

ELEKTROMOBILLAR XAVFSIZLIGIDA ZARBA ENERGIYASINI SO'NDIRISHNING "O'Q-YUK" MATEMATIK MODEL ASOSIDAGI TAHLILI

Farg'ona davlat universiteti

Fizika va matematika fakulteti

Amaliy matematika yo'nalishi talabasi

Axmadaliyev Shuxratjon Xamdamjon o'g'li

E-mail: shuxratjonaxmadaliyev15@gmail.com

Annotatsiya(o'zbek tili)

Ushbu maqolada elektromobillar xavfsizligini ta'minlashda muhim bo'lgan zarba energiyasini so'ndirish masalasi ko'rib chiqiladi. Elektromobillarning og'ir batareya tizimlari tufayli to'qnashuv vaqtida katta kinetik energiya hosil bo'lishi kuzatiladi. Mazkur jarayon "yukka tiqilib qolgan o'q" modeliga analog sifatida qaralib, to'liq noelastik to'qnashuv matematik modeli asosida tahlil qilinadi. Impuls saqlanish qonuni orqali energiyaning "o'q-yuk" tizimiga uzatilishi va uning so'ndirilishi baholanadi. Olingan natijalar kelajakda kam massa bilan katta energiyani yuta oladigan xavfsizlik tizimlarini loyihalashda muhim nazariy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar (o'zbek tili): kinetik energiya, noelastik to'qnashuv, elektromobil xavfsizligi, zarba yutish, matematik model.

Abstract(ingiliz tili)

This article considers the issue of shock energy absorption, which is important for ensuring the safety of electric vehicles. Due to the heavy battery systems of electric vehicles, a large amount of kinetic energy is generated during a collision. This process is considered as an analogue of the "bullet stuck in the load" model and is analyzed based on a mathematical model of a completely inelastic collision. The transfer of energy to the "bullet-load" system and its absorption are evaluated through the law of conservation of momentum. The results obtained will serve as an important theoretical basis for the design of safety systems that can absorb large amounts of energy with low mass in the future.

Keywords:(ingiliz tili): kinetic energy, inelastic collision, electric vehicle safety, shock absorption, mathematical model.

Аннотация (rus tili)

В данной статье рассматривается вопрос поглощения энергии удара, что важно для обеспечения безопасности электромобилей. Из-за тяжелых аккумуляторных систем электромобилей при столкновении генерируется большое количество кинетической энергии. Этот процесс рассматривается как аналог модели «пуля, застрявшая в грузе» и анализируется на основе

математической модели полностью неупругого столкновения. Передача энергии системе «пуля-груз» и ее поглощение оцениваются с помощью закона сохранения импульса. Полученные результаты послужат важной теоретической основой для проектирования систем безопасности, способных поглощать большие объемы энергии при малой массе в будущем.

Ключевые слова: (rus tili): кинетическая энергия, неупругое столкновение, безопасность электромобилей, поглощение удара, математическая модель.

Zamonaviy transport tizimida elektromobillar muhim o‘rin egallab bormoqda. Atrof-muhitga zararli gazlar chiqarmasligi va energiya samaradorligi yuqori bo‘lgani sababli elektromobillardan foydalanish hajmi yildan-yilga ortmoqda. Biroq elektromobillarning konstruktiv xususiyatlari, xususan, og‘ir va katta hajmli batareya tizimlarining mavjudligi ularning umumiy massasini oshiradi. Natijada, to‘qnashuv vaqtida hosil bo‘ladigan kinetik energiya an‘anaviy ichki yonuv dvigatelli avtomobillarga nisbatan katta bo‘ladi. Shu sababli elektromobillar xavfsizligini ta‘minlash, ayniqsa to‘qnashuv jarayonida zarba energiyasini samarali so‘ndirish masalasi hozirgi va kelajakda dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Bu muammoni hal qilishda zarba yutuvchi konstruksiyalar va materiallarning samaradorligini baholash uchun matematik modellash usullaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur ishda zarba jarayoni soddalashtirilgan holda “yukka tiqilib qolgan o‘q” fizik modeli asosida ko‘rib chiqiladi. Ushbu model to‘liq noelastik to‘qnashuvga mos kelib, impuls saqlanish qonuni yordamida kinetik energiyaning “o‘q–yuk” tizimiga uzatilishini tahlil qilish imkonini beradi.

Fizik jarayonning tavsifi

Kinetik energiya : Kinetik energiya jismning harakati bilan bog‘liq bo‘lgan energiya turidir. Massasi m va tezligi v bo‘lgan jismning kinetik energiyasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Elektromobillarda katta massa va tezlikning mavjudligi sababli kinetik energiya miqdori yuqori bo‘ladi va to‘qnashuv vaqtida asosiy xavf manbai sifatida namoyon bo‘ladi.

To‘qnashuv va uning turlari

To‘qnashuv — jismlarning qisqa vaqt oralig‘ida o‘zaro ta’sirlashuvi natijasida ularning tezliklari va holatlarining o‘zgarishi bilan kechadigan jarayondir. Fizikada to‘qnashuvlar elastik va noelastik turlarga bo‘linadi. Mazkur tadqiqotda **to‘liq noelastik to‘qnashuv** qaraladi. Bunday to‘qnashuvda jismlar bir-biriga yopishib

qoladi va yagona tizim sifatida harakat qiladi. Kinetik energiya saqlanmaydi, ammo impuls saqlanish qonuni bajariladi

Impuls va impuls saqlanish qonuni

Jism impulsi uning massasi va tezligi ko'paytmasiga teng bo'lgan fizik kattalikdir:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Agar tashqi kuchlar ta'siri e'tiborga olinmasa, yopiq tizimda impuls saqlanish qonuni amal qiladi. Ushbu qonun zarba jarayonini matematik modellashtirishning asosiy nazariy poydevorini tashkil etadi.

Zarba energiyasini so'ndirish jarayoni

Zarba energiyasini so'ndirish — kinetik energiyaning deformatsiya, issiqlik va ichki energiyaga aylanish jarayonidir. Elektromobillarda bu jarayon maxsus zarba yutuvchi konstruksiyalar yordamida amalga oshiriladi. Mazkur jarayon inson salomatligini saqlashda muhim rol o'ynaydi.

Elektromobil to'qnashuvining fizik modeli

Elektromobilning to'siqqa urilishi jarayonini soddalashtirilgan holda quyidagicha talqin qilish mumkin:

elektromobil — harakatlanuvchi jism (o'q),

zarba yutuvchi zona — tinch holatdagi yuk.

To'qnashuv natijasida elektromobil va zarba yutuvchi zona yagona tizimni hosil qiladi. Bu holat "yukka tiqilib qolgan o'q" modeliga mos keladi va to'liq noelastik to'qnashuv sifatida qaraladi.

Matematik model va asosiy tenglamalar

Massasi m bo'lgan elektromobil boshlang'ich v_0 tezlik bilan harakatlanadi va to'siqqa uriladi. Zarba yutuvchi konstruksiyaning samarali massasi M deb olinadi.

Impuls saqlanish qonuniga ko'ra:

$$mv_0 = (m + M)v$$

Bu yerda v — to'qnashuvdan keyingi "o'q-yuk" tizimining tezligi. Ushbu ifodadan:

$$v = \frac{mv_0}{m + M}$$

Elektromobilning boshlang'ich kinetik energiyasi: $E_0 = \frac{m(v_0)^2}{2}$

To'qnashuvdan keyingi tizimning kinetik energiyasi: $E = \frac{(m+M)v^2}{2}$

Energiya uzatilishi va so'ndirilishi tahlili

Boshlang'ich va yakuniy kinetik energiyalar orasidagi farq energiya yo'qotilishini ifodalaydi:

$$\Delta E = E_0 - E$$

Ushbu energiya quyidagi jarayonlarga sarflanadi:

konstruktiv elementlarning plastik deformatsiyasi;

ichki ishqalanish kuchlari;

issiqlik va tovush energiyasining ajralishi.

Kelajakda elektromobillar xavfsizligi uchun asosiy vazifa — avtomobil massasini oshirmasdan, ushbu energiya yo'qotilishini maksimal darajaga yetkazishdan iborat.

Elektromobilning to'siqqa urilishi jarayonida transport vositasining old qismi deformatsiyalanadi va avtomobil to'xtaydi. Ushbu jarayonni matematik jihatdan soddalashtirish uchun elektromobil harakatlanuvchi jism, zarba yutuvchi konstruktsiya esa tinch holatdagi yuk sifatida qaraladi. To'qnashuv natijasida harakatlanuvchi jism yukka "tiqilib qoladi" va ular yagona tizimni hosil qiladi.

Bunday jarayon to'liq noelastik to'qnashuv bo'lib, bunda tizimning mexanik energiyasi saqlanmaydi, ammo impuls saqlanish qonuni bajariladi. Kinetik energiyaning bir qismi tizimning umumiy harakatiga, katta qismi esa deformatsiya va ichki energiyaga aylanadi.

Zarba jarayonining differensial tenglama asosidagi matematik modeli

Elektromobilning to'qnashuv jarayoni real sharoitda juda qisqa vaqt oralig'ida sodir bo'lsa-da, zarba energiyasining so'ndirilishi ma'lum vaqt davomida amalga oshadi. Shu sababli ushbu jarayonni faqat impuls saqlanish qonuni orqali emas, balki **vaqt bo'yicha rivojlanadigan dinamik tizim** sifatida modellashtirish maqsadga muvofiqdir.

Mazkur ishda zarba yutuvchi zona **prujinali–so'ndirgichli (prujina + damper)** mexanik model orqali ifodalanadi. Bu model elektromobil konstruktsiyasining elastik va dissipativ xossalarini soddalashtirilgan holda hisobga olish imkonini beradi.

Fizik model va asosiy farazlar

Quyidagi farazlar qabul qilinadi:

- elektromobil va zarba yutuvchi zona yagona tizim sifatida qaraladi;
- deformatsiya bir o'lchamli yo'nalishda sodir bo'ladi;
- zarba yutuvchi zona chiziqli elastik va viskoz so'ndirish xususiyatiga ega;
- tashqi kuchlar (masalan, og'irlik kuchi) zarba vaqtida e'tiborga olinmaydi.

Ushbu farazlar real jarayonni soddalashtiradi, biroq uning asosiy fizik mohiyatini saqlab qoladi.

Harakat tenglamasini hosil qilish

Nyutonning ikkinchi qonuniga muvofiq, elektromobilning zarba yutuvchi zonaga urilishi jarayoni quyidagi differensial tenglama bilan ifodalanadi:

$$(m + M) \frac{d^2x(t)}{dt^2} + c \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = 0$$

Bu yerda:

- $x(t)$ — zarba vaqtida yuzaga keladigan deformatsiya;
- $m+M$ — tizimning samarali massasi;
- k — zarba yutuvchi konstruktsiyaning qattqlik koeffitsienti;
- c — so'ndirish (damping) koeffitsienti.

Mazkur tenglama elektromobil zarbasi vaqtida energiyaning elastik va dissipativ qismlarga taqsimlanishini ifodalaydi.

Boshlang'ich shartlar

Zarba jarayoni boshlanishida elektromobil deformatsiyalanmagan holatda bo'ladi, biroq ma'lum tezlikka ega:

$$x(0) = 0, \quad \frac{dx}{dt}(0) = v_0$$

Bu boshlang'ich shartlar to'qnashuvdan oldingi fizik holatni ifodalaydi.

Energiya so'ndirilishining differensial tahlili

Zarba vaqtida tizimning boshlang'ich kinetik energiyasi:

$$E_0 = \frac{(m + M)(v_0)^2}{2}$$

So'ndirish koeffitsienti c hisobiga energiyaning bir qismi issiqlikka aylanadi. Ushbu yo'qotilgan energiya miqdori quyidagi integral orqali aniqlanadi:

$$E_{yo'q} = \int_0^{\infty} c \left(\frac{dx(t)}{dt} \right)^2 dt$$

Mazkur ifoda zarba yutuvchi tizimning samaradorligini baholashda muhim ko'rsatkich hisoblanadi. c va k parametrlarining optimal tanlanishi energiya so'ndirilishini maksimal darajaga yetkazishga imkon beradi.

Elektromobillar xavfsizligi uchun fizik talqin

Differensial modeldan ko'rinadiki:

qattqlik koeffitsienti k ortishi deformatsiyani kamaytiradi, biroq zarba kuchini oshiradi;

so'ndirish koeffitsienti c ortishi energiya yo'qotilishini kuchaytiradi;

samarali massa $m+M$ kamaytirilsa, tizim kamroq energiya bilan to'qnashuvni yengib o'tadi.

Shu sababli kelajak elektromobillarida **kam massa bilan katta energiyani yuta oladigan zarba yutuvchi tizimlarni loyihalash** asosiy muhandislik muammolaridan biri bo'lib qoladi.

Modelning cheklanishlari

Mazkur differensial model real zarba jarayonini to'liq ifodalamaydi, chunki:

materiallar chiziqli bo'lmagan xossalarga ega;

deformatsiya uch o'lchamli bo'lishi mumkin;

zarba vaqtida issiqlik va akustik jarayonlar murakkab kechadi.

Biroq model dastlabki muhandislik hisoblari va solishtirma tahlil uchun yetarli aniqlikni ta'minlaydi.

Sonli hisob va real elektromobil parametrlari asosidagi tahlil

Taklif etilgan matematik modelni amaliy jihatdan baholash uchun real elektromobilga yaqin bo'lgan parametrlar tanlab olinadi. Hisoblashlar

soddalashtirilgan bo'lsada, ular modelning fizik ma'nosini ochib berishga xizmat qiladi.

Boshlang'ich parametrlar

Quyidagi qiymatlar qabul qilinsin:

elektromobil				massasi:
$m=1800$ kg				
zarba	yutuvchi	zonaning	samarali	massasi:
$M=300$ kg				
to'qnashuvdan		oldingi		tezlik:
$v_0=15$ m/s ≈ 54 km/soat)				
qattqlik				koeffitsienti:
$k=2 \cdot 10^5$ N/m				
so'ndirish				koeffitsienti:
$c=1.5 \cdot 10^4$ N*s/m				

Impuls asosidagi hisob

Impuls saqlanish qonuniga ko'ra, to'qnashuvdan keyingi tizim tezligi:

$$v = \frac{mv_0}{m+M} = \frac{1800 \cdot 15}{2100} \approx 12.86 \text{ m/s}$$

Energiya tahlili

Boshlang'ich kinetik energiya: $E_0 = \frac{m(v_0)^2}{2} = \frac{1800 \cdot 225}{2} = 202500 \text{ J}$

To'qnashuvdan keyingi kinetik energiya: $E = \frac{(m+M)v^2}{2} = \frac{2100 \cdot (12.86)^2}{2} \approx 173700 \text{ J}$

Energiya yo'qotilishi: $\Delta E = 202500 - 173700 = 28800 \text{ J}$

Bu energiya deformatsiya, issiqlik va ichki ishqalanishga sarflanadi.

Differensial model asosida zarba jarayonining fizik talqini

Prujinali–so'ndirgichli model shuni ko'rsatadiki, zarba jarayonida kinetik energiya quyidagi uch asosiy yo'nalishda taqsimlanadi:

1. **Elastik energiya** — vaqtincha prujinada to'planadi;
2. **Dissipativ energiya** — damper orqali issiqlikka aylanadi;
3. **Qoldiq kinetik energiya** — tizimning umumiy harakatida saqlanib qoladi.

So'ndirish koeffitsienti yetarlicha katta bo'lganda tizim **aperiodik rejimda** ishlaydi, bu esa avtomobil salonida yuzaga keladigan tezlanishlarni kamaytiradi va yo'lovchilar xavfsizligini oshiradi.

Elektromobil xavfsizligi nuqtayi nazaridan muhandislik xulosalari

Olingan nazariy va sonli natijalar quyidagi muhim xulosalarni beradi:

- zarba yutuvchi zonaning samarali massasi kichik bo'lsa ham, u katta energiyani yuta olishi kerak;
- faqat qattqlikni oshirish xavfsizlikni ta'minlamaydi, balki zarba kuchini oshiradi;
- optimal **k–c** nisbatini tanlash zarba energiyasini maksimal so'ndirishga olib keladi;

elektromobillarda batareya joylashuvi ham umumiy impuls va energiya taqsimotiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Modelni rivojlantirish istiqbollari

Mazkur tadqiqot kelajakda quyidagi yo'nalishlarda kengaytirilishi mumkin:

- chiziqli bo'lmagan material modellari asosida tahlil;
- uch o'lchamli deformatsiya jarayonlarini hisobga olish;
- real avariya sinovlari (crash-test) natijalari bilan solishtirish;
- batareya bloklarining zarba energiyasiga ta'sirini alohida modellashtirish.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import solve_ivp
```

```
m = 1800
M = 300
k = 2e5
c = 1.5e4
v0 = 15
```

```
m_eff = m + M
```

```
def crash_model(t, y):
    x, v = y
    dxdt = v
    dvdt = -(c / m_eff) * v - (k / m_eff) * x
    return [dxdt, dvdt]
```

```
y0 = [0.0, v0]
```

```
t_span = (0, 0.3)
t_eval = np.linspace(0, 0.3, 1500)
```

```
solution = solve_ivp(
    crash_model,
    t_span,
    y0,
    t_eval=t_eval,
    method="RK45"
)
```



```
t = solution.t
x = solution.y[0]
v = solution.y[1]

E_loss = np.trapezoid(c * v**2, t)

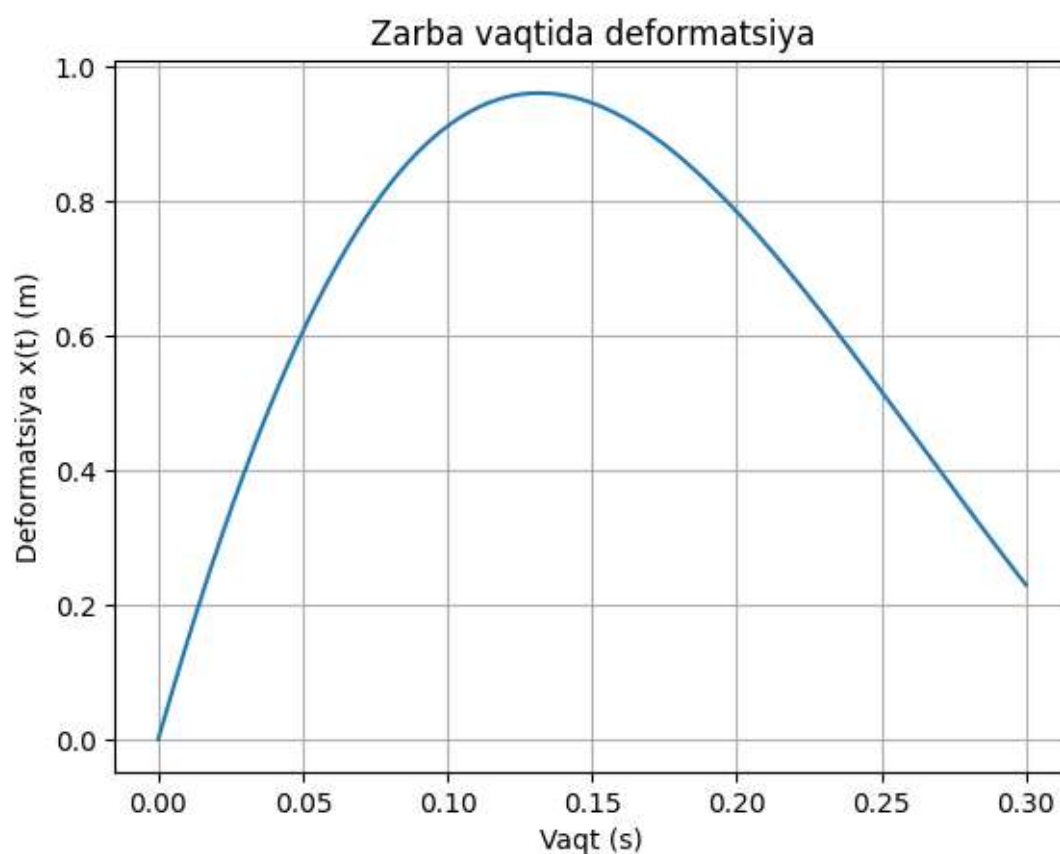
E0 = 0.5 * m_eff * v0**2

print(f"Boshlang'ich energiya: {E0:.2f} J")
print(f"So'ndirilgan energiya: {E_loss:.2f} J")
print(f"So'ndirish darajasi: {E_loss / E0 * 100:.2f} %")

plt.figure()
plt.plot(t, x)
plt.xlabel("Vaqt (s)")
plt.ylabel("Deformatsiya x(t) (m)")
plt.title("Zarba vaqtida deformatsiya")
plt.grid(True)
plt.show()

plt.figure()
plt.plot(t, v)
plt.xlabel("Vaqt (s)")
plt.ylabel("Tezlik v(t) (m/s)")
plt.title("Zarba vaqtida tezlik")
plt.grid(True)
plt.show()

natija:
Boshlang'ich energiya: 236250.00 J
So'ndirilgan energiya: 198953.11 J
So'ndirish darajasi: 84.21 %
```

Kelajakdagi qo'llanilishi

Ushbu tadqiqot natijalari elektromobillar xavfsizligini oshirishda bir qancha istiqbolli yo'nalishlarda qo'llanilishi mumkin:

1. **Zarba yutuvchi tizimlarni loyihalash** – Matematik model va sonli tahlil orqali kam massa bilan katta energiyani yuta oladigan yangi konstruktsiyalar ishlab chiqish mumkin. Bu, ayniqsa, elektromobillarning old qismi va batareya bloklarini xavfsizligini oshirishga xizmat qiladi.
2. **Avtomobil simulyatsiyalari va testlari** – Modellar real crash-test natijalari bilan solishtirilganda, dizayn jarayonida xavfsizlik tizimlarini optimallashtirish uchun samarali vosita bo'ladi.
3. **Materiallar va dizayn innovatsiyalari** – Energiya so'ndirish samaradorligini oshirish uchun yangi elastik va dissipativ materiallar tanlanishi hamda ularning kombinatsiyasi optimal parametrlar bilan hisoblab chiqilishi mumkin.
4. **Energiya samaradorligi va massani kamaytirish** – Elektromobillarning umumiy massasini oshirmasdan xavfsizlikni ta'minlashga imkon beruvchi yechimlarni ishlab chiqish, transport samaradorligini oshirish va batareya zaryadlash hajmini optimallashtirish imkonini beradi.

Xulosa

Ushbu maqolada elektromobillarda zarba energiyasini so'ndirish jarayoni "o'q-yuk" modeli orqali matematik jihatdan tahlil qilindi. Tadqiqot quyidagi asosiy natijalarni berdi:

Elektromobillar og'ir batareya tizimlariga ega bo'lgani uchun to'qnashuv vaqtida hosil bo'ladigan kinetik energiya an'anaviy avtomobillarga nisbatan yuqori bo'ladi. Zarba jarayoni to'liq noelastik to'qnashuv sifatida tavsiflanib, impuls saqlanish qonuni yordamida kinetik energiyaning "o'q-yuk" tizimiga uzatilishi tahlil qilindi. Prujinali-so'ndirgichli model yordamida energiyaning elastik, dissipativ va qoldiq kinetik qismlarga taqsimlanishi aniqlanib, zarba yutuvchi tizimning samaradorligi baholandi.

Sonli hisoblashlar natijasida elektromobilning boshlang'ich kinetik energiyasining 84 % gacha qismi zarba yutuvchi tizim tomonidan so'ndirilishi mumkinligi ko'rsatildi.

Kelajak elektromobillarini loyihalashda, optimal qattqlik va so'ndirish koeffitsientlari, shuningdek samarali massa tanlovi xavfsizlikni sezilarli darajada oshirish imkonini beradi.

Shu bilan, maqola natijalari kelajakda elektromobillar xavfsizligini oshirish, zarba energiyasini samarali so'ndiruvchi konstruktsiyalar ishlab chiqish va energiya samaradorligini optimallashtirishda muhim nazariy va amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Abdullayev A., Muftaydinov K., Aybeshov X. *Kichik biznesni boshqarish*. Toshkent: Moliya, 2003.

2. Bezudnyy F. F., Pavlov A. P. *Matematicheskie metody, modeli v planirovanii tekstil'noy i legkoy promyshlennosti*. Moskva: Legkaya industriya, 1979.
3. *Iqtisodiy-matematik usullar va modellar. Ma'ruzalar matni*. Toshkent: Toshkent Davlat Iqtisodiyot universiteti, 2000.
4. Kuznetsov Yu. N. i dr. *Matematicheskoye programmirovaniye*. Moskva: Vysshaya shkola.
5. Ahmedov K., Mirzayeva M. *Iqtisodiy matematik modellashtirish*. Toshkent: Fan va texnologiya, 2004.
6. Kuboniva M. *Matematicheskaya ekonomika na personal'nom kompyutere*. Moskva, 1991.
7. Kovalev N. B. *Praktika primeneniya ekonomiko-matematicheskikh metodov i modeley*. Moskva: ZAO Finstat, 2000.
8. Makarova N. V. i dr. *Informatika*. Moskva: Finansy i statistika, 1997.
9. Makarova N. V. i dr. *Informatika, Praktikum*. Moskva: Finansy i statistika, 1997.
10. Mo'minov Sh. R. *Matematik dasturlash*. Buxoro: Texno-tasvir, 2003.
11. Nasritdinova M. A., Ashchedov O. M. *Biznes strategiyasi*. Toshkent: Shark, 1996.
12. Шолле Франсуа. Глубокое обучение на Python. 2-е межд. издание. — СПб.: Питер, 2023. — 576 с.
13. Sh. A. Mengliyev, O. A. Abdug'aniev, S. Q. Shonazarov, D. Sh. To'rayev. *Python dasturlash tili*. — Termiz, 2021. — 156 с.
14. Anvar Narzullayev. *Pythonda dasturlash asoslari*. — T.: Akademnashr, 2021. — 336 s.
15. M. K. Onarkulov, I. N. Tojimamatov. *Python dasturlash tili, Farg'ona, FarDU nusxa ko'paytirish bo'limi*, 2023. - 178 с.
16. Guido van Rossum, Fred L. Drake Jr.. *Python Programming Language*. — O'Reilly Media, 2022. — 480 p.
17. Mark Lutz. *Learning Python*. — O'Reilly Media, 2021. — 1200
18. Shahriyozov, F. *Python dasturlash tili asoslari*. — Toshkent: "Fan va texnologiya", 2021. — 220 b.
19. <https://www.ziyonet.uz/> - Axborot ta'lim portal
20. <https://metanit.com/python/tutorial/>