учун тенгламани қайта ёзамиз,

$$\lg \varepsilon_C = \mu_1 \ln \varepsilon_1 + \mu_2 \ln \varepsilon_2,$$

бунда μ_1, μ_2 ва $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – дон маҳсулотини ташкил этувчи ҳажмий концентрациялари ва диэлектрик сингдирувчанликларининг улушлари.

Бир неча математик ўзгаришлардан сўнг цилиндрлик электродли намлик ўзгарткичининг статик характеристикасини аниқлашда муҳим бўлган $C = f(\varepsilon, w)$ функциянинг умумий кўринишини топамиз, яъни

$$\ln \left(1 + \frac{C_1}{C_0} \right) = \frac{\omega \ln \varepsilon}{1 + \omega}.$$

Юқоридаги ифодалар асосида $C = f(\varepsilon, w)$ статик функцияни қуйидаги умумий кўринишга келтирамиз:

$$C_1 = \frac{4\pi\varepsilon \cdot h}{\ln \left[\frac{h + \sqrt{h^2 + r^2}}{r} \right]} \left(e^{\frac{\omega \ln \varepsilon}{1 + \omega}} - 1 \right).$$

Цилиндрлик электродли намлик ўлчаш ўзгарткичининг граф модели асосида аниқланган (4) тенглама билан ифодаланувчи статик характеристикасини қуйидагича аниқлаймиз:

$$U_2 = U_1 \frac{4\pi\varepsilon_0 \cdot h}{R \cdot \ln \left[\frac{h + \sqrt{h^2 + r^2}}{r} \right]} \left(e^{\frac{\omega \ln \varepsilon}{1 + \omega}} - 1 \right),$$

бунда занжирлараро граф ўтишларининг коэффициентлари:

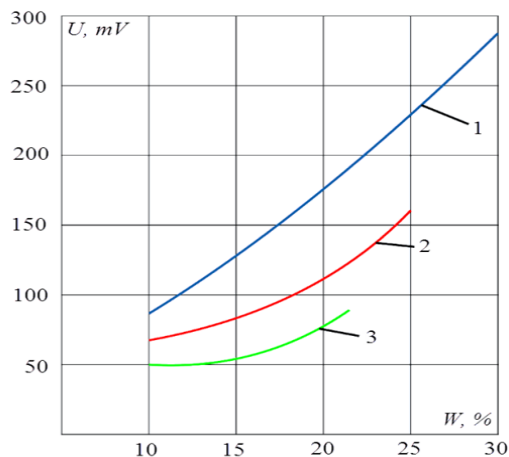
$$\beta_1 \nu_1 = \frac{4\pi\varepsilon}{R}; \quad k_1 [J_1, J_c(0)] \cdot (\beta_i \nu_i) = \frac{h}{\ln \left[\frac{h + \sqrt{h^2 + r^2}}{r} \right]}; \quad k_2 \{x_{куп} \cdot k_3 [J_c(x), U_2]\} \cdot x_{куп} = e^{\frac{\omega \ln \varepsilon}{1 + \omega}} - 1.$$

Шундай қилиб, кириш катталигини физик майдон таъсиридаги ўзгаришларини физик жараёнлар нуқтаи назаридан кўриб чиқилиши шундан далолат берадики, цилиндрлик электродли намлик ўлчаш ўзгарткичи учун граф модели асосида олинган статик характеристикалар кириш катталигини бошқа катталikka айланишини жуда яхши очиб беради.

8-расмдан кўринадики, биринчи статик характеристика иккинчи ва учинчисига нисбатан юқори метрологик характеристикаларни намоён қилади, бинобарин, бунда характеристика ўлчаш генераторининг $f=1 \text{ MHz}$ частотасида олинган ҳамда генераторнинг $f = 0,5 \text{ MHz}$ ва $f = 0,1 \text{ MHz}$ частоталарида характеристиканинг ҳақиқий қийматидан оғиши кузатилади ва характеристиканинг эгрланиши ортади, ўз навбатида сезгирлик ҳам кескин камаяди, хатто 3-характеристика бўйича ўзгарткичининг сезгирлиги икки

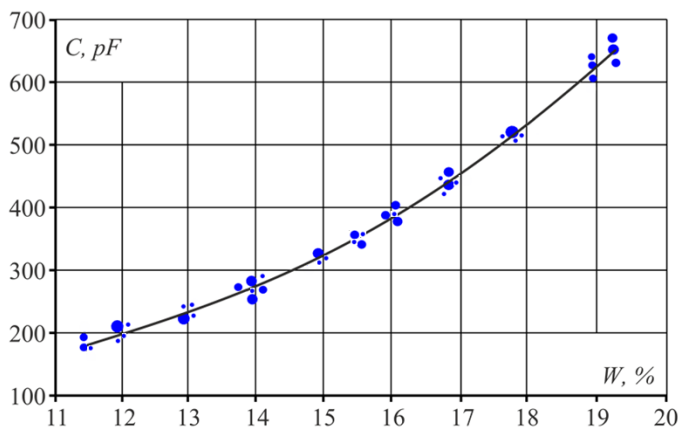
марта камаяди ($f = 0,1 \text{ MHz}$). Бунда чиқиш сигнали бўйича генераторнинг эффектив частотаси ($f = 1 \text{ MHz}$) ҳам аниқланган.

9-расмдан кўринадикки, дон маҳсулотли намлигини ортиб бориши билан цилиндрик электродли намликни ўлчаш ўзгарткичининг сиғими ҳам ортиб боради. Лекин намликнинг 14 ÷ 17 % ли диапазонда ўзгарткичнинг статик характеристикаси ўзининг ҳақиқий қийматидан бир оз оғиши кузатилади, бинобарин, шу кўрсатилган диапазонда дестабил факторларнинг таъсири сезиларли бўлади.



1- $f = 1 \text{ MHz}$; 2- $f = 0,5 \text{ MHz}$;
3- $f = 0,1 \text{ MHz}$;

8-расм. Цилиндрик электродли намлик ўлчаш ўзгарткичининг статик характеристикалари



9-расм. Цилиндрик электродли намликни ўлчаш ўзгарткичи сиғимининг дон маҳсулотли намлигига боғланиши

Диссертациянинг “Дон ва дон маҳсулотлари намлигини сиғимли цилиндрик ўзгарткичнинг асосий ўлчаш хатоликларининг таҳлили” деб номланган тўртинчи бобида цилиндрик электрод асосидаги ўлчаш ўзгарткичи хатоликлари таҳлил қилинган.

Сиғимли электродлар системаси асосида ишлаб чиқилган намликни ўлчаш ўзгарткичларни лойиҳалаш ва қуриш принципларини аниқлашда ўлчаш хатоликларини ва уларнинг манбаларини тадқиқ қилиш ва дестабил факторларни юзага чиқариш муҳим босқичлардан ҳисобланади, бинобарин, уларнинг кўпчилиги кириш катталигининг ўзгариши жараёнида ҳосил бўлади. Шу нуқтаи назардан ишлаб чиқилган цилиндрик электродли ўзгарткич учун характерли бўлган ўлчаш хатоликларини кўриб чиқамиз.

Ушбу цилиндрик электрод асосидаги ўзгарткичнинг конструкцияси ва унинг асосий элементлари, ўлчаш натижаларининг таҳлили ҳамда ўлчаш тизимини мукамал ўрганиш асосида ўзгарткич ўлчаш хатоликларининг классификацион схемаси ишлаб чиқилди (10-расм).

Цилиндрик сиғим элементлар асосидаги нам ўлчагични хатолик манбалари асосан методик ва инструментал хатоликларга бўлинади. Қўшимча хатоликлар ички ва ташқи факторларнинг ўзгариши ва ўлчаш занжирининг турли қисмларига таъсир натижасида ҳосил бўлади.

Ҳар қандай ўлчаш ва ўлчаш жараёни тасодифий бўлганлигини эътиборга

олсак, ўлчаш хатолигининг манбалари ва уларнинг келиб чиқиш сабаблари ҳам тасодифий жараёнлар назарияси асосида тушунтирилади.

Тасодифий жараёнлар назариясининг энг асосий элементларидан бири – бу юз бераётган жараённи ҳолатини характерловчи граф ўтишларидир. Ана шу граф ўтишлари асосида тузилган граф модели асосидагина сиғим элемент асосидаги цилиндрик электродли нам ўлчагич хатоликларини ҳамда ички ва ташқи дестабил факторларнинг уларга таъсирини эффектив баҳолаш мумкин.



10-расм. Цилиндрик электрод асосидаги ўзгарткич хатоликлари манбаларининг классификацион схемаси

Энтропик хатоликнинг тақсимланиш қонуни сиғим электродлари асосидаги намлик ўзгарткичининг конструктив элементлари ҳамда кириш занжиридаги электр оқимининг ўзгаришига боғлиқ бўлади. Намлик ўзгарткичининг ўртача квадратик ўлчаш хатолиги ўзгарткич айрим элементларининг хатоликларидан ташкил топади, яъни

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2},$$

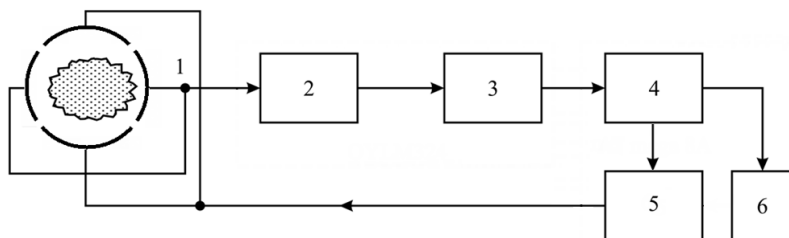
бунда $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_n$ – ўзгарткич элементларининг хатоликлари.

Ушбу тўртинчи бобда сиғим электродли дон ва дон маҳсулотларини намлигини ўлчаш ўзгарткичининг умумий ўлчаш хатолигини ҳисоблаш усули, цилиндрик электродли намликни ўлчаш ўзгарткичи ўзгартириш занжирининг асосий хатоликлари ва унинг структуравий схемалари ҳамда цилиндрик электродли намликни ўлчаш ўзгарткичи температура хатолигини коррекциялаш схемалари ишлаб чиқилган.

Ўлчаш аниқлиги ва ишончилиги юқори бўлган цилиндрик электродли намликни ўлчаш ўзгарткичи асосида сочилувчан материаллар намлигини назорат қилишга мўлжалланган микропроцессор ўлчаш қурилмаси ишлаб чиқилди, бунда у ўлчаш аниқлигини ошириш учун ташқи ва ички дестабил факторлар ва ўлчаш муҳити температураси ўзгаришини коррекциялаш

элементлари ва схемалари билан таъминланган.

11-расмда цилиндрик электродли сиғим ўзгарткич асосидаги сочилувчан материаллар намлигини ўлчаш микропроцессор қурилмаси ўлчаш тизимининг структуравий схемаси келтирилган. Цилиндрик электродлари орасига жойлаштирилган материалнинг намлиги ўзгариши натижасида унинг электр сиғими ўзгариб, ўлчаш генератори 5 нинг чиқишида намликка мос бўлган ўзгарувчан сигнал ҳосил бўлади (11-расм).



11-расм. Цилиндрик электродли сиғим ўзгарткич асосидаги сочилувчан материаллар намлигини ўлчаш микропроцессор қурилмаси ўлчаш тизимининг структурали схемаси.

Структуравий схеманинг асосий элементлари:
1-цилиндрик электродли сиғим ўзгарткич;
2-детектор;
3-операцион кучайтиргич;
4-микроконтроллер;
5-ўлчаш генератори;
6-суяқ кристалли индикатор.

Бу ўзгарувчан сигнал интеграл детектор 2 га берилгандан сўнг, у икки ярим даврли схема ёрдамида тўғриланади ва детекторнинг чиқишида сигналнинг қайта ишланган ўртача квадратик қиймати олинади ва у сигнални максимал қийматигача детекторлашга мўлжалланган. Детекторнинг нагрукаси операцион кучайтиргич 3 бўлиб, у сигнални кучайтиради ва қайта ишлаб АТ mega 8A типидagi микроконтроллер 4 га ўтказади, бинобарин, у аналог сигнални кодланган рақамли сигналга ўзгартиради ва бу тизим махсус дастур асосида ишлайди. Қайта ишланган сигнал суяқ кристалли индикатор 6 га берилади ва унинг экранида намликнинг ўлчанган қиймати намоён бўлади.

12-расмда дон ва дон маҳсулотларининг намлигини сиғимли ўлчаш асбобининг ташқи кўриниши келтирилган.



12-расм. Дон ва дон маҳсулотларининг намлигини сиғимли ўлчаш асбоби

ХУЛОСА

1. Сочилувчан ва қаттиқ моддалар намлигини ўлчаш усул ва воситалари илмий таҳлил қилинди ҳамда таҳлил қилинган усул ва воситаларнинг асосий камчилиги ва афзалликлари, шунингдек уларни қўлланилиш соҳалари аниқланди.

2. Сиғим элементлари асосидаги турли конструкцияга эга бўлган замонавий намликни ўлчаш асбоблари, усуллари ва уларга асосланган намликни ўлчаш ўзгарткичлари таҳлил қилиниб, уларнинг метрологик характеристикалари ўрганилди ҳамда улар асосида сочилувчан материаллар намлигини ўлчашда сиғимли электродларда ишлаб чиқилган ўзгарткичлар истиқболли эканлиги кўрсатиб берилди.

3. Цилиндрик электродли дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш ўзгарткичининг граф ўтишларига асосланган математик модели ишлаб чиқилди ва ўзгарткичнинг статик характеристикаси аниқланди.

4. Дон ва дон маҳсулотлари намлигини сиғимли цилиндрик ўлчаш ўзгарткичининг дифференциал сезгирлик мезони асосида материалнинг актив, реактив қаршиликлари ва изоляция қопламасининг реактив қаршилигига боғлиқ бўлган материал комплекс қаршилиги ва сиғим ўзгарткичнинг сезгирлигини ифодаловчи математик тенгламалар асосида параметрлар боғланишларининг функционал характеристикалари келтирилди ва сиғим ўзгарткичнинг максимал сезгирлиги $R_m=0,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}$ қаршиликда кузатилиши исботланди ҳамда ўзгарткични ишончилиги 0,95 ни ташкил этиши аниқланди.

5. Цилиндрик электрод асосидаги ўлчаш ўзгарткичи умумий ўлчаш хатолиги ва намлик характеристикаларига боғлиқ бўлган миқдорий боғланишларни ифодаловчи математик тенгламалар тузилди ва материалнинг солиштирма ўтказувчанлиги ҳамда қаршилигининг материал узунлиги бўйича тақсимланиши ўлчашларнинг математик кутилиши ва дисперсиясига боғлиқ эканлиги исботланди.

6. Намликни ўлчаш ўзгарткичи кириш катталигини ўзгартириш занжири хатоликларини баҳолашнинг структуравий элементлари ва коррекциялаш схемалари ишлаб чиқилди.

7. Ўлчаш аниқлиги ва ишончилиги юқори цилиндрик электродли намликни ўлчаш ўзгарткичи асосида сочилувчан материаллар намлигини назорат қилишга мўлжалланган микропроцессор ўлчаш қурилмаси ишлаб чиқилди. Дон ва дон маҳсулотларининг намлигини назорат қилишда қўлланиладиган сиғимли цилиндрик намлик ўлчаш асбоби Ўздонмаҳсулот АК таркибидаги “Тошкентдонмаҳсулотлари” АЖ, “G’alla-alteg” АЖ ларга жорий қилинди. Йиллик иқтисодий самара 195,965 млн. сўмни ташкил қилади.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ЖАББОРОВ ХАМДАМ ШАЙМАРДОНОВИЧ

**ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА И ЗЕРНОПРОДУКТОВ НА
ОСНОВЕ ЕМКОСТНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

05.03.01 - Приборы. Методы измерения и контроля (технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2020

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2017.4.PhD/T518.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: **Исмагуллаев Патхулла Рахматович,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Ахмедов Барат Махмудович**
доктор технических наук, профессор

Улжаев Эркин
доктор технических наук, профессор


Ведущая организация: **Ташкентский химико-технологический институт**

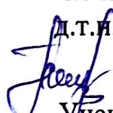
Защита диссертации состоится «15» 10 2020 г. в 12⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

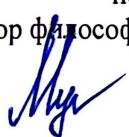
С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за №161). (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан «8» 10 2020 года.
(реестр протокола рассылки № 19 от «19» 09 2020 года).




Н.Р. Юсупбеков,
Председателя Научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик АН РУз


У.Ф.Мамиров,
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии (PhD) по техническим наукам


У.Т.Мухамедханов,
Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире на сегодня в интенсивно развивающейся технике информационно-измерительных систем большое внимание уделяется одному из перспективных направлений – разработке емкостных преобразователей для диагностики параметров различных сред. В этом аспекте одной из важных задач является разработка емкостных преобразователей влажности зерна и зерновых продуктов с улучшенными функциональными и надежностными характеристиками на основе модифицированных емкостных элементов. С этой точки зрения необходимость создания емкостных преобразователей влажности, которые эффективно функционируют под действием дестабилизирующих факторов с линейной статической характеристикой, что определяет основные требования к емкостным преобразователям влажности.

В мире на сегодня особое внимание уделяется исследованию емкостных преобразователей, которые связаны влажностными характеристиками зерна и зерновых продуктов. С этой целью исследования проводятся в том числе, в следующих направлениях: усовершенствование конструкции для разработки емкостных преобразователей с минимальной погрешностью и высокой точностью; создание интеллектуальной схемы измерения для обеспечения оценки погрешностей и статических характеристик емкостных преобразователей; создание основных принципов построения емкостных преобразователей; разработка емкостных элементов, обеспечивающие высокую точность и чувствительность, и особенно, линейность статической характеристики, являющейся основным критерием диапазона измерений.

В настоящее время в Республике Узбекистан получены научные и практические результаты по разработке емкостных преобразователей для измерения влажности зерна и зерновых продуктов с сравнительно дешевой технологией на основе модифицированных емкостных чувствительных элементов с оптимальными параметрами, отвечающих современным требованиям информационно-измерительных систем по надежности и точности. В Стратегии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан обозначены задачи, в том числе «... имеет важное значение стимулирование разработок эффективного механизма внедрения достижений научных исследований, применение физических процессов»¹. Для решения этих задач одним из важных вопросов является применение физических процессов, протекающих в емкостных преобразователях в практику, их использования для разработки измерительных средств на основе емкостных преобразователей. Особое внимание обращается развитию активного предпринимательства, инновационных идей и технологий нацеленных на получение эффективных научных результатов, отвечающих современным требованиям научного развития.

Данный научный труд в определенной степени служит выполнению

¹ Указ Президента Республики Узбекистан “О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистана на 2017-2021 годы” УП-4947 от 7 февраля 2017 года.

задач, предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан ПФ-4947 «О мерах по дальнейшей реализации Стратегии действий и развития Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года и Постановлении Кабинета Министров № 95 от 25 мая 2006 г. «О дополнительных мерах по совершенствованию системы учета зерна и зернопродуктов, усилению контроля за их хранением», а также других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Научная работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан III. «Энергетика, энерго-ресурсосбережение, транспорта, машино- и приборостроение, развитие современной электроники и микроэлектроники, фотоники и электронного приборостроения».

Степень изученности проблемы. Научно-исследовательские работы по разработке интеллектуальных микропроцессоров для измерения влажности зерна и зерновых на основе модифицированных емкостных элементов осуществляется в известных научных центрах мирового масштабе, а также ведущих фирмах Hewlett-Pascard (Великобритания), Siemens, Volvo (Германия), Wile Farmcomp (Финляндия), Acvatron AURA (Швейцария), зарубежными учеными Stuard Gordon, Ferry N. Toth (Австралия), Tianming Chen, Mathew G.Pelettier, Muchael E. Gvili, Houri Johari (АҚШ), Mohd Nirar Namidon (Малайзия), Jukka Voutilainen (Финляндия), Burak Okcan (Туркия), В.В.Молочникова, С.В.Годлевской, И.К.Пожитока, Н.И.Мухурова, В.В.Лисовского (Белоруссия) и российскими учеными Ю.П.Секанова, Е.С.Кричевского, В.С.Ройфе, С.Н.Шведова и др.

В области разработки принципов построения измерительных преобразователей большой вклад сделали отечественные ученые-академики: Н.Р.Юсупбеков, Х.З.Игамбердиев, М.Баходирханов; профессора: П.Р.Исматуллаев, Ш.М.Гулямов, М.М.Мухитдинов, Р.М.Мирсаатов, О.Ш.Хакимов, Р.К.Азимов, А.Т.Рахманов, Ю.Г.Шипулин, У.Т.Мухамедханов, Б.М.Ахмедов, П.М.Матякубова и Э.Улжаев.

Однако в существующих исследованиях не проанализированы единые позиции принципов построения и эффективная геометрия емкостных элементов, недостаточное развитие получили проектирование преобразующих емкостных элементов и функциональных возможностей, а также источников погрешностей, в ряде конструкций – недостаточная точность и надежность объясняется отрицательным влиянием поляризационных процессов при преобразовании входной величины.

Из выше изложенного следует, что своего решения требуют проблемы разработки информационно-измерительных и технологических аспектов емкостных преобразователей влажности на основе емкостных элементов, научно-обоснованные предложения по разработке структурных схем погрешностей и математических моделей, рекомендаций по расчету и уменьшению погрешностей, а также методам коррекции выходных сигналов.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ ТГТУ по хозяйственному договору 22/10/02-3800-«Разработка и внедрение средств для измерения влажности шихты в производственных условиях» (2010-2013), и по проекту ОТ-А3-57 «Разработка микропроцессорного измерительного прибора для контроля температуры и влажности различных объектов на основе наноструктурных кремневых преобразователей» (2017-2018).

Цель диссертации. Целью исследования является разработка микропроцессорного устройства и структурные схемы для анализа погрешностей на основе цилиндрического емкостного преобразователя с высокой точностью и надежностью для измерения влажности зерна и зерновых продуктов.

Задачи исследования:

анализ современного состояния теории и практики методов и средств контроля влажности зерновых продуктов;

разработка математических моделей и принципов построения преобразователя влажности зерна и зернопродукта с цилиндрическим электродом;

разработка структурных схем, позволяющих классифицировать погрешности преобразователя при измерении влажности зерна и зернопродуктов с цилиндрическими электродами и оценить их влияние;

исследование методики параметрического проектирования по критериям чувствительности, точности, надежности и линейности статической характеристики емкостных цилиндрических измерительных преобразователей;

разработка микропроцессорного устройства для измерения влажности зерна и зернопродуктов на основе емкостного цилиндрического измерительного преобразователя;

экспериментальные испытания разработанного прибора для измерения влажности зерна и зернопродукта на зерноперерабатывающих предприятиях и оценка технико-экономических показателей предлагаемого измерителя.

Объектом исследования являются емкостные цилиндрические измерительные преобразователи для контроля влажности зерна и зернопродуктов с линейной статической характеристикой, высокой надежностью и точностью, а также интеллектуальное измерительное устройство на их основе.

Предметом исследования являются принципы построения и статические характеристики емкостных цилиндрических преобразователей для измерения влажности зерна и зернопродуктов, погрешности измерений, конструкция нового преобразователя и интеллектуальных измерительных приборов на их основе.

Методы исследований. В диссертации использованы следующие методы исследования: общие методы измерения влажности, теория измерений, обработка результатов измерений и их статистический анализ, теория информационно-измерительных систем, методы и средства организации

эксперимента и теория графовых переходов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработаны новые емкостные преобразователи различных конструкций для измерения влажности зерна и зерновых продуктов и формулы для расчета их емкости;

разработаны математическая модель и принципы построения преобразователя влажности зерна и зернопродукта с цилиндрическим электродом;

разработаны структурные схемы, позволяющие классифицировать источники погрешностей емкостного цилиндрического преобразователя зерна и зернопродуктов и оценить их влияние;

разработаны методики параметрического проектирования по критериям чувствительности, точности, надежности и линейности статической характеристики емкостных цилиндрических измерительных преобразователей;

разработано интеллектуальное микропроцессорное измерительное устройство на основе емкостного цилиндрического преобразователя с улучшенными метрологическими характеристиками по сравнению с существующими аналогами.

Практические результаты исследования:

разработана конструкция емкостного цилиндрического преобразователя для измерения влажности зерна и зернопродуктов с высокой точностью, надежностью и линейными статическими характеристиками;

создана цифровая интеллектуальная микропроцессорная измерительная система с очень малыми погрешностями измерения выходного сигнала емкостного цилиндрического преобразователя;

определено, что параметры зерна и зерновых продуктов связаны с емкостью емкостного преобразователя, и на этой основе разработано и проанализировано математическое выражение статических характеристик преобразователя влажности;

прибор для измерения влажности зерна и зернопродуктов, разработанный на основе емкостного преобразователя, испытан в лабораторных и производственных условиях, определены его метрологические характеристики.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследований подтверждается применением современных апробированных научно-исследовательских и стандартных методов в исследовании и разработке цифрового интеллектуального микропроцессорного устройства на основе цилиндрического емкостного преобразователя с наилучшими характеристиками, а также математическим обоснованием разработанных моделей, сравнительным анализом полученных выражений, описывающих характеристик и физические процессы преобразования входной величины. Для оценки результатов исследований проведен анализ эффективности по критериям надежности, точности, линейности статической характеристики и чувствительности измерительной системы с применением цифрового интеллектуального микропроцессорного средства измерений.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в изучении закономерностей физических процессов в цепочке изменения входных параметров на основе графовой модели и определении влияния внешних и внутренних дестабилизирующих факторов на точность выходного сигнала и линейностью статической характеристики емкостного цилиндрического преобразователя для измерения влажности зерна и зернопродуктов.

Практическая значимость результатов научной работы определяется широкими возможностями использования разработанных цилиндрических емкостных преобразователей влажности и на их основе микропроцессорного прибора в системах хранения, переработки зерна и зерновых продуктов, а также других систем таких как системы переработки и контроля качества сельскохозяйственной продукции, металлургической промышленности, и природоохранных системах.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных результатов по разработке микропроцессорного измерительного устройства на основе цилиндрического емкостного преобразователя для измерения влажности зерна и зерновых продуктов внедрены:

разработаны математическая модель и принципы построения преобразователя влажности зерна и зернопродукта с цилиндрическим электродом дающим возможность быстро получить информацию о влажности зерна и внедрен на АО “GALLA-ALTEG” (Справка АК “УЗДОНМАҶСУЛОТ” №8-11/74-1080 от 13 июля 2020 года). Что в результате позволяет исключить из ныне используемых работ и затрат: подготовку зерновых образцов к анализу, сушку образцов в сушильных шкафах, взвешивание образцов до и после сушки, применение косвенных методов измерения и использование специального помещения;

внедрен интеллектуальный микропроцессорный измерительный прибор на АО “GALLA-ALTEG” для определения влажности продуктов из пшеницы на предприятиях по хранению и переработке зерна (Справка АК “УЗДОНМАҶСУЛОТ” №8-11/74-1080 от 13 июля 2020 года). Результат внедрения разработки приводит к созданию стабильного условия хранения зерновых продуктов, что обеспечивает сохранение качества и исключение потери зерновых продуктов.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 4 международных и 2 республиканских научно-технических конференциях.

Публикация результатов исследования. По результатам выполненных исследований опубликовано 18 научных работ, из них 9 в научных журналах из перечня ВАК РУз, в том числе 6 научные статьи в международных журналах и получен 1 ДГУ на ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающей 137 наименований. Работа изложена на 110 страницах машинописного текста, включая

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, приведен обзор научных исследований по теме диссертации, степень изученности проблемы, сформулированы цель и задачи, выявлены объект, предмет и методы исследования, определена связь исследований с основными приоритетными направлениями развития науки и техники в республике, изложена научная новизна работы и обоснована достоверность полученных результатов.

В первой главе диссертации **«Научный анализ методов и средств измерения влажности твердых и сыпучих материалов»** приведены обзор современного состояния проблемы емкостных преобразователей на основе цилиндрических электродов, а также обоснованы основные требования к емкостной влагометрии зерна и зерновых продуктов, рассмотрены перспективы повышения эффективности емкостных преобразователей и выявлены их основные недостатки и преимущества. Изучены основные конструктивные элементы цилиндрических емкостных преобразователей с учетом их геометрических параметров, принципы преобразования входного сигнала в зависимости физических процессов, практикующих в измерительной ячейке преобразователя.

Краткий анализ существующих емкостных преобразователей, разработанных за рубежом и в нашей Республике, показывает, что по основным метрологическим характеристикам, достоверности и экономическим показателям требованиям емкостной влагометрии зерна и зерновых продуктов отвечают емкостные преобразователи влажности.

Во второй главе диссертации **«Создание и исследование емкостных преобразователей влажности»** проанализированы структурная модель емкостного преобразователя влажности зерна и зерновых продуктов и влияние разнообразных поляризационных процессов на точность измерения преобразователя на примере сложного диэлектрика.

Рассмотрим обобщенную структурную схему, основанную на диэлькометрическом методе измерения влажности, которая состоит из последовательно соединённых трех звен (рис. 1).

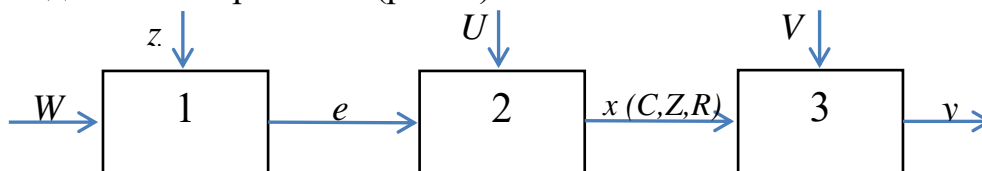


Рис 1. Обобщенная структурная схема емкостного преобразователя.

Первое звено характеризуется преобразованием влажности W на физическую величину e , которая связана электрическим свойствам влажного материала. Второе звено является первичным измерительным преобразователем влагомера, что преобразует величину e на выходной сигнал x , так как

величина x измеряется в виде тока или напряжения. В третьем звене измеренная величина преобразуется на аналоговый или цифровой сигнал y , градуируется в единицах влажности.

Таким образом, зерно и зерновые продукты характеризуются неоднородностью, имеют сложную компонентную структуру и относятся к гетерогенным системам, так как при разработке емкостных преобразователей влажности необходимо учитывать основные электрические и диэлектрические свойства гетерогенных смесей.

В третьей главе диссертации, «**Основные метрологические характеристики влагомера на основе цилиндрического преобразователя**» рассматриваются вопросы разработки физической модели измерительной ячейки влагомера на основе емкостных электродов и определен ток, протекающий через электрод емкостного преобразователя, который зависит от диэлектрической проницаемости измеряемой среды и геометрических параметров электродов, а также емкости электродов преобразователя.

Известно, что конструкция и его основные элементы существенно влияют на метрологические характеристики емкостного преобразователя влажности, то есть точность, погрешность и передачи результата измерения. Улучшение изложенных выше характеристик в стадии проектирования емкостного преобразователя осуществляется только на основе точных и обоснованных расчетов. С этой точки зрения возникает необходимость расчета исходной емкости цилиндрического преобразователя.

Электрическая емкость C цилиндрического преобразователя определяется выражением в виде:

$$C = \frac{q}{\varphi},$$

где q – заряд электрода преобразователя; φ – потенциал между электродами.

Количество заряда, равномерно распределенный на поверхностях всех электродов емкостного преобразователя определяется интегральным выражением в виде:

$$q = \int \sigma dS = \sigma \int dS,$$

где $\sigma = \text{const}$ – поверхностная плотность заряда.

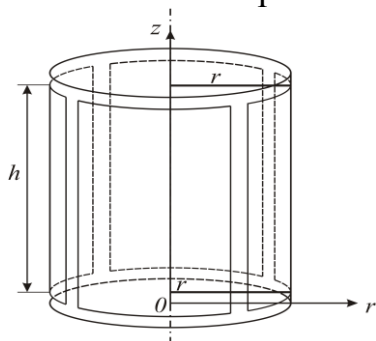


Рис.2. Цилиндрический измерительный преобразователь влажности

После нескольких математических преобразований получаем в системе цилиндрических координат выражения потенциала $\varphi_{от}$ для одного электрода исходной емкости в зависимости от геометрических параметров преобразователя (рис.2):

$$\varphi_{от} = \int d\varphi = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{x} = \frac{\sigma r}{8\epsilon_0} \ln \left| \frac{h + \sqrt{h^2 + r^2}}{r} \right|,$$

$$C = \frac{\sigma\pi RH}{2} \frac{8\varepsilon_0}{\sigma R \ln \left| \frac{H + \sqrt{H^2 + R^2}}{R} \right|} = \frac{4\pi\varepsilon_0 H}{\ln \left| \frac{H + \sqrt{H^2 + R^2}}{R} \right|} \quad (1)$$

Теперь найдем формулу для расчета емкости емкостного преобразователя в виде усеченного конуса. Количество заряда, равномерно распределенного на поверхностях всех электродов емкостного преобразователя определяется выражением в виде

$$q = \int \rho dV = \rho \int dV,$$

где ρ – объемная плотность заряда; V – объем электродов.

В системе цилиндрических координат производим расчет объема V для одного электрода емкостного преобразователя влажности зерна (рис.3).

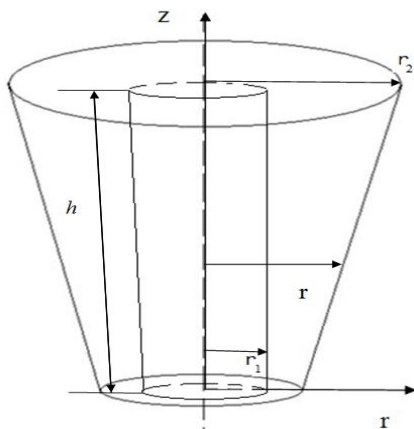


Рис.3. Расчет емкости одного электрода преобразователя влажности в виде усеченного конуса

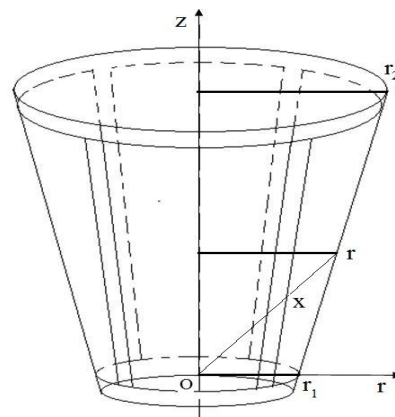


Рис. 4. Расчет потенциала одного электрода преобразователя влажности в виде усеченного конуса

Сначала вычисляем объем усеченного конуса в зависимости радиусов основания r_1 , r_2 и высоты h по формуле

$$V_{uk} = \frac{\pi h}{3} (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2).$$

Теперь определяем объем полого цилиндра с радиусом r и высотой h по следующей формуле и результат вычисления разделим на 4, так как объем одного электрода содержит одна четвертая часть полного объема емкостного преобразователя и имеем:

$$V_{ot} = \frac{\pi h}{12} (r_2^2 + r_1 r_2 + r_1^2).$$

Очень важное значение имеет определение потенциала электродов емкостного цилиндрического преобразователя, так как потенциал непосредственно влияет на величину распределения напряженности электрического поля, причем потенциал электрического поля является энергетической характеристикой поля. Расчет потенциала электродов осуществляется в системе цилиндрических координат.

Вычисляем потенциал электродов емкостного цилиндрического преобразователя и получаем математическое выражение для одного

электрода преобразователя, которое имеет вид:

$$\varphi = \int d\varphi = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dQ}{x} = \frac{\rho}{8\epsilon_0} \int_0^h dz \int_{r_1}^r \frac{rdr}{\sqrt{z^2 + r^2}}.$$

Тогда выражение для расчета исходной емкости цилиндрического преобразователя принимает следующий вид:

$$C = \frac{\frac{\pi h}{12}(r_2^2 + r_1 r_2 - 2r_1^2)}{\frac{I_1 + I_2}{8\pi\epsilon_0}} = \frac{2\pi^2 \epsilon_0 h (r_2^2 + r_1 r_2 - 2r_1^2)}{3(I_1 + I_2)}. \quad (2)$$

Таким образом, из выражения 1 и 2 видно, что исходная емкость емкостного измерительного преобразователя зависит только от геометрических размеров, причем эти параметры должны быть рассчитаны с высокой точностью, что обеспечивает увеличение коэффициента преобразования емкостного цилиндрического преобразователя.

Рассмотрим вопросы разработки математической модели процесса, протекающий в цилиндрическом емкостном преобразователе при измерении влажности зерна и зерновых продуктов. При расположении зерна между электродами емкостного преобразователя меняется емкость преобразователя, что приводит к перераспределению потока напряженности электрического поля, причем эти процессы происходят случайным образом и сопровождаются переходом из одного состояния на другое с формированием выходного сигнала преобразователя.

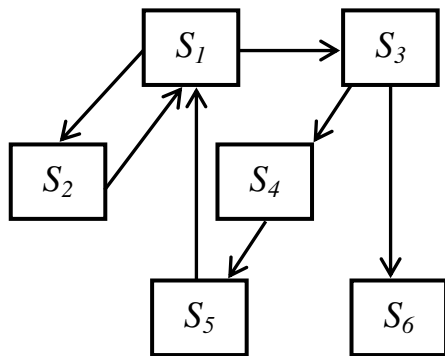


Рис. 5. Графовая модель системы со сложными переходными состояниями

Рассмотрим случайную систему S , которая имеет дискретные состояния S_1, S_2, \dots, S_i и характеризует случайные состояния системы как случайные величины или качество вероятностных переходов между состояниями. На рис.5. представлена система, которая имеет сложные графовые переходы системы S и может переходить из состояния S_i к состоянию S_j прямо или через другие состояния.

Здесь переход системы из одного состояния на другое рассматривается как графовый переход системы. В преобразователе с емкостными цилиндрическими электродами для измерения влажности зерна преобразование входной величины рассматривается как графовый переход исходной величины емкости преобразователя преобразованием, результатом которого является изменение влажности зерна. При этом графовый переход сопровождается с изменением и перераспределением потока напряженности электрического поля на поверхности исследуемого материала. Изменение изложенных выше параметров распределения приводит к изменению тока

$J_i(x)$ и напряжения $U_i(x)$ на выходе емкостного преобразователя, причем эти изменения сопровождаются в цепи преобразования преобразователя под действием емкости $C_i(x)$, реактивной проводимости $G_i(x)$ и сопротивлений $R_i(x)$. В цепи преобразования входной величины емкостного цилиндрического преобразователя все графовые переходы взаимосвязанные, так как изменение одного состояния в измерительном тракте преобразователя приводит к изменению остальных и на выходе формируется измерительный сигнал в виде тока или напряжения.

Таким образом, с использованием разработанной графовой модели успешно можно реализовать статические и динамические характеристики емкостных преобразователей влажности.

Исходя из этого, рассмотрим обобщенную структурную схему преобразователя влажности на основе емкостного цилиндрического преобразователя (рис.6).

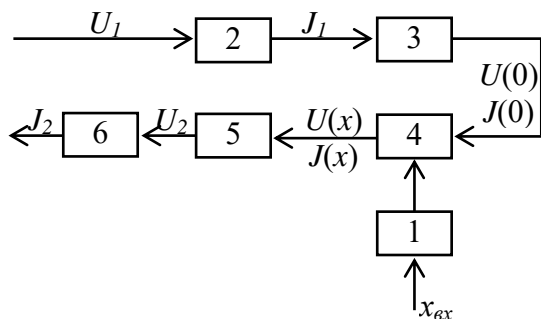


Рис.6. Обобщенная структурная схема на основе емкостного цилиндрического преобразователя

Видно из структурной схемы, что входная величина $x_{вх}$ воздействует на следующие элементы непосредственно или через приемник электрического потока: 2 - источник питания для возбуждения физического поля; 3 - канал распределения физического поля; 4 - приемник физического поля, 5 и 6 - преобразующие элементы выходного сигнала.

Изменение потока напряженности электрического поля вокруг электродов емкостного цилиндрического преобразователя в общем случае объясняется распределением физического поля на поверхности влажного исследуемого материала, что характеризуется графовым переходом входной величины в цепи преобразования. Следовательно, отметим, что прием распределенного физического поля приемником обеспечивает формирование выходного сигнала в виде тока J_1 или напряжения U_1 , причем, при этом появляется возможность вторичного преобразования сигнала, применение фильтрных элементов в измерительном тракте и реализации передачи сигнала на дальние расстояния.

На рис.7. представлена графовая модель преобразователя влажности на основе цилиндрических электродов. Видно из графовой модели, что ток J_1 , который формировался в цепи возбуждения электрического потока отображается в виде коэффициента $k(J_{1i}, U_i)$ между цепями преобразования. При изменении электрического потока, то есть физического поля взаимосвязь между функциями $J_i(x)$ и $U_i(0)$ отображается межцепной схемной функцией β_i и параметром v_i , следовательно, в цепи измерения, то есть в канале приема физического поля параметры $J_i(x)$ и $U_i(x)$ сначала на U_2 и затем J_2 .

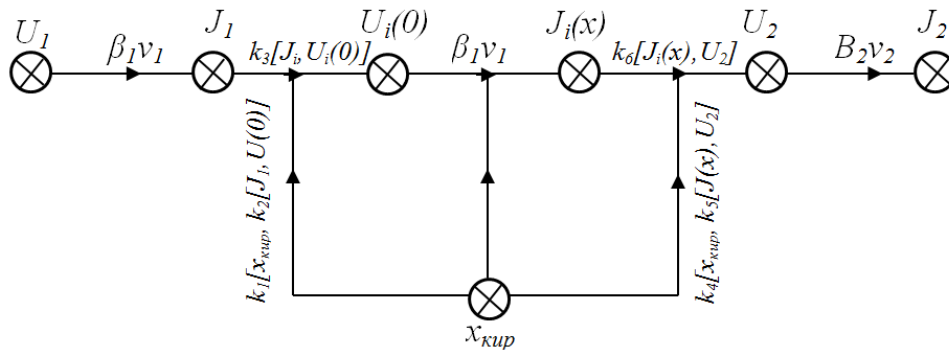


Рис. 7. Графовая модель преобразователя влажности на основе цилиндрических электродов.

При взаимодействии входной величины x_{ex} цилиндрического емкостного преобразователя влажности на цепь преобразования $J_i(x) \rightarrow U_2$ обобщенная статическая характеристика преобразователя определяется в виде:

$$U_2 = U_1 \beta_1 v_1 k_1(J_1, J_i(0)) \cdot (\beta_1 v_1) k_2\{x_{куп}, k_3[J_i(x), U_2]\} x_{куп}, \quad (3)$$

где β_1 – межцепная схемная функция; v_1 – параметр переходного процесса; x_{ex} – влажность измеряемой среды; k_1 – коэффициент связи, учитывающий воздействие x_{ex} на геометрические параметры цилиндрического емкостного преобразователя влажности; k_2 – коэффициент связи между преобразователем и контролируемым объектом; k_3 – коэффициент внутрицепного преобразования x_{ex} ; U_1 – входное напряжение.

Перепишем уравнение (3) и получим статическую характеристику именно для емкостного цилиндрического преобразователя влажности в следующем виде:

$$U_2 = U_1 \beta_1 v_1 k_1(J_1, J_c(0)) \cdot (\beta_1 v_1) k_2\{x_{куп}, k_3[J_c(x), U_2]\} x_{куп}. \quad (4)$$

Из изложенного выше видно, что в графовой модели каждый графовый переход отображает конкретный физический эффект, а также изменение входной величины внутрицепном преобразовании.

Результаты разработанной графовой модели показывают, что каждый графовый переход сопровождается изменением физического поля в цепи преобразования, что приводит к изменению влажности материала, который находится между электродами преобразователя. Следовательно, что распределение активного и реактивного сопротивления, результатом которого является перераспределение комплексного сопротивления влажного материала и конечном итоге приводит к перераспределению диэлектрической проницаемости зернового продукта и появлению измерительного сигнала на выходе преобразователя. С этой точки зрения, взаимодействие воды с сухим веществом очень сложно и при этом влага на различных точках материала распределяется по разному, что с этой позиции изменение емкости цилиндрического преобразователя является функцией многих аргументов зерновых продуктов, т.е.

$$C = f[\omega(\varepsilon, \rho)],$$

где ε и ρ – диэлектрическая проницаемость и плотность зернового продукта.

Для определения результирующей диэлектрической проницаемости

зернового продукта используем следующее выражение:

$$\lg \varepsilon_c = \sum_{i=1}^n \mu_i \ln \varepsilon_i, \quad (5)$$

где μ_i и ε_i – соответственно, объемная концентрация и диэлектрическая проницаемость i -го компонента.

Зерновой продукт может быть рассмотрен как смесь зерна, воды и воздуха, тогда уравнение (5) принимает следующий вид:

$$\lg \varepsilon_c = \mu_1 \ln \varepsilon_1 + \mu_2 \ln \varepsilon_2 + \mu_3 \ln \varepsilon_3. \quad (6)$$

Так как диэлектрическая проницаемость воздуха $\varepsilon_2 = 1$ и уравнение (6) перепишем в виде

$$\lg \varepsilon_c = \mu_1 \ln \varepsilon_1 + \mu_2 \ln \varepsilon_2,$$

где μ_1 , μ_2 и ε_1 , ε_2 – объемные доли и диэлектрической проницаемости зерна и воды.

После нескольких математических преобразований получаем функцию $C = f(\varepsilon, w)$, которая играет большую роль для определения статической характеристики емкостного цилиндрического преобразователя влажности зерновых продуктов, в виде

$$\ln \left(1 + \frac{C_1}{C_0} \right) = \frac{\omega \ln \varepsilon}{1 + \omega}.$$

На основании изложенных выше выражений статическая функция преобразователя $C = f(\varepsilon, w)$ принимает следующий вид:

$$C_1 = \frac{4\pi\varepsilon \cdot h}{\ln \left[\frac{h + \sqrt{h^2 + r^2}}{r} \right]} \left(e^{\frac{\omega \ln \varepsilon}{1 + \omega}} - 1 \right).$$

С учетом уравнения (4), определенное на основе разработанной графовой модели, цилиндрического емкостного преобразователя влажности статическую характеристику преобразователя напишем в виде:

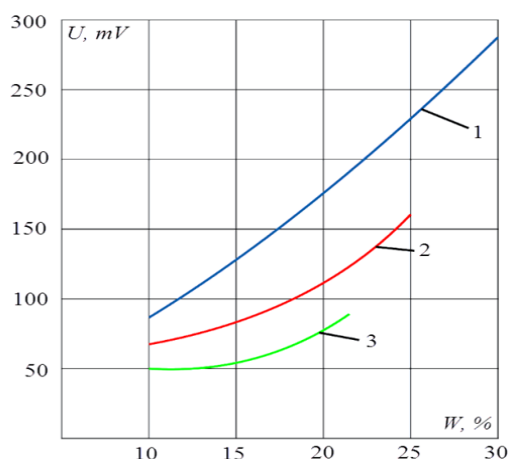
$$U_2 = U_1 \frac{4\pi\varepsilon_0 \cdot h}{R \cdot \ln \left[\frac{h + \sqrt{h^2 + r^2}}{r} \right]} \left(e^{\frac{\omega \ln \varepsilon}{1 + \omega}} - 1 \right),$$

при этом коэффициенты межцепных графовых переходов определяются в виде

$$\beta_1 v_1 = \frac{4\pi\varepsilon}{R}; \quad k_1 [J_1, J_c(0)] \cdot (\beta_i v_i) = \frac{h}{\ln \left[\frac{h + \sqrt{h^2 + r^2}}{r} \right]}; \quad k_2 \{x_{куп} \cdot k_3 [J_c(x), U_2]\} \cdot x_{куп} = e^{\frac{\omega \ln \varepsilon}{1 + \omega}} - 1.$$

Таким образом, рассмотрение входной величины под воздействием физического поля с точки зрения физических процессов свидетельствует о том, что полученные статические характеристики с применением графовой модели очень хорошо раскрывают преобразование входной величины на выходной сигнал преобразователя влажности зерна и зерновых продуктов.

На рис. 8 представлены статические характеристики преобразователя влажности на основе цилиндрических электродов. Как видно из рис.8, первая статическая характеристика показывает высокие метрологические показатели по сравнению с 2 и 3, так как характеристика получена при частоте $f=1\text{ MHz}$ измерительного генератора. При частотах $f = 0,5\text{ MHz}$ и $f = 0,1\text{ MHz}$ наблюдаются отклонения характеристик от действительного значения, уменьшается чувствительность и линейность характеристики, причем по 3 характеристике чувствительность преобразователя два раза уменьшается по сравнению с первой. Ценность проведенного экспериментального исследования еще заключается в том, что установлена эффективная рабочая частота ($f=1\text{ MHz}$) измерительного преобразователя.



1- $f=1\text{ MHz}$; 2- $f=0,5\text{ MHz}$;
3- $f=0,1\text{ MHz}$;

Рис.8. Статические характеристики преобразователя влажности на основе цилиндрических электродов

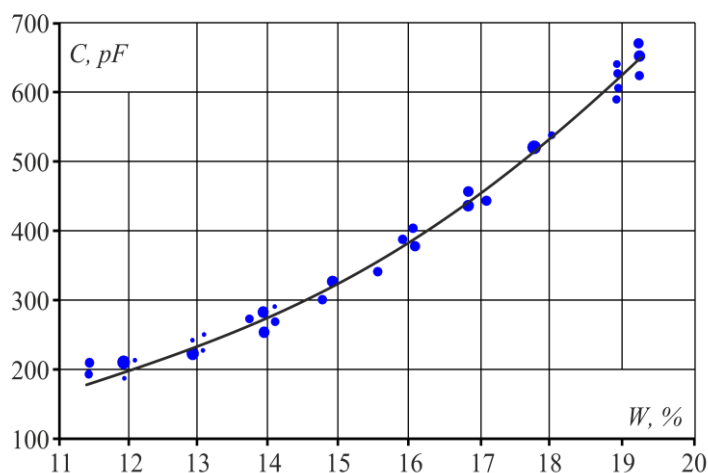


Рис.9. Изменение емкости цилиндрического преобразователя в зависимости от влажности зернового продукта

Из рис.9 видно, что с увеличением влажности зернового продукта возрастает электрическая емкость цилиндрического емкостного преобразователя, но в диапазоне влажности $14 \div 17\%$ наблюдается отклонение статической характеристики от действительного значения, что объясняется влиянием дестабилизирующих факторов, которые формировались при преобразовании входной величины.

Четвертая глава диссертации «**Анализ основных погрешностей емкостных цилиндрических преобразователей влажности зерна и зерновых продуктов**» посвящена результатам анализа погрешностей цилиндрического емкостного преобразователя влажности.

При разработке принципов построения емкостных преобразователей влажности на основе емкостных электродных систем важным этапом является определение погрешностей измерения, выявление и исследование основных источников, а также влияние дестабилизирующих факторов на точность измерения, которые формировались в процессе преобразования входной величины.

С этой точки зрения рассмотрим характерные погрешности измерений емкостного преобразователя влажности, разработанный на основе цилиндрических электродов.

Разработана классификационная схема источников погрешностей емкостного цилиндрического преобразователя влажности на основе изучения конструкции и его основных элементов, анализа результатов измерений и основных элементов измерительного тракта (рис.10).

Источники основной погрешности емкостного цилиндрического преобразователя влажности можно разделить на 2 группы: основные и дополнительные. Источники дополнительной погрешности разделены на внутренние и внешние.

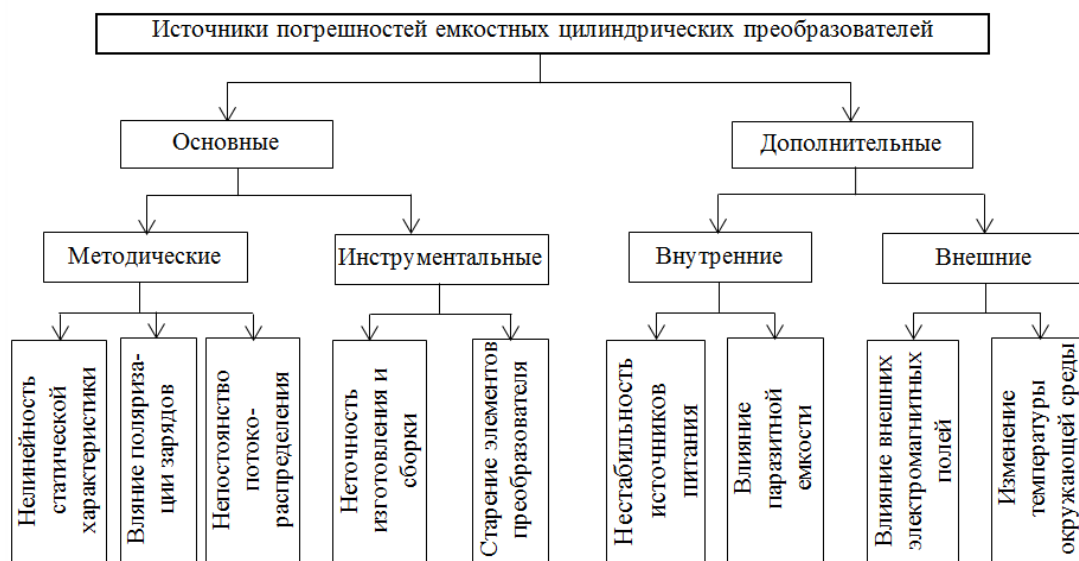


Рис.10. Классификационная схема источников погрешностей емкостного цилиндрического преобразователя

Если обратить внимание на то, что любое измерение и измерительный процесс является случайным процессом, тогда, следовательно, формирования источников погрешностей объясняются на основе теории случайных процессов с использованием графовых переходов, которые характеризуют преобразования входной величины в измерительном тракте емкостного преобразователя.

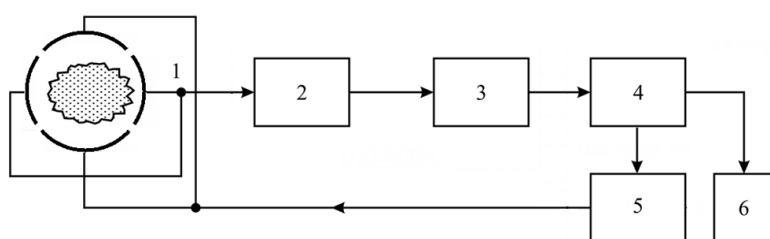
Погрешности измерения емкостного цилиндрического преобразователя влажности и влияние внешних и внутренних дестабилизирующих факторов может быть оценены на основе разработанной графовой модели. Закон распределения энтропийной погрешности емкостного цилиндрического преобразователя зависит от конструктивных элементов изменения электрического потока в цепи входной величины. Средняя квадратическая погрешность преобразователя влажности определяется в виде суммы погрешностей составляющих элементов, то есть

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2},$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_n$ – погрешности элементов преобразователя.

Разработано микропроцессорное измерительное устройство на основе емкостного цилиндрического преобразователя влажности сыпучих материалов с высокой точностью и надежностью, причем оно снабжено корректирующими элементами и схемами для компенсации изменения температуры среды и внешних и внутренних дестабилизирующих факторов.

На рис.11 представлена структурная схема измерительной системы микропроцессорного измерительного устройства на основе емкостного цилиндрического преобразователя влажности сыпучих материалов. При расположении исследуемого материала между электродами емкостного преобразователя меняется емкость преобразователя, следовательно, на выходе измерительного генератора 5 формируется переменный сигнал, который соответствует изменению влажности материала.



Основные элементы структурной схемы:
 1- емкостной цилиндрический преобразователь; 2-детектор; 3-операционный усилитель; 4-микроконтроллер; 5-измерительный генератор; 6-жидкокристаллический индикатор.

Рис. 11. Структурная схема измерительной системы микропроцессорного измерительного устройства на основе емкостного цилиндрического преобразователя влажности сыпучих материалов.

После детектирования сигнала детектором 2 до максимального значения он поступает к входу операционного усилителя 3, где сигнал усиливается и передается к микроконтроллеру 4. Кодированный сигнал аналого-цифрового преобразователя обрабатывается в микропроцессоре, причем микропроцессор и аналого-цифровой преобразователь являются составными элементами микроконтроллера типа AT mega 8A, функционирующий с программным обеспечением. Цифровой сигнал высвечивается на экране жидкокристаллического индикатора 6 в виде измеренного значения влажности. На рис.12 показан внешний вид измерителя влажности зерна и зерновых продуктов.



Рис.12. Прибор для измерения влажности зерна и зернопродуктов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализированы методы и средства измерений влажности твердых и сыпучих материалов и определены их преимущества, недостатки и применение в различных отраслях.

2. Анализированы различные конструкции и методы современных приборов на основе емкостных элементов для измерения влажности и на их основе доказано, что при измерении влажности перспективным является высокочастотный метод и емкостные преобразователи, разработанные с применением емкостных электродов.

3. Разработана графовая модель преобразователя влажности зерна и зерновых продуктов с применением цилиндрических электродов и реализована статическая характеристика преобразователя.

4. По критерию дифференциальной чувствительности емкостного цилиндрического преобразователя влажности зерна и зерновых продуктов определено комплексное сопротивление материала в зависимости активного и реактивного сопротивления изоляции прокладки, получены математические уравнения для дифференциальной чувствительности и на их основе функциональные характеристики R_m (C_m) и S_m (R_m), а также установлена, что максимальная чувствительность наблюдается при $R_m = 0,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}$ и надежность преобразователя составляет 0,95.

5. Получены математические уравнения зависимости погрешности измерений и количественных влажностных характеристик и доказано, что распределение удельной проводимости и сопротивление по длине материала зависят от математического ожидания и дисперсии измерительных данных.

6. Разработаны структурные элементы и схемы коррекции для оценки погрешностей в цепи преобразования входной величины преобразователя влажности.

7. Разработано микропроцессорное измерительное устройство на основе емкостного цилиндрического преобразователя для контроля влажности сыпучих материалов с высокой точностью и надежностью. Прибор для измерения влажности на основе емкостных цилиндрических электродов внедрен в АО «Ташкентдонмахсулотлари» и АО «G'alla-alteg» при АК «Уздонмахсулот». Годовая экономическая эффективность составляет 195,965 млн. сум.

**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

JABBOROV KHAMDAM SHAYMARDONOVICH

**MOISTURE METER FOR GRAIN AND GRAIN PRODUCTS BASED ON A
CAPACITIVE CYLINDRICAL TRANSDUCER**

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

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

Tashkent – 2020

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.4.PhD/T518.

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) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: Ismatullayev Patxulla Raxmatovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: Axmedov Barat Maxmudovich
doctor of technical sciences, professor

Uljaev Erkin
doctor of technical sciences, professor

Leading organization: Tashkent chemical-technological institute

Defense of dissertation will take place in «15» 10 2020 at 12⁰⁰ 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).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 161). Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-03-41.

Abstract of dissertation sent out on «8» 10 2020 year.
(mailing report № 19, on «19» 08 2020 year).



N.R. Yusupbekov
Chairman of Scientific council
for awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, Professor, Academician

U.F. Mamirov
Scientific secretary of Scientific Council
for awarding scientific degrees,
Doctor of philosophy in Technical Sciences

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

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work. The aim of the study is to develop a microprocessor device and block diagrams for the analysis of errors based on a cylindrical capacitive transducer with high accuracy and reliability for measuring the moisture content of grain and grain products.

The object of the research is capacitive cylindrical measuring transducers for monitoring the moisture content of grain and grain products with linear, static characteristics, high reliability and accuracy, as well as an intelligent measuring device based on them.

Scientific novelty of the research is as follows:

developed new capacitive transducers of various designs for measuring the moisture content of grain and grain products and formulas for calculating their capacity;

a mathematical model and principles for constructing a moisture converter of grain and grain product with a cylindrical electrode are developed;

structural schemes have been developed that make it possible to classify the sources of errors of the capacitive cylindrical transducer of grains and grain products and evaluate their effect;

methodologies for parametric design have been developed according to the criteria of sensitivity, accuracy, reliability and linearity of the static characteristic of capacitive cylindrical measuring transducers;

an intelligent microprocessor-based measuring device based on a capacitive cylindrical transducer with improved metrological characteristics in comparison with existing analogues has been developed.

Implementation of the research results. Based on the results obtained on the development of a microprocessor measuring device based on a cylindrical capacitive transducer for measuring the moisture content of grain and grain products, the following were introduced:

a mathematical model and principles of constructing a moisture converter for grain and grain products with a cylindrical electrode were developed and it was possible to quickly obtain information on grain moisture and tested at JSC "GALLA-ALTEG" (Reference of the JSC "UZDONMAHSULOT" №8-11/74-1080 of July 13, 2020). As a result, it allows to exclude from the currently used work and costs: preparing grain samples for analysis, drying samples in drying ovens, weighing samples before and after drying, the use of indirect methods of measurement and the use of a special room;

an intelligent microprocessor-based measuring device was introduced at JSC "GALLA-ALTEG" to determine the moisture content of wheat products at grain storage and processing enterprises (Reference of the JSC "UZDONMAHSULOT" №8-11/74-1080 of July 13, 2020). As a result of the implementation of the development leads to the creation of a stable storage condition for grain products, which ensured the preservation of quality and the elimination of loss of grain products.

The structure and volume of the dissertation. The thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion and a bibliography, including 137 titles. The work is presented on 110 pages of typewritten text, including 48 illustrations and 7 tables.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Исматуллаев П.Р., Рахмонов А.Т., Жабборов Х.Ш. Высокочастотный метод и устройство для измерения влажности твердых и сыпучих материалов // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». –Ташкент. 2012. №1. С. 32-35 (05.00.00 № 12).

2. Матякубова П.М., Исматуллаев П.Р., Жабборов Х.Ш. Дон ишлаб чиқариш корхоналарида сақлаш ва қайта ишлаш янги технологияларини ишлаб чиқиш // “ТошДТУ хабарлари”. – Тошкент. 2017. №4 (05.00.00 № 16).

3. Жабборов Х.Ш., Бобоев Г.Г., Насимхонов Л.Н. Проектирование емкостных цилиндрических преобразователей влажности сыпучих материалов по критерию чувствительности и надежности элементов // Журнал "Приборы" Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов. – Россия, 2017. № 5. – С. 8-13 (05.00.00 №63).

4. Қодирова Ш.А., Жабборов Х.Ш. Кичик квадратлар усулида ўлчаш натижаларини қайта ишлаш // “ТошДТУ хабарлари”. – Тошкент. 2018. №4. 22-28 б (05.00.00 № 16).

5. Кодирова Ш.А., Жабборов Х.Ш. Точечные оценки параметров распределения случайных величин // Журнал "Приборы" Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов. – Россия. 2018. №11, С. 52-55 (05.00.00 №63).

6. Қодирова Ш.А., Жабборов Х.Ш. Оценка доверительного интервала и доверительной границы погрешности измерений // Журнал "Приборы" Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов. – Россия. 2019. №3. С. 44-47 (05.00.00 №63).

7. Исматуллаев П.Р., Носиров Т.З., Жабборов Х.Ш. Расчет емкости конусного преобразователя влагомера зерна и зернопродуктов // Журнал "Приборы" Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов. – Россия. 2019. №4. С. 11-16 (05.00.00 №63).

8. Ismatullaev P.R., Zhabborov H.Sh. Development of an effective capacitive grain humidity converter // Chemical technology. Control and management. –Tashkent. 2019. №4-5. pp.79-84 (05.00.00 № 12).

9. Nasirov T.Z., Ismatullayev P.R., Jabborov X.Sh. Expression for Capacity of the Cone Type Converter of the Grain and Grain Products Sensor // International Journal of Sensors and Sensor Networks, Published: USA January 31, 2019. 2019; 6(3): 38-42. (40, ResearchGate)

И бўлим (Часть II; Part II)

10. Исматуллаев П.Р., Рахмонов А.Т., Жабборов Х.Ш. Емкостной преобразователь для измерения влажности сыпучих материалов // Метрологический научно-технический журнал «Мир измерений». – Москва. 2013. №1. С. 21-24.

11. Ismatullayev P.R., Nasirov T.Z., Jabborov X.Sh., Eraliyeva Yu.M. Displacements schemes for obtaining the frequency dependence on the cottonseeds moisture. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-9 Issue-5, June 2020, pp 323-327 (Hindiston).

12. Ismatullayev P.R., Rakhmanov A.T., Jabborov X.Sh. Development of capacitive transformer of humidity for automation process of hard and friable materials drying. // Proceeding of Seventh World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation “WCIS–2012”, Volume № 2, November 25–27, Tashkent, 2012, pp. 18-20.

13. Ismatullayev P.R., Jabborov X.Sh. Measuring instrument of humidity of loose materials // Proceeding of Eighth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation “WCIS – 2014”. Volume № 2, November 25-27, Tashkent, 2014. – pp. 301-304.

14. Исматуллаев П.Р., Жабборов Х.Ш. Проблемы измерения влажности зерна и зернопродуктов (сырья, полуфабриката, готовой продукции) // Республиканская научно-техническая конференция «Инновационные технологии обеспечивающие качество и безопасность пищевых продуктов» 23 марта, 2017 года, Ташкент. – С. 116-117.

15. Ismatullayev P.R., Nasirov T.Z., Jabborov X.Sh. Expression for capacity of the cylindrical converter of the grain and grain products sensor // Tenth world conference on intelligent systems for industrial automation. –Tashkent, Uzbekistan WCIS–2018. October 25-26, pp. 388-390.

16. Ismatullayev P.R., Matyakubova P.M., Jabborov X.Sh. Basic designs of capacitor cylindrical converters of moisture // Space engineering, technologies & exploration Anthology of scientific research papers, Germaniya 2018. pp. 231-238.

17. Жабборов Х.Ш. Емкостной преобразователь для измерения влажности сыпучих материалов // Республиканская научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологии» сборник научных трудов. 2019 г. 5-6 апрель, С. 334-335.

18. Жабборов Х.Ш., Исматуллаев П.Р., Носиров Т.З., Рахматов Д. Дон ва дон маҳсулотлари намлигини ўлчаш натижаларини қайта ишлаш ЭҲМ учун яратилган дастурга гувоҳнома DGU 07730, 15.01.2020 й.

Автореферат “Technical science and innovation” илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими 60x84¹/₁₆. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3,5. Адади 20 нусха. Буюртма № ____.

Гувоҳнома № 10-3719

“Тошкент кимё технология институти” босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кучаси, 32-уй.