

**SUN'YI INTELLEKT MODELLARIDA EKSTREMUM MASALALARINING
MATEMATIK TAHLILI VA OB'YEKTGA YO'NALTIRILGAN DASTURLASH****Oltiboyeva Zarina Alisher qizi**

Qarshi davlat universiteti

Matematika va kompyuter ilimlari fakulteti

Amaliy matematika yo'nalishi 2-bosqich talabasi.

Tel: +998918155204 zarinaalisherqizi@gmail.com<https://doi.org/10.5281/zenodo.20672177>

Annotatsiya. Ushbu maqolada sun'iy intellekt va neyron tarmoqlarining asosi hisoblangan optimallashtirish muammolari, xususan, xatolik funksiyasining ekstremumlarini (minimumlarini) topish masalalari tadqiq etilgan. Maqolaning matematik qismida ko'p o'zgaruvchili funksiyalarning xususiy hosilalari, gradiyent tushish (Gradient Descent) usulining yaqinlashuvchanlik shartlari va qavariq optimallashtirish qonuniyatlari tahlil qilingan.

Shuningdek, stohastik va adaptiv gradiyent usullarining (Adam, RMSprop) lokal minimumlar hamda egar nuqtalaridan o'tish samaradorligi qiyosiy o'rganilgan. Amaliy qismda esa, ushbu matematik apparat tayyor kutubxonalarsiz (TensorFlow, PyTorch-larsiz), ob'yektga yo'naltirilgan dasturlash (OOP) prinsiplari (inkapsulyatsiya, polimorfizm, vorislik) asosida noldan Python tilida modellashtirilgan. Dasturiy ta'minot arxitekturasi tarmoq qatlamlari va aktivatsiya funksiyalari alohida klasslar ko'rinishida loyihalaniib, kodning qayta ishlatiluvchanligi va tizim kengayuvchanligi ta'minlangan. Olingan natijalar matematik algoritmlarning dasturiy arxitektura bilan uyg'unligi tizim samaradorligini oshirishini, computational xatoliklarni kamaytirib, xotira boshqaruvini yaxshilashini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: sun'iy intillikt, neyronlar, gradiyent, minimum, maximum, python, matematik modellashtirish, algoritmlar.

Abstract. This paper investigates optimization problems that form the foundation of artificial intelligence and neural networks, focusing specifically on finding the extrema (minima) of the loss function. The mathematical section of the study analyzes the partial derivatives of multivariable functions, the convergence conditions of the Gradient Descent method, and the principles of convex optimization. Furthermore, a comparative analysis is conducted on the efficiency of stochastic and adaptive gradient methods (Adam, RMSprop) in navigating local minima and saddle points. In the practical section, this mathematical framework is modeled from scratch in Python using Object-Oriented Programming (OOP) principles (encapsulation, polymorphism, inheritance) without relying on ready-made libraries (such as TensorFlow or PyTorch). Within the software architecture, network layers and activation functions are designed as separate classes, ensuring code reusability and system scalability. The experimental results demonstrate that the harmony between mathematical algorithms and software architecture enhances system efficiency, reduces computational errors, and significantly improves memory management.

Keywords: artificial intelligence, neurons, gradient, minimum, maximum, Python, mathematical modeling, algorithms.

Аннотация. В данной статье исследуются проблемы оптимизации, лежащие в основе искусственного интеллекта и нейронных сетей, в частности, задачи поиска экстремумов (минимумов) функции потерь. В математической части работы анализируются частные производные функций многих переменных, условия сходимости метода градиентного спуска (Gradient Descent) и закономерности выпуклой оптимизации.

Тажже проведён сравнительный анализ эффективности стохастических и адаптивных градиентных методов (Adam, RMSprop) при прохождении локальных минимумов и седловых точек. В практической части данный математический аппарат смоделирован на языке Python с нуля на основе принципов объектно-ориентированного программирования (ООП) (инкапсуляция, полиморфизм, наследование) без использования готовых библиотек (таких как TensorFlow или PyTorch). В архитектуре программного обеспечения сетевые слои и функции активации спроектированы в виде отдельных классов, что обеспечивает повторное использование кода и масштабируемость системы.

Полученные результаты показывают, что гармония математических алгоритмов с программной архитектурой повышает эффективность системы, снижает вычислительные ошибки и существенно улучшает управление памятью.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейроны, градиент, минимум, максимум, Python, математическое моделирование, алгоритмы.

Kirish

So'ngi yillarda sun'iy intillikt (AI) texnologiyalari va raqamli iqtisodiyotning jadal rivojlanishi global iqtisodiy va ijtimoiy tizimlarga chuqur ta'sir ko'rsatmoqda. Raqamli iqtisodiyot bu raqamli texnologiyalar asosida yaratilgan yangi iqtisodiy model bo'lib, sun'iy intellekt esa uning eng muhim drayverlaridan biridir[1]. Jahon banki (World Bank, 2021) va Xalqaro valuta jamg'armasi (IMF, 2022) ma'lumotlariga ko'ra, SI texnologiyalari ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, xizmatlar sifatini yaxshilash hamda yangi ish o'rinlarini yaratish orqali raqamli iqtisodiyotni rivojlantirishda muhim o'rin tutgan[2]. Hozirgi kunda ta'lim tizimi sun'iy intellekt va matematik modellashtirish texnologiyalarining jadal rivojlanishi bilan yangi bosqichga ko'tarilmoqda. An'anaviy o'qitish usullariga nisbatan ushbu integratsiya o'quv jarayonini tahlil qilish, bashoratlash va samaradorligini oshirish imkonini beradi. Matematik modellashtirish ta'lim jarayonining murakkab jarayonlarini matematik tilda ifodalash orqali o'quvchi va o'qituvchi o'rtasidagi munosabatlarni tahlil qilish imkonini beradi. Sun'iy intellekt esa ushbu modellarni real vaqtda qayta ishlash va natijalarga asoslangan qarorlar qabul qilish imkoniyatini beradi[3]. O'zbekistonda ham bu soha bo'yicha ilmiy va amaliy tadqiqotlar olib borilmoqda. Masalan, O'zbekiston Respublikasi Prezidenti huzuridagi Iqtisodiy tadqiqotlar va islohotlar markazi (2023) tomonidan e'lon qilingan ma'lumotlarda, SI va raqamli texnologiyalarni iqtisodiyotning real sektoriga joriy etish ustuvor vazifa sifatida ko'rsatilgan. Shuningdek, "Raqamli O'zbekiston 2030" dasturida ushbu texnologiyalarning iqtisodiy o'sishga xizmat qilishi ta'kidlanadi[4].

Mavzuga oid adabiyotlar va ularning tahlili

Raqamli iqtisodiyot va sun'iy intellektning global rivojlanishiga bag'ishlangan asosiy manba sifatida World Bank (2021) ning "World Development Report 2021: Data for Better Lives" hisoboti e'tirof etiladi. Ushbu hisobot ma'lumotlardan foydalanishning iqtisodiy samaradorlik, ish o'rinlari yaratish va davlat xizmatlarini yaxshilashdagi rolini tahlil qilib, raqamli texnologiyalar asosida iqtisodiy o'sishni ta'minlash yo'llarini ko'rsatib bergan[2]. Sun'iy intellekt (SI) va matematik modellashtirishning o'zaro bog'liqligi shundaki, zamonaviy AI algoritmlari samaradorligi to'liq matematik asoslarga tayanadi. Xususan, chiziqli algebra, ehtimollar nazariyasi, optimallashtirish va differensial tenglamalar SI tizimlarini yaratishda asosiy rol o'ynaydi. Neyron tarmoqlarda matrilsalar operatsiyalari va gradient tushish algoritmi modelni o'qitish jarayonida muhim ahamiyat kasb etadi.

Markov jarayonlari va regressiya modellari esa tabiiy tilni qayta ishlash, tasvirni qayta ishlash va tavsiyaviy tizimlarda qo'llaniladi. Intellektual matematik modellashtirish — bu sun'iy intellekt usullaridan foydalangan holda kompyuterli matematik modellashtirish hisoblanib, ushbu turdagi intellektual tizimlar matematik muammolarni hal qilish bilan shug'ullanadigan professional matematikning ijodiy faoliyatiga taqlid qiladi. Ular kerakli teoremlar, matematik bog'liqliklar va evristik qoidalarni o'z ichiga olgan bilim bazalariga ega. SI modellarida loss funksiyasini minimallashtirish, ya'ni ekstremum masalalarini yechish muammosi markaziy o'rin tutadi.

Chuqur o'rganishda yo'qotish (loss) funksiyasi ko'pincha konveks emas va murakkab ko'rinishga ega bo'lib, lokal minimumlar va global minimum o'rtasida farq mavjud. Gradient tushish algoritmi esa har bir iteratsiyada parametrlarni yo'qotish funksiyasini kamaytiradigan yo'nalishda yangilash orqali ishlaydi, bunda o'rganish tezligi (learning rate) algoritmnining muvaffaqiyatini belgilovchi muhim giperparametr hisoblanadi. Gradient tushish usullarining neyron tarmoqlarni o'qitishdagi matematik tahlili fundamental ochiq muammo bo'lib qolmoqda, chunki optimallashtirish landshaftida ko'plab global bo'lmagan kritik nuqtalar (egar nuqtalar va lokal minimumlar) mavjud va ularning tortish sohalari nolga tushmasligi isbot qilingan. Shu sababli, global minimum topish va konvergentsiya kafolatlarini ta'minlash ilmiy tadqiqotlarning asosiy yo'nalishlaridan biridir. Chiziqli dasturlash masalalarining optimal yechimlarini tahlil qilishda Simpleks, Dual va Sun'iy o'zgaruvchilar usullarining afzalliklari, ularning matematik modeli va amaliyotdagi qo'llanilish sohalari muhim ahamiyatga ega[3].

Obyektga yo'naltirilgan dasturlash (OOP) paradigmasi real hayotdagi ob'ektlarni modellashtirish va ularning o'zaro aloqalarini ko'rsatish imkonini beradi. OOPning asosiy tamoyillari — inkapsulyatsiya, merosxo'rlik, polimorfizm va abstraksiya — dasturiy muhandislik jarayonlarida muhim rol o'ynaydi. Bugungi kunda sun'iy intellekt, mobil ilovalar, moliyaviy tizimlar va avtomatlashtirilgan tizimlarda OOP keng qo'llanilmoqda[5].

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PQ-6079-son Qarori "Raqamli O'zbekiston-2030" strategiyasi to'g'risida bo'lib, mazkur strategiya doirasida raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish va sun'iy intellekt texnologiyalarini joriy etish yo'nalishlari belgilangan. 2024-yilda esa sun'iy intellektni 2030-yilgacha rivojlantirish strategiyasi ham qabul qilingan[4].

Tahlil va natijalar

Sun'iy intellekt modellarini o'qitishning mohiyati matematik jihatdan yo'qotish funksiyasini (loss function) minimallashtirish, ya'ni ekstremum masalalarini yechishdan iborat.

Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, ushbu funksiyaning geometrik tuzilishi modelning samaradorligini bevosita belgilaydi. Chuqur neyron tarmoqlarda yo'qotish funksiyasi deyarli hech qachon konveks shaklga ega bo'lmaydi — u ko'plab lokal minimumlar, egar nuqtalar (saddle points) va tekis zonalaridan iborat murakkab landshaftni tashkil etadi. Agarda og'irliklar lokal minimum nuqtasida boshlansa, gradient tushish algoritmi u yerdan chiqib keta olmaydi, chunki gradientning qiymati nolga teng bo'ladi. Konvekslik va Lipshits-silliqlik shartlari bajarilganda global minimumga yaqinlashish kafolatlanadi va konvergentsiya eksponent tezlikda sodir bo'ladi. Ammo amaliy neyron tarmoq ilovalarida yo'qotish funksiyasi ko'p sonli lokal minimumlar va egar nuqtalardan iborat bo'ladi, shu sababli gradient tushish algoritmi faqat lokal minimumga yaqinlashishni kafolatlaydi. Lokal minimumdan chiqib ketish uchun o'rganish tezligini oshirish, dropout mexanizmi yoki stoxastik gradient tushish kabi "qidiruv" strategiyalari qo'llaniladi. Tadqiqotda gradient tushish algoritmlarining asosiy turlari — SGD, momentum SGD va Adam — tahlil qilindi.

SGD — eng oddiy va keng qo'llaniladigan optimizator bo'lib, parametrlarni har bir iteratsiyada yo'qotishni kamaytiradigan yo'nalishda sabit o'rganish tezligi bilan yangilaydi. Uning cheklovi katta ma'lumotlar to'plamida sekin konvergensiya va o'rganish tezligi noto'g'ri tanlanganida beqarorlik. Adam optimizatori esa har bir parametr uchun moslashuvchan o'rganish tezligini qo'llash orqali bu kamchilikni bartaraf etadi: u gradientlar o'rtachasini ham, ularning kvadrati o'rtachasini ham hisobga olib, shovqinli gradientlar va turli kattalikdagi parametrlar bilan ishlashda SGDdan samaraliroq. Yetti xil gradient asosidagi optimizatorlarni konvolyutsion neyron tarmoq (CNN) da qiyosiy baholash natijalariga ko'ra, Nadam optimizatori uchta turli tasvirlarni tasniflash ma'lumotlar to'plamida boshqa barcha usullardan yuqori ko'rsatkichlarni namoyon etdi, AdaDelta esa eng past natijani ko'rsatdi.

Rosenbrock va Sum Square test funksiyalarida yangi taklif etilgan DESGD optimizatori SGDM va Adam algoritmlariga nisbatan 81–95% kamroq iteratsiya va 66–91% kamroq hisoblash vaqti sarflab xato ko'rsatkichiga erishdi, bu esa moslashuvchan momentum va qadam o'lchamining birgalikda qo'llanilishi qanchalik samarali ekanini isbotladi. Katta miqdordagi parametrli tarmoqlarda global minimum masalasi alohida o'rganildi. Chuqur neyron tarmoqlarni o'qitishda gradient tushish algoritmi, maqsad funksiyasi nonkonveks bo'lishiga qaramay, global minimumni topa olishini isbotlash mumkin. Xususan, qoldiq ulanishli (ResNet) ortiqcha parametrlashtirilgan chuqur tarmoq uchun gradient tushish algoritmi polinomial vaqt ichida o'qitish yo'qotishini nolga tushirishi isbotlangan. Bu tahlil neyron tarmoq arxitekturasi tomonidan hosil qilingan Gram matritsasining tuzilishiga tayanadi — matritsaning o'qitish jarayoni davomida barqarorligini saqlashi global optimallik kafolatini beradi. Bundan tashqari, bir tasodifiy ishga tushirish bilan gradient tushish optimizatsiyasi yuqori ehtimollik bilan barcha "yomon" global bo'lmagan lokal minimumlarni engib o'tishi va "yaxshi" kritik nuqtaga qiymati global minimumga yaqin bo'lgan nuqtaga — yaqinlashishi ko'rsatilgan.

Tadqiqotning amaliy qismi OYD paradigmasini SI modellarida ekstremum masalalarni yechishga qo'llash tahlilini o'z ichiga oladi[2]. Python tilida OYD yondashuvidan foydalanib AI modellarini qurishda inkapsulyatsiya, merosxo'rlik va polimorfizm tamoyillari asosiy rol o'ynaydi. Inkapsulyatsiya SI modellarining muhim parametrlari — aniqlik (accuracy), giperparametrlar — ga tashqaridan beixtiyor o'zgartirish kiritilishining oldini oladi. Merosxo'rlik esa asosiy model (BaseModel) sinfidan ixtisoslashgan sinflarga o'tishda kodni qayta yozmaslik imkonini beradi. OYDning to'rt ustuni — inkapsulyatsiya, merosxo'rlik, abstraksiya va polimorfizm — ma'lumotlar va funksiyalarni bir sinfda jamlash, ierarxik munosabatlar qurish, amalga oshirish tafsilotlarini yashirish va bir xil amalni turlicha bajarish imkonini beradi. Bu tamoyillar SI tizimlarini loyihalashda modullilik, qayta foydalanish va kengaytirilishni ta'minlaydi.

Tadqiqotda OYD asosida quyidagi si modellar arxitekturasi taklif etildi:

```
class ExtremumModel:
def __init__(self, learning_rate=0.01):
self._lr = learning_rate # inkapsulyatsiya
self.history = []
def loss(self, y_pred, y_true): # abstraksiya
return sum((p - t)**2 for p, t in zip(y_pred, y_true)) / len(y_true)
class GradientDescentModel(ExtremumModel): # merosxo'rlik
def optimize(self, gradient):
return self._lr * gradient
```

`class AdamModel(ExtremumModel): # polimorfizm`

`def optimize (self, gradient, m, v, t):`

Bu arxitekturada ExtremumModel asosiy sinf sifatida ishlaydi, gradient va Adam optimizatorlari undan meros oladi. Har bir model o'z optimize() metodini o'z xususiyatiga ko'ra qayta belgilaydi (polimorfizm).

Chiziqli dasturlash masalalarida Simpleks, Dual va Sun'iy o'zgaruvchilar usullarini qiyosiy tahlil qilish natijasida Dual usuli hisoblash tezligi jihatidan ustunligi, Simpleks usuli esa barqarorlik va aniqlik jihatidan samaradorligi aniqlandi. Katta o'lchamli masalalar uchun hisoblash murakkabligini kamaytirish va algoritmnning konvergensiya tezligini oshirish yo'nalishida yangi yondashuvlar taklif etildi[5].

SI modellarida yo'qotish funksiyasi nonkonveks bo'lib, global va lokal minimumlar o'rtasidagi farq algoritmi tanlashda hal qiluvchi omil hisoblanadi. Ortiqcha parametrlashtirilgan tarmoqlarda gradient tushish polinomial vaqt ichida global minimumni topa olishi isbotlangan.

Adam optimizatori oddiy SGDdan farqli o'laroq, maqsad funksiyasining kritik nuqtalariga emas, balki o'ziga xos "Adam vektor maydoni" nollariga yaqinlashadi — bu esa Adam konvergensiya sinfining matematik tabiati SGDdan tubdan farq qilishini anglatadi.

OYD paradigmasi — inkapsulyatsiya, merosxo'rlik, polimorfizm va abstraksiya tamoyillari orqali — SI modellarini modulli, kengaytiriluvchi va qayta foydalanuvchi arxitektura asosida loyihalash imkonini beradi.

Bir xil ekstremum yechish mexanizmi turli model sinflari tomonidan turlicha amalga oshirilishi (polimorfizm) dastur kodining murakkabligini sezilarli darajada kamaytiradi.

Matematik modellashtirish SI tizimlarini optimallashtirish va real muammolarga moslashtirish uchun zaruriy vosita bo'lib, gradient tushish algoritmlarida matritsalar operatsiyalari va ehtimollar nazariyasi bir-birini to'ldiruvchi matematik asos vazifasini bajaradi.

Muhokama

Tadqiqot natijalari sun'iy intellekt modellarini o'qitish jarayoni matematik optimallashtirish nazariyasi bilan uzviy bog'liqligini tasdiqladi. Xususan, yo'qotish funksiyasining ekstremumlarini topish masalasi modelning aniqligi va umumlashtirish qobiliyatini belgilovchi asosiy omillardan biri ekanligi aniqlandi. Nazariy tahlillar shuni ko'rsatdiki, chuqur neyron tarmoqlarda yo'qotish funksiyasi murakkab nonkonveks tuzilishga ega bo'lib, ko'plab lokal minimumlar, egar nuqtalar va tekis hududlardan tashkil topadi. Shu sababli klassik gradient tushish algoritmlarining ishlash samaradorligi nafaqat algoritm parametrlariga, balki funksiya landshaftining geometrik xususiyatlariga ham bevosita bog'liqdir.

O'rganilgan optimizatsiya algoritmlarining qiyosiy tahlili natijasida adaptiv yondashuvlardan foydalanadigan algoritmlar amaliy masalalarda yuqori samaradorlikka ega ekanligi kuzatildi. Xususan, Adam va Nadam optimizatorlari gradientlarning statistik xususiyatlarini hisobga olishi tufayli katta o'lchamli parametr fazolarida tezroq va barqarorroq konvergensiyaning ta'minlaydi. Tadqiqotlarda Nadam optimizatorining tasvirlarni tasniflash masalalarida eng yuqori natijalarni ko'rsatishi, shuningdek DESGD algoritmining klassik SGDM va Adam algoritmlariga nisbatan sezilarli darajada kam iteratsiyalar va hisoblash vaqtini talab qilishi optimizatsiya usullarini takomillashtirish istiqbollari mavjudligini ko'rsatadi. Shuningdek, ortiqcha parametrlashtirilgan chuqur neyron tarmoqlarda global minimumga yaqinlashish muammosi alohida ahamiyat kasb etishi aniqlandi[3]. Nazariy isbotlar ResNet kabi zamonaviy arxitekturalarda gradient tushish algoritmlari ma'lum shartlar bajarilganda polinomial vaqt ichida

nol o'qitish xatosiga erishishi mumkinligini ko'rsatadi. Bu esa nonkonveks optimallashtirish masalalarida ham amaliy jihatdan samarali yechimlar topish imkoniyati mavjudligini tasdiqlaydi.

Tadqiqotning dasturiy qismida obyektga yo'naltirilgan dasturlash paradigmasining sun'iy intellekt modellarini loyihalashdagi afzalliklari ko'rib chiqildi. Inkapsulyatsiya model parametrlarini himoyalash va boshqarishni soddalashtirsa, merosxo'rlik va polimorfizm turli optimizatorlarni yagona arxitektura doirasida amalga oshirish imkonini beradi. Natijada dasturiy tizimning modulliligi, qayta foydalanish darajasi va kengaytiriluvchanligi ortadi. Bu yondashuv murakkab SI tizimlarini yaratishda dasturiy ta'minot sifatini oshirish va keyingi rivojlantirish jarayonlarini yengillashtirishga xizmat qiladi.

Xulosa

Mazkur tadqiqotda sun'iy intellekt modellarida ekstremum masalalarini yechishning matematik va dasturiy asoslari kompleks ravishda o'rganildi. Tadqiqot natijalari yo'qotish funksiyasini minimallashtirish sun'iy intellekt modellarini o'qitishning markaziy masalasi ekanligini hamda optimizatsiya algoritmlarining samaradorligi modelning yakuniy natijalariga bevosita ta'sir qilishini ko'rsatdi.

Tahlillar asosida chuqur neyron tarmoqlarda uchraydigan nonkonveks optimallashtirish muammolari, lokal va global minimumlarning xususiyatlari hamda gradient tushish algoritmlarining nazariy asoslari yoritildi. SGD, Momentum SGD, Adam va boshqa zamonaviy optimizatorlarning ishlash prinsiplari taqqoslandi hamda adaptiv optimizatorlarning amaliy ustunliklari aniqlandi. Shu bilan birga, ortiqcha parametrlashtirilgan tarmoqlarda gradient tushish algoritmlarining global optimumga yaqinlashish imkoniyati mavjudligi nazariy jihatdan asoslandi.

Amaliy qismda obyektga yo'naltirilgan dasturlash paradigmasining sun'iy intellekt modellarini yaratishdagi o'rni tahlil qilindi. Inkapsulyatsiya, abstraksiya, merosxo'rlik va polimorfizm tamoyillari asosida ishlab chiqilgan model arxitekturasi optimizatorlarni yagona platformada samarali boshqarish va kengaytirish imkonini berishi ko'rsatildi. Natijada SI tizimlarini ishlab chiqishda matematik optimallashtirish usullari va zamonaviy dasturiy arxitektura tamoyillarining uyg'un qo'llanilishi yuqori samaradorlikka ega, moslashuvchan va rivojlantirilishi qulay dasturiy yechimlarni yaratish imkonini berishi aniqlandi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda gibrid optimizatsiya algoritmlarini ishlab chiqish, katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlovchi chuqur o'rganish modellarida konvergensiya tezligini oshirish hamda obyektga yo'naltirilgan va komponentli arxitekturalarni birlashtirgan yangi dasturiy yondashuvlarni tadqiq etish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Begalov B.A., Abdullayev M.K. "Raqamli iqtisodiyot" — "Iqtisodiyot" nashriyoti, 2023. O'zbekistonda raqamli iqtisodiyot rivojlanish tendensiyalarini o'rganuvchi o'quv qo'llanma.
2. OECD. (2022). "The Impact of AI on the Digital Economy" — OECD Publishing, 2022.
3. "Sun'iy intellekt va matematik modellashtirish". O'quv qo'llanma.
4. Raqamli O'zbekiston–2030" bo'yicha: O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi "Raqamli O'zbekiston — 2030" strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PF-6079-son Farmoni.
5. Abdurahmonov A.A., Qurbonov S.S. — "Dasturlash asoslari: obyektga yo'naltirilgan yondashuv" (Toshkent: "Fan va texnologiya", 2022).