

Электротехниканың теориялық негіздері I

15-дәріс

Электр тізбектерін талдау және модельдеуде жасанды интеллект әдістерін қолдану

Оқытушы: Мамадияров Максат Муратович, PhD, қауымдастырылған профессор

«Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар» кафедрасы

m.mamadiyarov@satbayev.university

01

Неліктен тізбектерді талдауда жасанды интеллект қажет

02

ЖИ, машиналық оқыту және терең оқыту ұғымдары

03

Компьютерлік модельдеу құралдары: SPICE, MATLAB, Python

04

Нейрондық желі және суррогат модельдер

05

Регрессия мысалы: өлшеу деректерінен параметрлерді анықтау

06

Ақауларды диагностикалау және энергожүйедегі қолданыстар

07

Генеративті ЖИ, шектеулер және нәтижені тексеру

Дәріс соңында студент:

1

ЖИ, машиналық оқыту және терең оқыту ұғымдарын ажыратады

2

Тізбекті Python-да матрицалық әдіспен есептей алады

3

Нейрондық желінің құрылымын және суррогат модельдің идеясын түсіндіреді

4

Өлшеу деректерінен ең кіші квадраттар әдісімен параметрлерді бағалайды

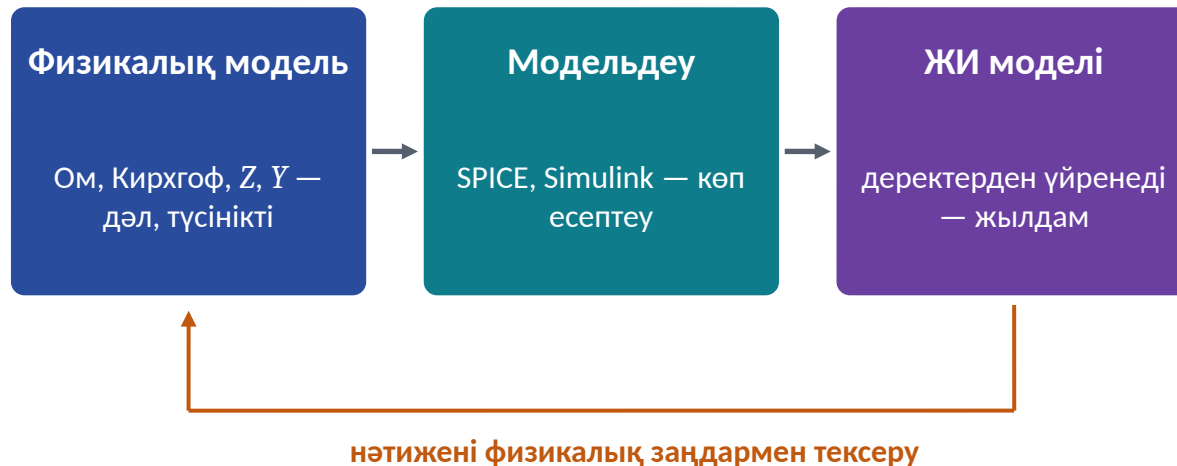
5

ЖИ-дің энергетикадағы қолданыс аяларын атайды

6

ЖИ нәтижесін физикалық заңдар (Кирхгоф, қуат балансы) арқылы тексереді

Классикалық әдістер (2–14-дәрістер) физикалық заңдарға сүйенеді. Жүйе өте күрделі немесе деректер көп болғанда оларды **деректерге негізделген** модельдер толықтырады.



Себептері

- Желілер мыңдаған түйіннен тұрады
- Датчиктерден (PMU, смарт-есептегіштер) үлкен деректер ағыны
- Нақты уақытта шешім қабылдау қажет
- Параметрлері белгісіз немесе өзгермелі жүйелер



Жасанды интеллект (ЖИ)

Адамның зияткерлік әрекетін (тану, болжау, шешім қабылдау) орындайтын алгоритмдер жиыны.

Машиналық оқыту (МО)

Модель ережелерді бағдарламашыдан емес, **деректерден** үйренеді: $y \approx f(x; \theta)$, θ — оқытылатын параметрлер.

Терең оқыту

Көп қабатты нейрондық желілерге негізделген МО; күрделі сызықты емес тәуелділіктерді сипаттайды.

Мұғаліммен оқыту

Кіріс–шығыс жұптары белгілі.

Регрессия: R , L мәнінен токты болжау.

Классификация: ақау түрін анықтау.

Мұғалімсіз оқыту

Тек кіріс деректері.

Кластерлеу:
тұтынушыларды жүктеме профилі бойынша топтау.
Аномалияны табу:
қалыптан тыс режимдер.

Күшейтілген оқыту

Агент ортамен әрекеттесіп, «марапат» бойынша үйренеді.

Микрожелілердегі энергияны басқару, кернеуді реттеу.

НЕГІЗГІ ОЙ

Инженерлік тәжірибеде ең жиі — мұғаліммен оқыту: модель симуляция немесе өлшеу деректерімен оқытылады.

Классикалық және ЖИ тәсілдерін салыстыру



Критерий	Физикалық (классикалық) модель	ЖИ (деректерге негізделген) модель
Негізі	Ом, Кирхгоф заңдары, теңдеулер	Деректердегі статистикалық заңдылықтар
Дәлдігі	Модель дұрыс болса — өте жоғары	Оқыту деректерінің аймағында жоғары
Түсінікті болуы	Толық түсінікті	Көбіне «қара жәшік»
Есептеу жылдамдығы	Үлкен жүйеде баяу болуы мүмкін	Оқытылғаннан кейін өте жылдам
Деректер қажеттілігі	Параметрлер ғана	Көп сапалы деректер
Экстраполяция	Сенімді	Оқыту аймағынан тыс — сенімсіз

НЕГІЗГІ ОЙ

Ең тиімді тәсіл — **гибридті**: физикалық заңдар мен ЖИ біріктіріледі (мысалы, physics-informed neural networks).

Құрал	Негізгі мүмкіндігі	Курсымызбен байланысы
SPICE (LTspice, PSpice)	DC, AC, өтпелі талдау; модификацияланған түйіндік әдіс	ТПӘ (5-дәріс), өтпелі үдерістер (13)
MATLAB / Simulink	Матрицалық есептеу, блоктық модельдеу, Simscape Electrical	Кешенді әдіс, жиіліктік сипаттамалар
Python (NumPy, SciPy)	Сызықты жүйелер, ФФТ, дифференциалдық теңдеулер	Фурье қатары (11), өтпелі үдерістер (13)
Python (scikit-learn, PyTorch)	Машиналық оқыту және нейрондық желілер	Суррогат модельдер, диагностика
PSCAD, PowerFactory	Энергожүйе режимдері мен өтпелі үдерістері	Төртұштықтар (14), қуат балансы

5-дәрістегі үш түйінді тізбек (ТПӘ): $[G][\varphi] = [J]$ жүйесін бірнеше жолмен шешу.

```
import numpy as np

# Түйіндік өткізгіштік матрицасы, См
G = np.array([[ 0.2, -0.1],
              [-0.1,  0.4]])

# Түйіндік токтар, А
J = np.array([2.5, 4.0])

phi = np.linalg.solve(G, J)
print(phi)          # [20. 15.]

# Тармақ тогы R2 арқылы
I_R2 = (phi[0] - phi[1]) / 10
print(I_R2)         # 0.5
```

Түсіндірме

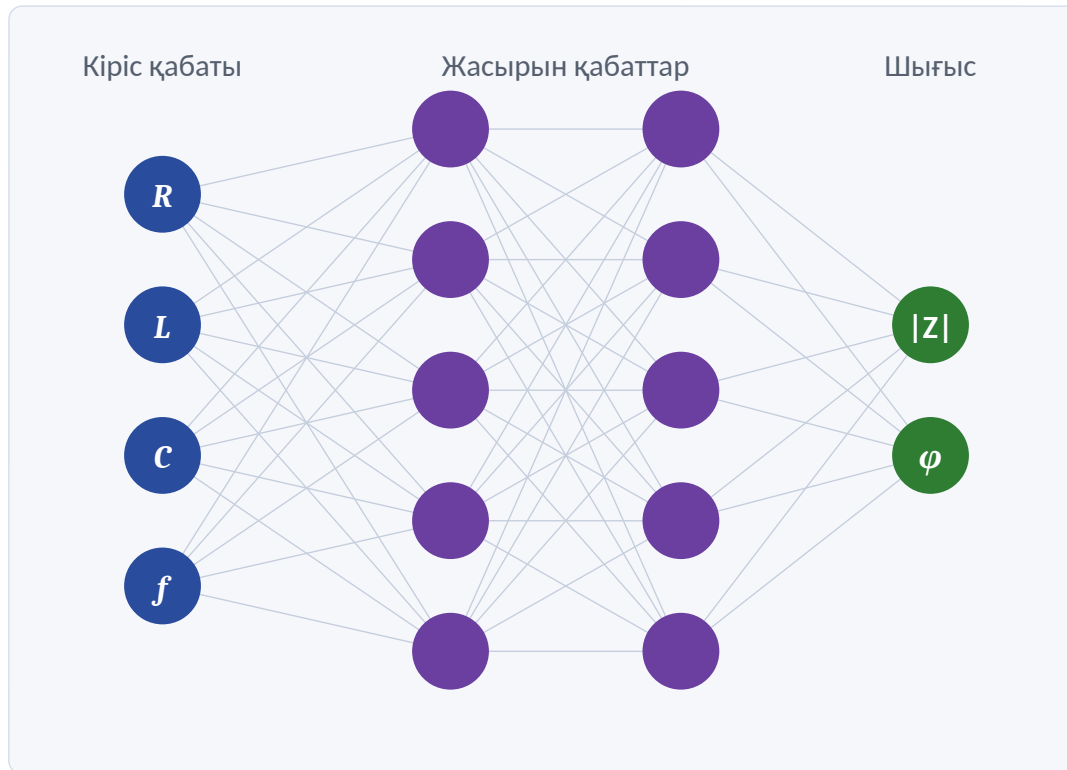
- Нәтиже қолмен есептеумен бірдей: $\varphi_1 = 20 \text{ В}, \varphi_2 = 15 \text{ В}$
- Мыңдаған түйінді жүйе дәл осы жолмен шешіледі
- Кешенді шамалар үшін complex типі қолданылады: $Z = 30 + j40 \rightarrow 30+40j$
- Бұл — ЖИ модельдерін оқытуға деректер генерациялаудың негізі

Физикалық модель + компьютер = дәл әрі жылдам есептеу. ЖИ келесі қадам: көп есептеуді «үйреніп», оны лезде қайталау.

Нейрондық желі құрылымы



Жасанды нейрон кірістердің салмақталған қосындысын сызықты емес функциядан өткізеді: $y = f(\sum w_i x_i + b)$



Қалай оқытылады?

- Мысалда кіріс — тізбек параметрлері, шығыс — $|Z|$ және φ
- Салмақтар w қате функциясын (мысалы, орташа квадраттық қате) азайту үшін **градиенттік түсу** әдісімен түзетіледі
- Жеткілікті нейроны бар желі кез келген үздіксіз тәуелділікті жуықтай алады
- Активация: ReLU, tanh, сигмоида

Бұл желі $Z = R + j(\omega L - 1/(\omega C))$ формуласын «білмейді» — оны мысалдардан **жуықтап** үйренеді. Сондықтан формула белгілі болса, оны тікелей қолданған дұрыс.

Суррогат (метамодель) құру кезеңдері



Суррогат модель — баяу физикалық симуляцияны жылдам ЖИ моделімен алмастыру (оңтайландыру, көп нұсқалы талдау үшін).

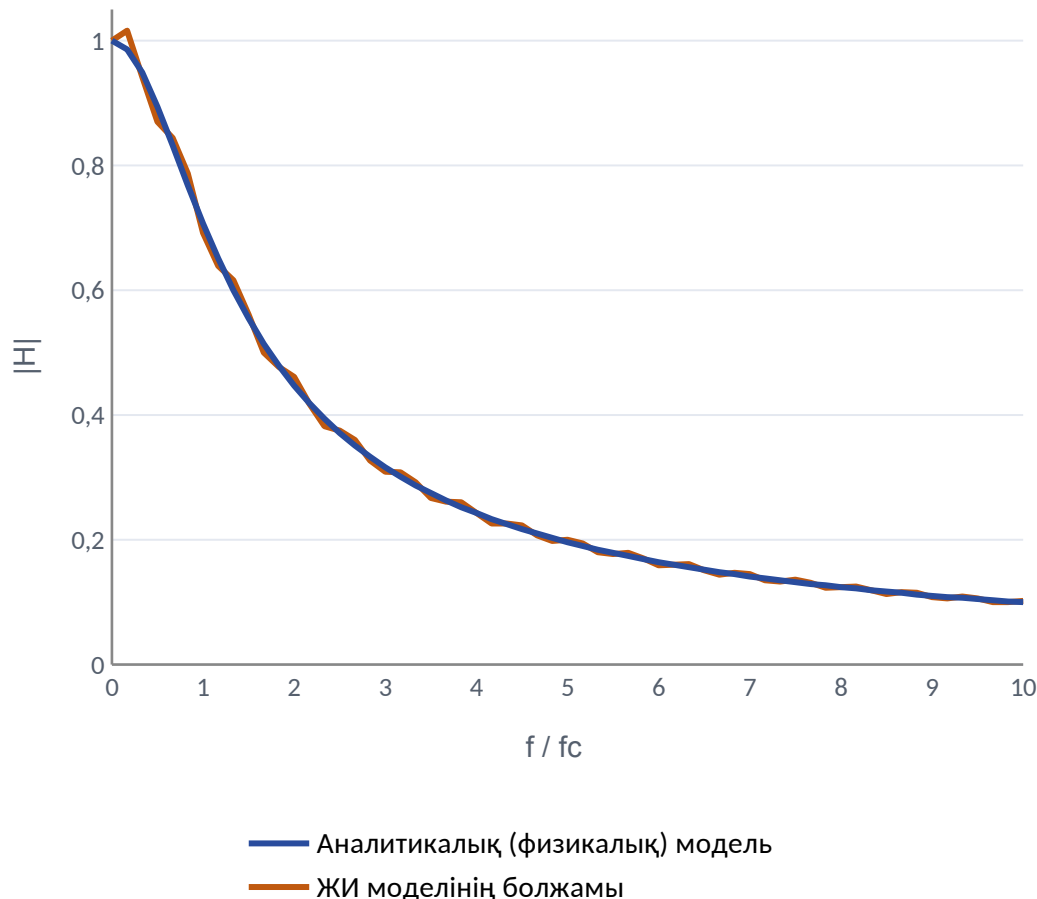


НАЗАР АУДАРЫҢЫЗ

Суррогат модель тек оқытылған параметрлер аймағында сенімді — одан тыс нәтижені міндетті түрде физикалық модельмен тексеру керек.

Иллюстрация: RC сүзгі АЖС-ын суррогат модельмен болжау

Нақты сипаттама $|H(f)| = 1/\sqrt{1 + (f/f_c)^2}$ және оқытылған модельдің болжамы (иллюстрациялық мысал, f_c — кесу жиілігі).



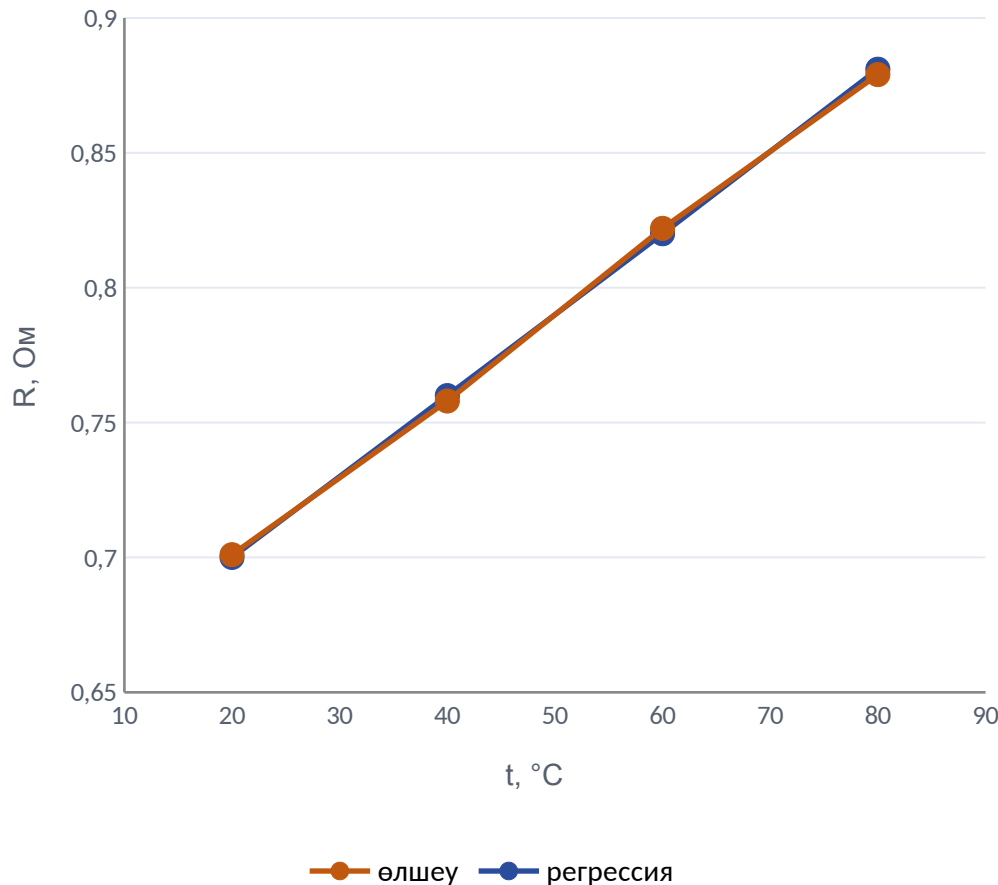
Талдау

- Болжам қатесі бірнеше пайыз шамасында
- $f = f_c$ нүктесінде $|H| = 0,707$ — екі модельде де
- Физикалық формула болғандықтан, мұнда ЖИ тек **оқу** мақсатында
- Нақты қолдануда ЖИ формуласы жоқ күрделі жүйелерге тиімді

Регрессия мысалы: өлшеуден параметрді анықтау



Мыс кабельдің кедергісі 4 температурада өлшенген. Ең кіші квадраттар әдісімен $R(t) = R_{20}[1 + \alpha(t - 20)]$ моделінің параметрлерін табамыз.



Нәтиже

- Өлшеу: 0,701; 0,758; 0,822; 0,879 Ом
- Ең кіші квадраттар: еңіс $\approx 0,003$ Ом/°C, $R_{20} \approx 0,700$ Ом
- $\alpha = 0,003/0,700 \approx 0,0043$ 1/°C — мыстың анықтамалық мәнімен сәйкес (2-дәріс)
- Бұл — машиналық оқытудың ең қарапайым түрі: деректерден модель параметрін «үйрену»

Өлшенген сигналдан белгілер (features) алынып, модель режимді кластардың біріне жатқызады.



НЕГІЗГІ ОЙ

Белгілер осы курста өткен ұғымдар: әсерлік мән (7), қуаттар (9), гармоникалар (11), өтпелі үдерістер (13). ЖИ-дің сапасы осы физикалық түсінікке тәуелді.

Жүктемені болжау

Сағаттық, тәуліктік тұтынуды болжау — генерацияны жоспарлау негізі.

ЖЭК генерациясын болжау

Күн және жел электр станцияларының қуатын ауа райы деректерінен болжау.

Режимді бағалау

PMU деректері бойынша желі күйін нақты уақытта бағалау.

Релелік қорғау

ҚТ-ны магниттелу тогы секірісінен және тербелістерден ажырату.

Электр энергиясының сапасы

Кернеу құлдырауы, гармоникалар, фликер оқиғаларын автоматты тану.

Болжамдық қызмет көрсету

Трансформатор, кабель, қозғалтқыш ақауларын ерте анықтау.



Мүмкіндіктері

- Формулаларды шығаруды түсіндіру
- Python/MATLAB кодын жазу және түзету
- Есептің шешу жоспарын ұсыну
- Әдебиет пен стандарттарды шолу

Тәуекелдер

- **Галлюцинация** — сенімді көрінетін қате сандар мен формулалар
- Өлшем бірліктері мен таңбаларды шатастыру
- Жаңа стандарттар туралы ескірген ақпарат
- Жауапкершілік әрқашан **инженерде**

НАЗАР АУДАРЫҢЫЗ

Ереже: ЖИ берген кез келген нәтижені Кирхгоф заңдары, қуат балансы, өлшем бірліктері және шекті жағдайлар арқылы **тексеріңіз**.



Деректер сапасы

Қате, толық емес немесе біржақты деректер қате модель береді: «garbage in — garbage out».

Түсіндірілуі

Энергетикалық қауіпсіздікте шешімнің **себебі** белгілі болуы керек — «қара жәшік» модельдер шектеулі қолданылады.

Физикаға сәйкестік

ЖИ моделі энергияның сақталу заңын бұзатын нәтиже беруі мүмкін — physics-informed тәсілдер бұны шектейді.

Киберқауіпсіздік

Цифрлық қосалқы станциялар мен ЖИ жүйелері кибершабуылдардан қорғалуы тиіс.

1 Машиналық оқыту классикалық тізбек теориясын алмастыра ма, әлде толықтыра ма? Дәлелдеңіз.

2 Суррогат модель оқыту аймағынан тыс неге сенімсіз?

3 Нейрондық желіні оқытуға қажетті деректерді тізбек теориясы арқылы қалай генерациялауға болады?

4 Кабель кедергісінің температуралық коэффициентін өлшеу деректерінен қалай анықтайды?

5 Ақауларды диагностикалауда қандай физикалық белгілер (features) пайдалы?

6 LLM берген есеп шешімін қандай тәсілдермен тексеруге болады?

7 Энергетикада «қара жәшік» модельдерді қолданудың қандай тәуекелдері бар?

Қорытынды



ЖИ классикалық тізбек теориясын алмастырмайды, оны деректерге негізделген модельдермен толықтырады



Машиналық оқыту: мұғаліммен (регрессия, классификация), мұғалімсіз және күшейтілген түрлері бар



Python, SPICE, MATLAB — тізбекті есептеудің және ЖИ-ге деректер дайындаудың негізгі құралдары



Суррогат модельдер мен классификаторлар энергетикада болжау, диагностика және басқару үшін қолданылады



Кез келген ЖИ нәтижесі Кирхгоф заңдары, қуат балансы және өлшем бірліктері арқылы тексерілуі тиіс

ӘДЕБИЕТ (силлабус бойынша)

[5] Floyd T. L., Buchla D. M. Principles of Electric Circuits, 10th ed. — 853–876 б.