

**NAZARIY ELEKTROTEXNIKANI MUAMMOLI O`QITISHDA
RAQAMLI SIMULYATSIYA USULI ORQALI TUSHINTIRISH
METODIKASI**

Sirojiddin Zaynobiddinov

akademik, Andijon davlat universiteti

To`lqinov Muhammad Ali Erkinjon Og`li

Namangan muhandislik-texnologiya instituti o`qituvchisi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6517904>

***Annotatsiya.** Nazariy elektrotexnika asoslari qonunlariga ko'ra, raqamli simulyatsiya usuli asosida muammoli o`qitishda dars jarayonini samarali tashkil etish mashg`uloti bo`libgina qolmay balki talabalarni ishlab chiqarish bilan bog`liq tasavvurlarini ham shakllantirishga yordam beradi. Bu usul yordamida tushuntirish ishlari elektrotexnikaga oid tushunchalar va qonuniyatlar asosida olib boriladi. Elektrotexnik qurilmalarni va shu qonuniyatga asoslangan elementlarni hamda ularda bo`ladigan jarayonlarni o`rganiladi.*

***Kalit so`zlar:** elektrotexnika, raqamli simulyatsiya, kabellar, eksperiment, aksessuar, assortiment, kaskad, elektr xususiyatlari, multifizik simulyatsiya, elektr toki, maydon.*

**МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСЦИПЛИН В ПРОБЛЕМАХ
ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

***Аннотация.** По законам основ теоретической электротехники проблемное обучение на основе метода цифрового моделирования является не только уроком эффективной организации учебного процесса, но и способствует формированию у учащихся представлений о производстве. Объяснительная работа по этому методу основывается на понятиях и законах электротехники. Изучаются электротехнические устройства и элементы, основанные на этом законе, и процессы, протекающие в них.*

Ключевые слова: *Электротехника, цифровое моделирование, кабели, эксперимент, аксессуар, диапазон, каскад, электрические свойства, мультифизическое моделирование, электрический ток, поле.*

METHODOLOGY OF DISCIPLINE SIMULATION IN THE PROBLEM TEACHING OF THEORETICAL ELECTRICAL ENGINEERING

Abstract. *According to the laws of the basics of theoretical electrical engineering, problem-based learning based on the method of digital simulation is not only a lesson on the effective organization of the teaching process, but also helps to form students' perceptions of production. Explanatory work using this method is based on the concepts and laws of electrical engineering. Electrotechnical devices and elements based on this law and the processes that take place in them are studied.*

Keywords: *electrical engineering, digital simulation, cables, experiment, accessory, range, cascade, electrical properties, multiphysics simulation, electric current, field.*

Elektrotexnika muammolarini yechishda raqamli simulyatsiyasining asosiy maqsadi loyihalashtirilgan qurilmaning virtual kompyuter modelini yaratishdir. Bu model tegishli savollarni berish orqali va oqilona javob olish mumkin bo'lgan holati xisoblanadi. Boshqacha qilib aytganda, maqsad haqiqiy o'rniga tabiiy tajribalar va sinovlarni taxlil qilish xisoblanadi. Qurilma turli omillarga ta'sir qiladi va uning matematik modelini yuklaydi. Shubhasiz, biz faqat multifizik model orqali bu maqsadga erisha olishimiz mumkin.

Ko'pincha elektrotexnikada elektr va magnit maydonni hisoblash muammolari ko'p fizik xususiyatga ega. Bu shuni anglatadiki, texnik tizimning holatini tavsiflovchi va fizikaning turli sohalari bilan bog'liq bo'lgan qisman differentsial tenglamalar o'zaro bog'liq bo'lib chiqadi va ular birgalikda yechimni talab qiladi.

Elektr mashinalari, transformatorlar, kabel liniyalari va boshqalar kabi elektr mahsulotlari, standart dizayn amaliyoti uchun ulardagi kehadigan elektr magnit jarayonlarni to'g'ri taxlil qilishga biz taklif qilgan simulyatsiya usuli muhim ahamiyat kasb etadi. Bular o'z navbatida elektromagnit, issiqlik, ventilyatsiya va mexanik hisob-kitoblarni o'z ichiga oladi, ya'ni ular ko'p fizik hamda elektrotexnik xususiyatlar hisoblanadi. Loyihaviy hisob-kitoblar bosqichida, asosiy o'lchamlar va yuklar tanlanganda, bu hisob-kitoblar iterativ tarzda amalga oshiriladi.[1-2] Masalan, issiqlik quvvati manbalari ko'rinishidagi elektromagnit hisoblash natijalari issiqlik hisobiga o'tkaziladi, bu yerda ventilyatsiyani hisoblash natijalari havo yoki suyuqlik oqimining tezligi shaklida ham olinadi, bu esa hisoblashda zarur bo'ladi. issiqlik uzatish koeffitsientlari. Aksincha, termal tahlil natijalari elektromagnit tahlilda o'tkazgichlarning qarshiligini hisoblash uchun ishlatiladi.

Elektromagnit kuchlar tomonidan harakatga keltiriladigan mexanik tizimlarni hisoblash masalalari multifizika muammolarining alohida turidir. Bular nafaqat elektr mashinalari, balki elektromagnit klapanlar, muftalar va qo'zg'atuvchi mexanizmlar (aktuatorlar), shuningdek, elektromagnit tezlashtirish tizimlari. Boshqa tomondan, mikroelektromexanik tizimlarni modellashtirishda bir nechta jismoniy ta'sirlar, shu jumladan mexanik, hisoblashning asosiy maqsadi ham hisoblanadi.

Elektrotexnik muammolarning o'rganilishiga sabab elektr mahsulotlari bozorida raqobatning keskin kuchayishi tufayli mahsulotlarning yuqori operatsion ishonchliligiga ega kam salbiy tasirli turlarini yaratish bo'lib kelmoqda. Bunga yangi mahsulotni sinchkovlik bilan tadqiq qilish, loyihalash va texnologik rivojlantirish va keng qamrovli ko'p bosqichli sinovlar orqali erishiladi. Boshqa tomondan, raqobat loyihalash vaqtini qisqartirish va mahsulotni sotib olish va ishlatish uchun iste'molchining umumiy xarajatlarini kamaytirish zarurligini taqozo etadi. Ushbu holat to'liq miqyosli sinov uchun vaqt va resurslarni cheklaydi va ko'pincha prototiplarni ishlab chiqarish va ular bilan to'liq miqyosli tajribalar o'tkazish orqali optimal parametrlarni topishni imkonsiz qiladi. Shu o'rinda

raqamli simulyatsiya usuli orqali elektron dastrular orqali elektrotexnik jarayonlarni taxlil qilish xisobiga optimal parametrli maxsulotlarni loyihalash va yaratish imkoniga erishish mumkin.

Zamonaviy elektrotexnika muammolarini o'rganish amaliyotidagi tendentsiyalardan biri to'liq miqyosli eksperimentni raqamli simulyatsiya bilan eng to'liq almashtirishdir, ayniqsa kontseptual ishlab chiqish va qidiruv dizayni bosqichida[3-4]. Ushbu tendentsiya tegishli savollarni berish orqali u yoki bu masalalarni yechishda muhim ro'l o'ynaydi. Masalan, Maksvell tenglamalari tizimining kichik to'plami yoki issiqlik tenglamasi yoki elastik kuchlanishli holat tenglamasi yarim asrdan ko'proq vaqt davomida muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda. Biroq, elektrotexnika muammolarini o'rganishda kabellarda keng assortimentda elektr mahsulotlarining o'ziga xos xususiyatlarini deyarli ko'rib chiqilmagan.

Xozirgi kunda raqobat loyihalash vaqtini qisqartirish va mahsulotni sotib olish va ishlatish uchun iste'molchining umumiy xarajatlarini kamaytirish zarurligini taqozo etadi. Ushbu holat to'liq miqyosli sinov uchun vaqt va resurslarni cheklaydi va ko'pincha prototiplarni ishlab chiqarish va ular bilan to'liq miqyosli tajribalar o'tkazish orqali optimal parametrlarni topish imkonsiz bo'lib biz bularni oldini olisda quyidagi metod va usullarni taklif etdik.

- Zamonaviy kompyuter yordamida loyihalash, jumladan kontseptual hisoblash dizayni, keng qamrovli batafsil dizayn va texnologik muhandislik texnologiyasida samarali foydalanish.
- Yangi materiallarni izlash, ishlab chiqish, tadqiq qilish va qo'llashda ularni mahaliy dizaynlar asosida yaratish va multifizik simulatsiya usullarida tadbiiq etish.

Bu ikkala vazifa ham kompyuter injiniringidan (CAE) faol foydalanishni talab qiladi, uning asosiy xususiyati, elektrotexnika uchun qo'llanilib, multifizik soha masalalarini sonli usullar bilan yechishdir. Vazifa - to'liq miqyosli eksperimentni iloji boricha to'liq raqamli simulyatsiya bilan almashtirish, ayniqsa kontseptual rivojlanish bosqichida va qidiruv dizayni. Ushbu maqsadga erishish

uchun tegishli savollarni berish va ularga samarali javoblarni olish mumkin bo'lgan samarali raqamli modellarni ishlab chiqish kerak.[5-6]

Kabel aksessuarlari, elektr mashinalari, transformatorlarda, fizikaning turli sohalari tenglamalari kiritilganda sezilarli darajada elektromagnit maydon oshadi. Bunga ko'plab misollar bilan holat tenglamalarini keltirib o'tish mumkin [7-8]. Bu jarayonlarni maydon o'zgarishlarini quyidagi formulalar orqali ko'rishimiz mumkin [6-7].

$$\vec{B} = \text{rot}\vec{A}, \quad \vec{E} = [\vec{v}\vec{B}] - \frac{\partial\vec{A}}{\partial t} - \text{grad}\varphi \quad \vec{j} = [\vec{j}\vec{B}]$$

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi I \quad \text{rot}\vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$$

Kabel texnikasida yoki boshqa elektr elementlarda issiqlik uzatishlardagi bog'liqlik quyidagicha bo'ladi. [7-8].

$$t^0 C = \frac{5}{9}(t^0 F - 32) \quad (1)$$

$$t^0 F = \frac{9}{5}t^0 C + 32 \quad (2)$$

- 1) Mutloq harorat – T^0 K (Kelvin shkalasi)
- 2) Empirik harorat – t^0 C (Selsiy shkalasi)

Bundan tashqari, ko'p hollarda nazariy elektrotexnika va elektodinamika tenglamalarini elektr zanjirining tenglamalari bilan birgalikda yechishda qo'yilgan masalani natijasi uchun o'ta muhim hisoblanadi. Bu jarayonlarni o'rganib chiqish maqsadga muvofiq, ba'zan esa zarurdir. Muhandislik amaliyotida bu muammoning o'lchamini kamaytirish va mazmunli natijalarga erishishni tezlashtirish imkonini beradi. Fizik hodisalarni tavsiflashning turli usullari, xususan, deterministik modelga yani mavzuni asboblarni tushinchasi bilan ifodalash, stokastik elementlarning kiritilishi ya'ni tasodifiy o'zgaruvchanlikni taqsimlash, ham amaliy qiziqish uyg'otadi [9].

Fizikaning turli sohalari tenglamalarini bir modelda birgalikda yechish tahlil qilish uchun qo'shimcha imkoniyatlar ochadi, qurilmalarni optimallashtirish mezonlarini aniqlaydi va mutaxassislar tayyorlash imkoniyatlarini kengaytiradi. biroq amalga oshirishda qo'shimcha texnik qiyinchiliklarga olib keladi. U turli

sohalardagi fizik jarayonlarni birgalikda tahlil qilishda yuzaga keladigan yoki boshqa tabiatdagi tenglamalar bilan tavsiflangan masalalarni nazariy ko'rib chiqishni, shuningdek, amaliy jihatdan muhim multifizika muammolarini bevosita hal qilishni o'z ichiga oladi. Tegishli muammolarni hal qilish uchun nafaqat har bir kichik muammoni hal qilish usulini ko'rsatish, qator qo'shimcha muammolarni ham hal qilish bilan ham bog'lanadi:

Fazoviy va vaqtinchalik sohadagi turli miqyoslar, individual muammolar o'rtasida ma'lumotlar almashinuvining ahamiyatsiz bo'lmagan mexanizmlari. muammolar, interfeys o'zgaruvchilarni hisoblash algoritmlari, ularning yordami bilan aloqa amalga oshiriladi. Har bir aniq holatda, vazifa pastki vazifalar o'rtasida kuchli (to'g'ridan-to'g'ri) bog'lanishni talab qiladimi yoki zaif (kaskad) ulanish mumkinmi ular ham ko'rib chiqiladi.

Kaskadli ulanishlardan foydalanganda bir tomonlama yoki ikki tomonlama aloqadan foydalanish imkoniyatini baholash kerak. Ikkinchi holda, hisoblash sxemasi itervativ bo'lib, algoritmning yaqinlashuvi va son barqarorligi masalasiga alohida e'tibor berishni talab qiladi. Elektrotexnikaning zanjirli va ko'p fizikaviy muammolarini shakllantirish va sonli yechish xususiyatlarini o'rganishda o'z navbatida mahalliy energetik mutaxassislar katta hissa qo'shadilar. Shu o'rinda ushbu mutaxassislarni tayyorlab yetkazish ham bu soha rivoji uchun muhim ahamiyat kasb etadi. [10-11].

Biz ko'rib o'tilgan ishda yuqoridagi fikrlarga asosan quyidagi takliflar berdik:

1. Mahalliy dasturiy mahsulot asosida Elektrotexnikaning raqamli modellashtirish yo'li bilan tenglashtirish nuqtai nazaridan yuqori voltli kabel bo'g'inlarining strukturaviy elementlarining optimal geometrik shakli va elektr xususiyatlarini topish usulini taklif qilish va amalga oshirish.

2. Multifizik simulyatsiya yordamida oraliq intervalgacha ish rejimida yuqori yuklangan payvandlash transformatorlarining elektromagnit, issiqlik va mexanik holatini tahlil qilish metodikasini ishlab chiqish. Uch o'lchovli masalani

ikki o'lchovlga qisqartirish yo'lini taklif qilish, natijada paydo bo'lgan xatolarni baholash va multifizik simulyatsiya natijalarini klassik hisoblash usuli bilan taqqoslash.

Bir vaqtning o'zida kuchlanish konusining geometrik shaklini o'zgartirish va dielektrik o'tkazuvchanligi va materiallarning elektr o'tkazuvchanligini optimal tanlash orqali o'zaro bog'langan polietilendan yasalgan kabellar uchun yuqori voltli muftada maydonni tekislash usullari o'rganildi. asosiy izolyatsion korpus va reflectorlardan foydalangan holda. [12-13].

$$U_{ab} = RI \quad \text{yoki} \quad I = \frac{U_{ab}}{R} = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R}$$

O'zgaruvchan elektr maydoni tenglamasidan foydalanish elektr o'tkazuvchanligining elektr maydonining taqsimlanishiga ta'sirini hisobga olishga imkon berdi. Belgilangan vazifalarni hal qilish uchun ulangan elektr zanjirining tenglamalari bilan birgalikda chekli elementlar usuli qo'llanildi. Belgilangan vazifalarni hal qilish uchun ulangan elektr zanjirining tenglamalari bilan birgalikda chekli elementlar usuli qo'llanildi. Dastur multifizika sohasi masalalarini yechish uchun dasturiy vosita sifatida tanlangan[14-15]. Elektrotexnika muammolarini yechishda chastota va vaqt sohalarida elektr va magnit maydonlarini, statsionar va statsionar bo'lmagan harorat maydonlarini, elastik kuchlanish va deformatsiya maydonlarini raqamli simulyatsiya qilish uchun asboblar to'plamiga ega bo'lish, elektromagnit maydon tenglamalarini ulangan elektr zanjiri tenglamalari bilan birgalikda hal qilish qobiliyati o'rgatildi. Elektrotexnika muammolarining multifizikaviy muammolarni hal qilishda muhim afzalligi bu murakkab senariylar uchun qadamlarni ishlab chiqish qobiliyatidir va ikki tomonlama vazifalararo aloqa vositalari orqali hal qilishdir.

Multifizikaviy muammolarni hal qilish, ayniqsa, dasturni ishlab chiquvchilar tomonidan to'liq ko'rib chiqilmagan jismoniy hodisalarning o'zaro bog'liqligi turlarini hisobga olgan holda, dastur vazifalar o'rtasida ma'lumotlar almashinuvi, interfeys o'zgaruvchilarini hisoblash uchun rivojlangan infratuzilmaga ega

bo'lishini talab qiladi. Shuningdek, bizga qadamlarni yozish mexanizmi kerak – ular muammoni hal qilish uchun avtomatik to'liq operatsiyalar siklini tashkil qiluvchi foydalanuvchi dasturlari xisoblanadi. Maqolada, bu kurs o'rtasidagi o'zaro ta'sir tajribasini tavsiflaydi-statsionar bo'lmagan magnit maydonning elementar modeli va katta elektr zanjirining simulyatori, ikkala komponentni tanlash masalasini batafsil ko'rib chiqadi va dasturlarning ichki mexanizmlariga erkin kirish talabi tayyor vositalardan foydalanishga imkon beradi degan xulosaga keladi.[16-17]

Ishida bajarilgan raqamli hisob-kitoblarning ishonchliligi quyidagi asoslar bilan tasdiqlanadi:

- Maydon masalalarini yechishda yaxshi o'rganilgan, har tomonlama matematik jihatdan asoslangan sonli usul – chekli elementlar usulidan foydalanish.
- Ko'p yillik muvaffaqiyatli amaliyot davomida yuzlab foydalanuvchilar tomonidan sinovdan o'tgan yuqori sifatli Elektrtexnika muammolari dasturiy vositasidan foydalanish.
- Elektrtexnika muammolarida chekli elementlar to'rini moslashuvchan takomillashtirish uchun o'rnatilgan asboblarning mavjudligi geometrik konvergentsiyaga erishishni tekshirish imkonini beradi.
- Elektromagnit maydonni to'g'ridan-to'g'ri raqamli hisoblashdan foydalanish va hisoblangan omik yo'qotishlarni maydonga o'tkazish imkoniyati va turli yer osti sharoitlariga ega bo'lgan uch fazali kabel liniyasi uchun harorat muammosini nazorat qilish imkoni mavjudligi.

Bu jarayonning o'ziga xos xususiyati mahkamlash elementlarining geometrik shaklini bir vaqtning o'zida optimallashtirishdir [18]. Konus va dielektrik materiallarning xossalari. Taklif etilgan yondashuv birinchi marta optimallashtirilgan parametrlar maydoniga nafaqat o'tkazuvchanlikni, balki uning elementlari - asosiy korpus va reflektorning elektr o'tkazuvchanligini ham kiritish imkonini berdi.

Matematik fizika masalalarini echish uchun kompyuterlardan foydalanishdan oldin ham, doimiy qisman differentsial tenglamani u yoki bu diskret analog bilan almashtirishdan foydalanadigan va bir qator raqamli usullar ishlab chiqilgan. Asosiy usullarning har biri chekli ayirma usuli, chekli elementlar usuli, chegaraviy elementlar usuli, integral tenglamalarni sonli yechishga asoslangan usullar va boshqalar. Ushbu usullarning aksariyati o'nlab yillar davomida sayqallanib yetilgan bo'lib va har birining o'ziga xos qo'llanilishi jarayoni mavjud.

Raqamli usullar oilasi orasida eng samaralisi va ko'p qo'llanilib kelinayotgani mavjud bo'lib, uning qo'llanilish doirasi boshqalarga qaraganda kengroq - bu chekli elementlar usuli (CHEU) xisoblanadi. CHEU asosiy o'rinni egallamaydigan bir qator borligiga qaramay (masalan, gidrodinamika muammolari yoki yuqori chastotali elektromagnit maydonlar), boshqa ko'plab sohalarda CHEU qo'llanilish soni bo'yicha birinchi raqamli usul hisoblanadi.[20] Chekli elementlar usuli quyidagi asosiy xususiyatlarni o'z ichiga oladi va ular quyidagilardir:

- Konservatizm, ya'ni diskretlashtirilgan tenglamalar sistemasida energiya, zaryad va boshqalarning saqlanish qonuniyatlariga rioya qilish.
- Differentsial tenglamalarning dastlabki tizimiga xosligi.
- Mutlaq barqarorlik: namuna olish bosqichi nolga moyil bo'lgan taqdirda, taxminiy yechimning o'ng tomonga doimiy bog'liqligi.
- Cheklangan elementlar usulining barqarorligi uning formulasidan kelib chiqadi va alohida isbotni talab qilmasligi.
- Dizayn imkoniyati-tuzilmagan to'rlarda (ulanishlarda) elementar yaqinlikgi qattiq va struktura mexanikasi uchun chekli hisoblanishligi.

Bu usulda muhitning chiziqli bo'lmagan xususiyatlarini tavsiflovchi tenglamalarni hisobga olishning nisbiy qulayligi muhim ahamiyat kasb etadi. Cheklangan elementlar usulining o'ziga xos xususiyati uning dasturiy ta'minotini amalga oshirishning nisbiy murakkabligidir. Aniqroq aytganda, murakkablik raqamli usulning o'ziga xos xususiyati emas, balki CHEU ni amalga oshiradigan

ichki korporativ, ochiq (ommaviy) va tijorat dasturiy mahsulotlarni rivojlantirishning zamonaviy yetuk bosqichining xususiyati bo`lib xisoblanadi. O`z navbatida bu usulda quyidagi tushuncha ham muhim rol o`ynaydi[5-6]. Obektiv fakt nisbatan yuqori "kirish narxi", ya'ni muammoni hal qilish uchun amalga oshirilishi kerak bo'lgan minimal algoritmlar to'plami. Ushbu algoritmlar va dasturiy ta'minot komponentlari quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- Hisoblash sohasining geometriyasini tavsiflash yoki geometrik modelni import qilish uchun geometrik muharrirlar.

- Dasturlash-tizimlarini.

- Jarayonning oxirgi bosqichida, qoida sifatida, namunani qo'lda yoki avtomatlashtirilgan geometrik tarzda soddalashtirish talab qilish. Chunki to'liq dizayn modeli odatda amaliy modellashtirish nuqtai nazaridan juda ko'p kichik, ahamiyatsiz tafsilotlarni o'z ichiga oladi, bu esa modelni behuda murakkablashtiradi va hisoblash vaqtini oshiradi.

Cheklangan elementlar usuli elastik kuchlanish holatini o'rganish usuli sifatida paydo bo`lgan bo`lib, birinchi va eng avval ishlab chiqilgan dasturiy tizimlar ushbu sohaga ixtisoslashgan holda rivojlanishini poyderori bo`lgan. Masalan, elektrotexnik muammolarni dasturiy taminot yordamida taxlil qilish uchun ko`plab dasturiy usullar mavjud ammo ularni ichida cheklangan elementlar usuli bir qator afzalliklari bilan ajralib turadi.[3-4]

Bunday dasturlarni tanlash omili hal qilinayotgan vazifalarning xususiyatlari va modellashtirilishi kerak bo'lgan fizik elektrotexnik hodisalarning mavjudligi xisoblanadi. O`z navbatida dasturni o'zlashtirishning nisbiy murakkabligini osonlashtirishda o'quv va ma'lumot manbalarining mavjudligi, misollar va mutaxassislar maslahati muhim xisoblanadi. Yuqori murakkablikdagi bazi dasturiy ta'minot tizimlari muqarrar ravishda xatolarni o'z ichiga olganligi sababli dasturiy ta'minot muhandisligining ushbu sohasi jadal rivojlanayotganligi bilan birga hamda o`z navbatida ayrim kamchilik va hatoliklarni paydo bo`lishligiga olib kelmoqda [20].

Ushbu maqolada turli fizik va elektrotexnika muammolarini o'rganish asosida shunday xulosaga keldikki, multifizik tahlilning mazmuni nafaqat turli fizik sohalardagi tenglamalarni birgalikda hal qilish, balki bir modelda sezilarli darajada farq qiladigan hisoblash sxemalarini birlashtirishdir. Maqolada fizik maydonlarni raqamli simulyatsiya qilish, shu jumladan chekli elementlar usuliga asoslangan mahalliy dasturiy ta'minot to'plami asosida elektrotexnikaning amaliy muammolarini hal qilishda multifizika yondashuvlaridan foydalanishning maqsadga muvofiqligi va amaliy foydaliligi ko'rsatilgan. Bundan tashqari mavjud nazariy manbalar asosida multifizika muammolarining xarakterli hisoblash qiyinchiliklari va ularni bartaraf etish usullari tahlil qilindi.

Elektromagnit, issiqlik va elastiklikni multifizikaviy modellashtirish usullari-mahalliy dasturiy ta'minot to'plamiga asoslangan intensiv maydonlar kabel texnologiyasining amaliy muammolarini hal qilish, yuqori yuklangan payvandlash transformatorlarini loyihalash va elektromagnit tezlashtirish moslamasining texnik-iqtisodiy imkoniyatlarini loyihadan oldin baholash uchun ham ishlatilishi mumkinliklari o'rganildi.

Bunday elektrotexnika muammolarini oddiy hamda simulyatsiya usuli orqali o'rganib, undagi kechadigan kamchiliklarni bartaraf etish kuzatilishi mumkin bo'lgan salbiy oqibatlarni ham oldini olinishini ifodalovchi asosiy omil bo'lib hizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. M.F. Horstemeyer Multiscale Modelling: A Review. – в книге Practical Aspects of Computational Chemistry: Methods, Concepts and Applications редактор(ы): Jerzy Leszczynski, Manoj Shukla. –Springer, 2009, стр. 87-137

[2]. A. Gorban N.K. Kazantzis·I.G. Kevrekidis·H.C. Öttinger·C. Theodoropoulos Model Reduction and Coarse-Graining Approaches for Multiscale Phenomena. –Springer 2007, 561 c.

[3]. P. Lethbridge Multiphysics Analysis. - The Industrial Physicist, № 4, 2004. с. 26-29 [6] Компьютерный инжиниринг : учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 93 с.

[4]. Современное инженерное образование: учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 80 с

[5]. В. Jenkins Создание возможностей для компьютерного моделирования физических процессов и инженерного анализа. - CAD/CAM/CAE Observer #2 (54) / 2010 ч. 2 с 40-45

[6]. П. Сильвестер, Р. Феррари Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков. – М. Мир 1986, 228 с.

[7]. Kuchkarov B., Mamatkarimov O., Abdulkhayev A. (2020). ICECAE IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 012027 “Influence of the ultrasonic irradiation on characteristic of the structures metal-glass-semiconductor”, Paper ID 116.

[8]. Qo'chqarov B.X., Nishonov A., Qo'chqarov X.O. (2020). Scientific bulletin of Namangan State University, “The effect of tunneling current on the speed surface generation of charge carriers”, 1(7), 3-6.

[9]. Vlasov, S.I, Nazirov, D.N, Kuchkarov B.K., Bobokhujayev, K.U., (2014). Influence of all-round compression on formation of the mobile charge in lead-borosilicate glass structure. “Uzbekiston Fizika Jurnalı”, 3(16), 231-233.

[10]. Kuchkarov, B. K., Mamatkarimov, O.O., (2019). Influence of ultrasonic action on the rate of charge formation of the inversion layer in metal-glass-semiconductor structures. “Vestnik KRAUNC. Fiziko-Matematicheskie Nauki”, 4(29), 125-134.

[11]. Vlasov S.I., Ovsyannikov A.V., Ismailov B.K., Kuchkarov B.H. (2012). Effect of pressure on the properties of Al-SiO₂-n-Si<Ni> structures. “Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics”, 2(15), 166-169.

[12]. I.G Tursunov, BH Kuchkarov. (2016). The influence of the profile of impurity distribution on the parameters of varactors subjected to full hydrostatic compression. "Uzbekiston Fizika Zhurnali", 18(5), 322-325.

[13]. Behzod Khoshimjonovich Kuchkarov, Odiljon Ohundedaevich Mamatkarimov. (2019). Influence of ultrasonic action on the rate of charge formation of the inversion layer in metal-glass-semiconductor structures. "Vestnik KRAUNC. Fiziko-Matematicheskie Nauki", 29(4), 125-134.

[14]. Behzod Khoshimjanovich Kuchkarov, Odiljon Oxundedaevich Mamatkarimov, Abrorbek Abdulloxonovich Abdulkhayev. (2019). Relaxation dependence of the capacity of a three-layer structure in the process of charge formation of an inversion layer. "Scientific Bulletin of Namangan State University", 1(6), 26-33.

[15]. Behzod Kuchkarov, Abrorbek Abdulkhayev. (2021). Factors providing the efficiency of semiconductor lasers. "Scientific Bulletin of Namangan State University", 3(5), 48-52.

[16]. O.O Mamatkarimov, B.H Kuchkarov, N Yu Sharibaev, A.A Abdulkhayev. (2021). Influence Of The Ultrasonic Irradiation On Characteristic Of The Structures Metal-Glass-Semiconductor. "European Journal of Molecular & Clinical Medicine", 8(01), 610-618.

[17]. Икромжон Тухтасинович Ражапов, Қўчқаров Бехзод Хошимжанович. (2021). Photogalvanic characteristics of solar elements and coefficient nonidality of photovoltaic-current characteristic. "International Journal of Philosophical Studies and Social Sciences", 1(3), 120-128.

[18]. I.T Rajapov, BH Kuchkarov, MO Turaeva. (2021). Influence of temperature on fill factor of iv characteristics of illuminated solar cells. "Web of Scientist: International Scientific Research Journal", 2(10), 148-154.

[19]. Kuchkarov, B., Mamatkarimov, O., Abdulkhayev A. (2020). ICECAE IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 012027 "Influence of the

ultrasonic irradiation on characteristic of the structures metal-glass-semiconductor”, Paper ID 116.

[20]. S.Zaynobiddinov, M.Tulkinov, B.Kuchqarov. (2022). “Development of effective methods of teaching theoretical electrotechnics”. Web of Scientist: International Scientific Research Journal, 3(10), 431-437.