

**Вінницький національний технічний університет**

**Факультет електроенергетики, електротехніки та електромеханіки**

**Кафедра електричних станцій і систем**

**Яременко Олег Олександрович,**  
студент гр. ЕСМ-18м

# **ДІАГНОСТУВАННЯ ПОТУЖНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ**

**Керівник: к.т.н., доц., каф. ЕСС**

**Рубаненко Олександр Євгенійович**

# Актуальність

Вітчизняний та зарубіжний досвід показує, що впровадження засобів діагностування є одним з найважливіших факторів підвищення економічної ефективності використання обладнання в енергетиці.

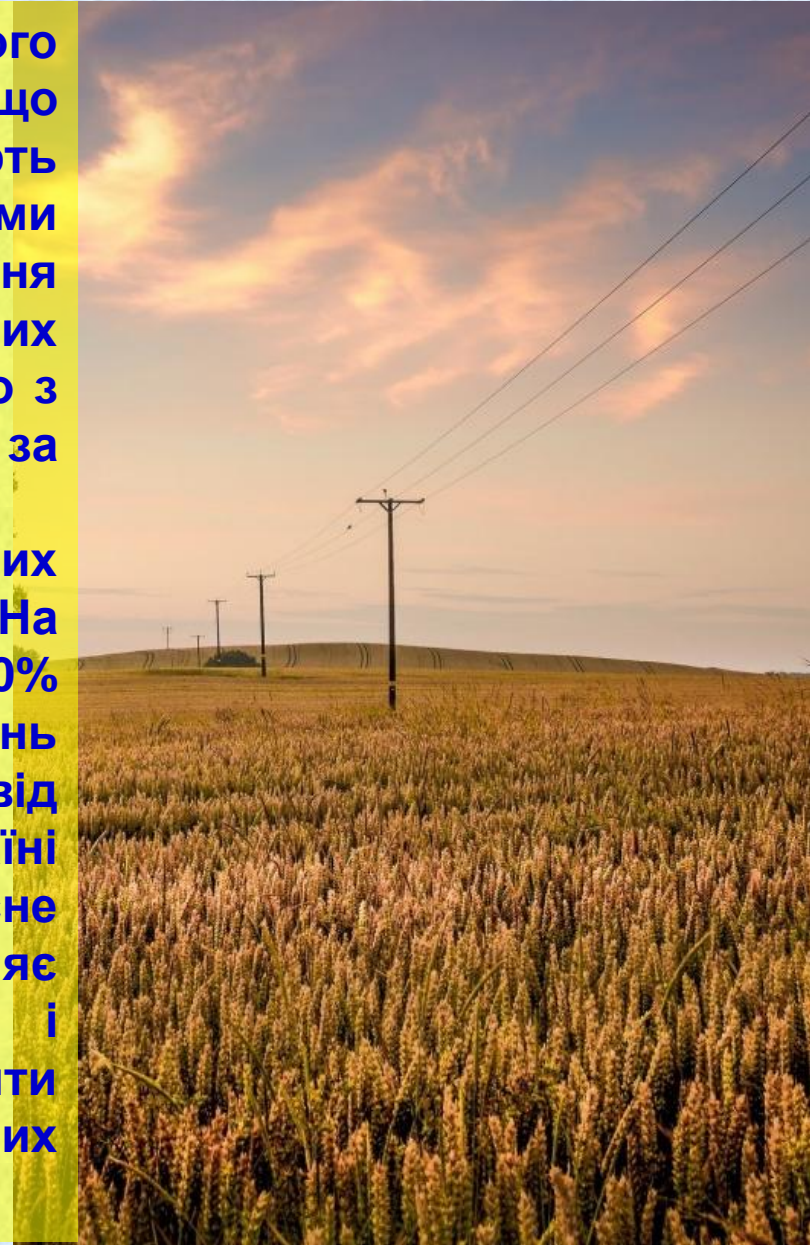
Забезпечення стабільної роботи електроустановок власних потреб (ВП) електростанції є пріоритетним завданням підтримки електропостачання основних споживачів електричної енергії, так і самої електростанції (котли, турбіни, генератори). Так як механізми ВП електростанцій відносяться до приймачів I категорії по надійності електропостачання, то слід приділити увагу швидкому відновленню роботи цих приймачів в після аварійні режими.

Надійна робота електродвигунів на електростанціях визначає надійність роботи всього енергоблоку в цілому. Експлуатаційна надійність електродвигунів визначається конструкцією і якістю виготовлення, умовами експлуатації, періодичністю та якістю ремонту. Характер пошкоджень і причину відмов електродвигунів в процесі експлуатації визначають ступінь надійності основних його вузлів: обмотки статора і ротора, підшипників і ін. Використовуючи дані про відмови електродвигунів, визначають найменш надійні елементи конструкції і розробляють заходи щодо підвищення їх надійності та довговічності, збільшення міжремонтного періоду і т. п., а також планують терміни технічного обслуговування і ремонту, періодичність та обсяг випробувань (електричних, гідравлічних, теплових, механічних), номенклатуру запасних частин, витрата електротехнічних матеріалів для ремонту і ін.

# Актуальність

Так, зокрема, за даними експлуатуючого персоналу, можна зробити висновок, що електродвигуни типу АВ-8000 / 6000УЗ мають низьку експлуатаційну надійність. За даними літературних джерел середнє значення параметра потоку відмов електричних двигунів на ТЕС становить 0,02 1/рік, тобто з кожних 100 встановлених електродвигунів за рік пошкоджується біля двох.

Висока пошкоджуваність асинхронних двигунів стає причиною значних збитків. На частку електродвигунів доводиться 25-30% загальної кількості пошкоджень електроустаткування, а збиток від пошкоджень електродвигунів в Україні становить 1-1,5 млрд грн на рік. Своєчасне виявлення несправностей дозволяє скоротити витрати на обслуговування і втрати від позапланових простоїв, підвищити ефективність роботи двигунів і виробничих механізмів.



# Актуальність

Близько 35% аварій електричних двигунів пов'язано з пошкодженням обмотки статора. Висока пошкоджуваність обмотки пояснюється важкими умовами праці та недостатньою стабільністю електричних властивостей ізоляційних матеріалів. В результаті пошкодження ізоляції може статися замикання між обмоткою і магнітопроводом, замикання між витками котушок або між фазними обмотками. Таким чином, завдання розробки засобів діагностування електричних двигунів та тема магістерської кваліфікаційної роботи є актуальними.

# Мета дослідження.

5



**Мета роботи** полягає у вдосконаленні методів визначення технічного стану потужних двигунів електричних станцій шляхом аналізу їх залишкового ресурсу.

# Задачі дослідження.

6.1



аналіз особливостей експлуатації та конструкції потужних електричних двигунів; дослідження причини пошкодження потужних двигунів, що експлуатуються на електричних станціях; розробка математичної та комп'ютерної моделей визначення коефіцієнта залишкового ресурсу електричного двигуна;

# Задачі дослідження.

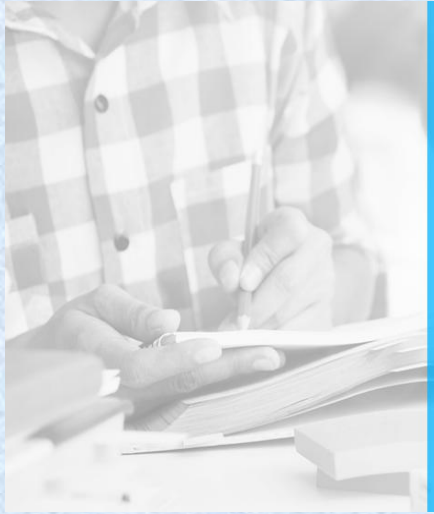
6.2



дослідження методів і засобів контролю діагностичних параметрів ЕД, випробовувань та діагностування ЕД;  
розрахунок економічних показників впровадження мікропроцесорної системи діагностування електричних двигунів;  
дослідження заходів з безпечної експлуатації пристроїв діагностування електричних двигунів.

# Об'єкт та предмет дослідження.

7



**Предметом дослідження** є методи та засоби діагностування технічного стану електричних двигунів.

**Об'єктом дослідження** є процеси погіршення технічного стану електричних двигунів електричних станцій.

**Методи дослідження.** Для аналізу конструктивних особливостей електричних двигунів застосовувались методи теорії електричних машин, для розробки математичної моделі коефіцієнта залишкового ресурсу застосовувались методи теорії нечітких множин та теорії нейронних мереж..

## **Наукова новизна одержаних результатів:**

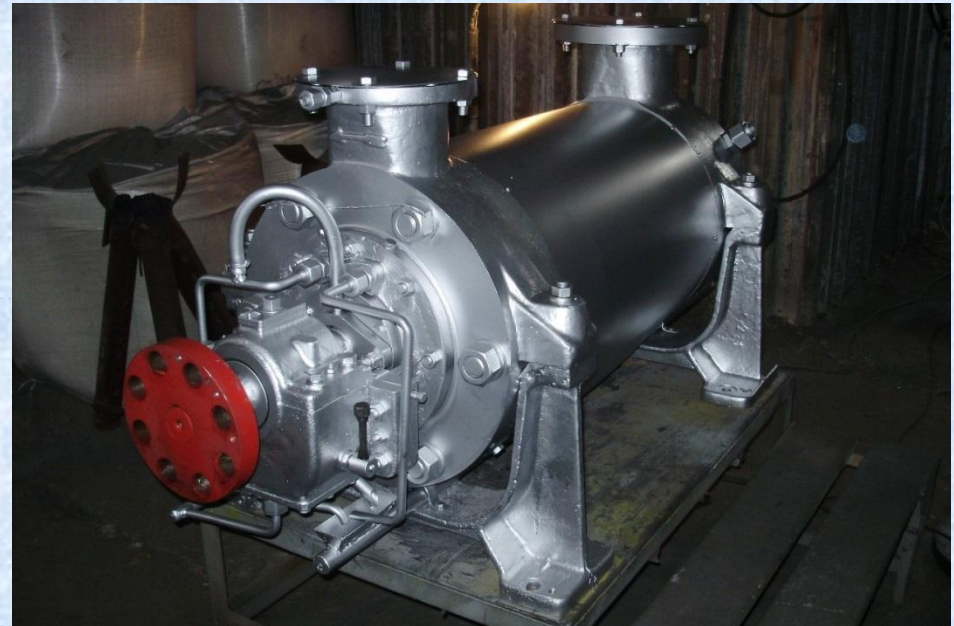
отримав подальший розвиток метод розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу електричного двигуна, який шляхом використання методів нейрон-нечіткого моделювання дозволяє визначити поточний технічний стан двигуна в умовах неповноти даних на момент визначення його стану.

**Практичне значення одержаних результатів** в роботі полягає в наведеному прикладі методики розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу електродвигуна та визначення його стану, яка може бути використана під час діагностування інших електричних двигунів.



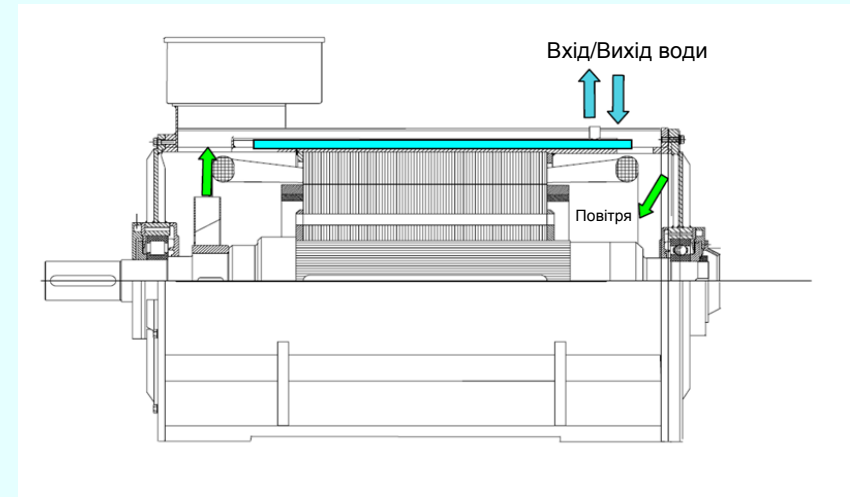
# Призначення та конструктивні особливості живильних насосів

Живильні насоси – це спеціальні насоси, які призначаються для живлення котлів електростанцій та промислових парових генераторів водою. Живильні насоси часто використовуються для подачі хімічно чистої води в парогенератори енергоблоків АЕС, на котельнях, на теплоелектростанціях, на промислових підприємствах.



# Призначення та конструктивні особливості живильних насосів

Серед потужних електричних двигунів чинне місце займають електричні двигуни з водяним охолодженням статора, наприклад, двигуни циркуляційних насосів електричних станцій. Це двигуни ДВДА-260/99-20-24ЕЗ, або ДВДА-200-35/104-20-24УХЛ1 напругою 6000 вольт, частотою 50 Гц. Потужність до 2000 кВт. Також застосовуються ЕД типу, наприклад, ДВАН 143 – 1000/6-12У3 потужністю 1000 кВт, частотою 50 Гц, напругою 6000 В.



В іншому обладнанні використовуються сучасні асинхронні трифазні двигуни  $W$  електричні двигуни з водяним охолодженням з габаритною висотою 160 - 560 мм напругою 0,4 кВ, в діапазоні потужностей від 11 до 1800 кВт.

# Приклади пошкоджень насосів



Бандажна стрічка пошкоджена



Пошкодження обмотки статора



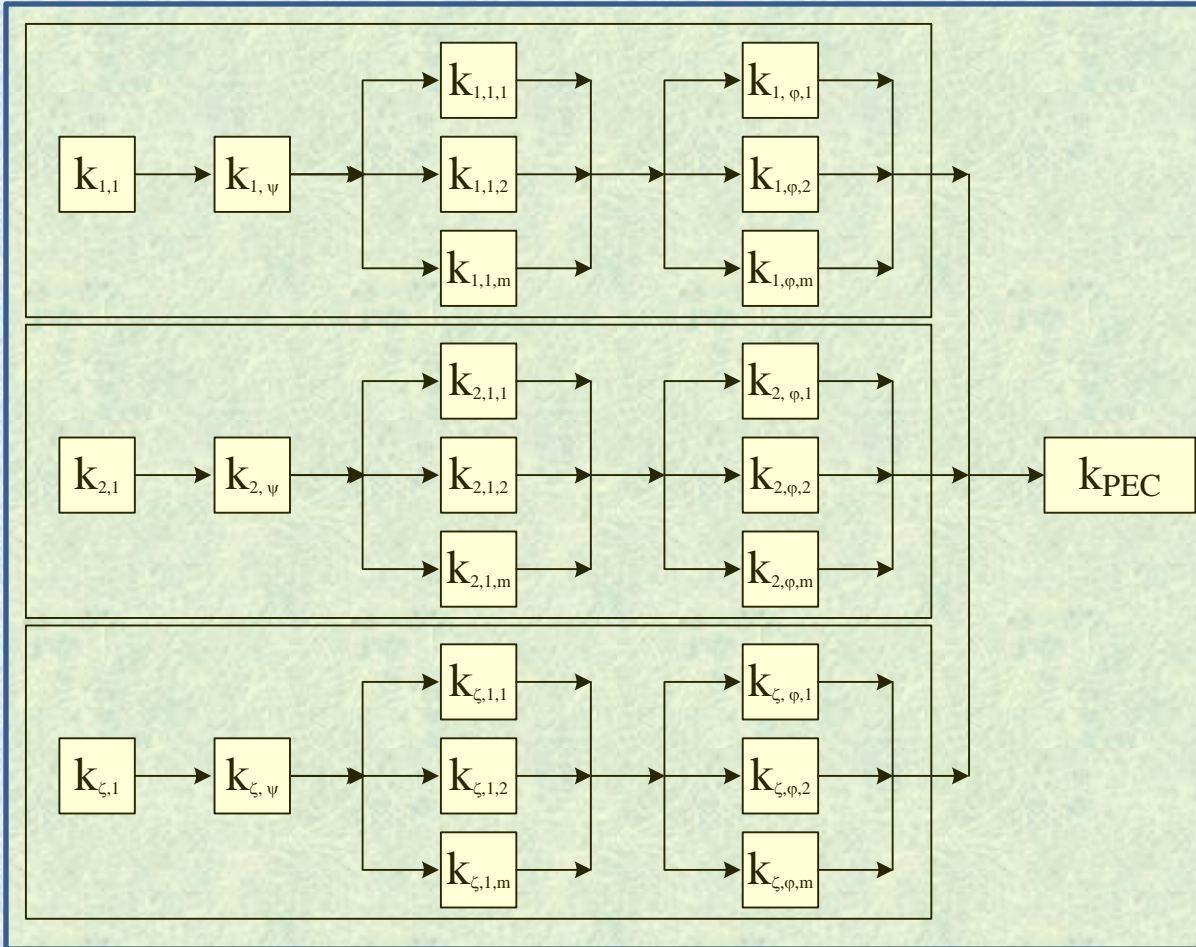
Вигорілі фазні обмотки



# Статистика пошкоджень ЕД

№ п/п	Пошкоджений вузол	Діагностичний параметр	Кількість виведень ЕД з експлуатації		
			одиниць ЕД, од.	відсотків, %	відносних одиниць, в.о.
<b>Статор</b>					
1	Обмотка статора	k1	30	25	0,25
2	Магнітопровід статора	k2	3	2	0,02
3	Бандаж лобових поверхонь обмотки статора	k3	11	9	0,09
<b>Ротор</b>					
4	Обмотка ротора з магнітопроводом	k4	9	7	0,07
5	Вальниці (підшипники)	k5	42	34	0,34
<b>Інші</b>					
6	Кріплення ЕД (до фундаменту, до іншого обладнання, сам фундамент)	k6	6	5	0,05
7	Система охолодження: повітряна та водяна	k7	9	7	0,07
8	Борни (клемні коробки з клемами)	k8	14	11	0,11
	Разом		126	100	1

# Загальна структурна схема моделі коефіцієнта залишкового ресурсу ЕД



Для паралельної частини

$$k_{pec} = \prod_{\tau=1}^{\nu} k_{\tau}^{p_{\tau}}$$

Для послідовної частини

$$k_{pec\Sigma} = 1 - \sum_{j=1}^{m1} [(1 - k_{pec,j}) p_j]$$

Ймовірність відхилень параметра від його гранично допустимого нормованого значення цього параметра

$$k_{3AG.PEC} = 1 - \sum_{\Theta=1}^{\zeta} \left\{ 1 - \left\{ \prod_{\chi=1}^{\psi} (k_{\Theta\chi}^{p_{\Theta\chi}}) \cdot \prod_{\lambda=1}^{\varphi} \left[ 1 - \sum_{j=1}^{m1} [(1 - k_{\Theta\lambda j}) \cdot p_{\Theta\lambda j}] \right]^{p_{\Theta\lambda}} \right\} p_{\Theta} \right\}$$

$$p_{\tau} = \frac{y_{\tau}}{m_2},$$

# Коефіцієнт загального залишкового ресурсу

$$k_{\text{заг.рес}} = k_{k1}^{pk1} \cdot k_{k2}^{pk2} \cdot k_{k3}^{pk3} \cdot k_{k4}^{pk4} \cdot k_{k5}^{pk5} \cdot k_{k6}^{pk6} \cdot k_{k7}^{pk7} \cdot k_{k8}^{pk8}$$

де  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$  – відомі на момент розрахунку значення коефіцієнтів залишкового ресурсу відповідно по параметрах активного опору ізоляції обмоток фаз А, В і С; струму холостого ходу ЕД; віброприскорення лобових поверхонь ЕД;  $\cos(\varphi)$ ; віброшвидкості на корпусі ЕД; температури лобових поверхонь обмотки статора, перехідного опору та температури контактів борнів ЕД.

$p_{k1}, p_{k2}, p_{k3}, p_{k4}, p_{k5}, p_{k6}, p_{k7}, p_{k8}$  – ймовірності відхилень значень діагностичних параметрів від гранично допустимих нормованих значень з урахуванням загальної кількості відхилень всіх діагностичних параметрів для послідовної частини схеми. Так, відповідно до табл. 3.1:  $p_{k1}=0,25$  в.о.,  $p_{k2}=0,02$  в.о.,  $p_{k3}=0,09$  в.о.,  $p_{k4}=0,07$  в.о.,  $p_{k5}=0,34$  в.о.,  $p_{k6}=0,05$  в.о.,  $p_{k7}=0,07$  в.о.,  $p_{k8}=0,11$  в.о.

$$k_{\text{заг.рес}} = k_{k1}^{0,25} \cdot k_{k2}^{0,02} \cdot k_{k3}^{0,09} \cdot k_{k4}^{0,07} \cdot k_{k5}^{0,34} \cdot k_{k6}^{0,05} \cdot k_{k7}^{0,07} \cdot k_{k8}^{0,11}$$

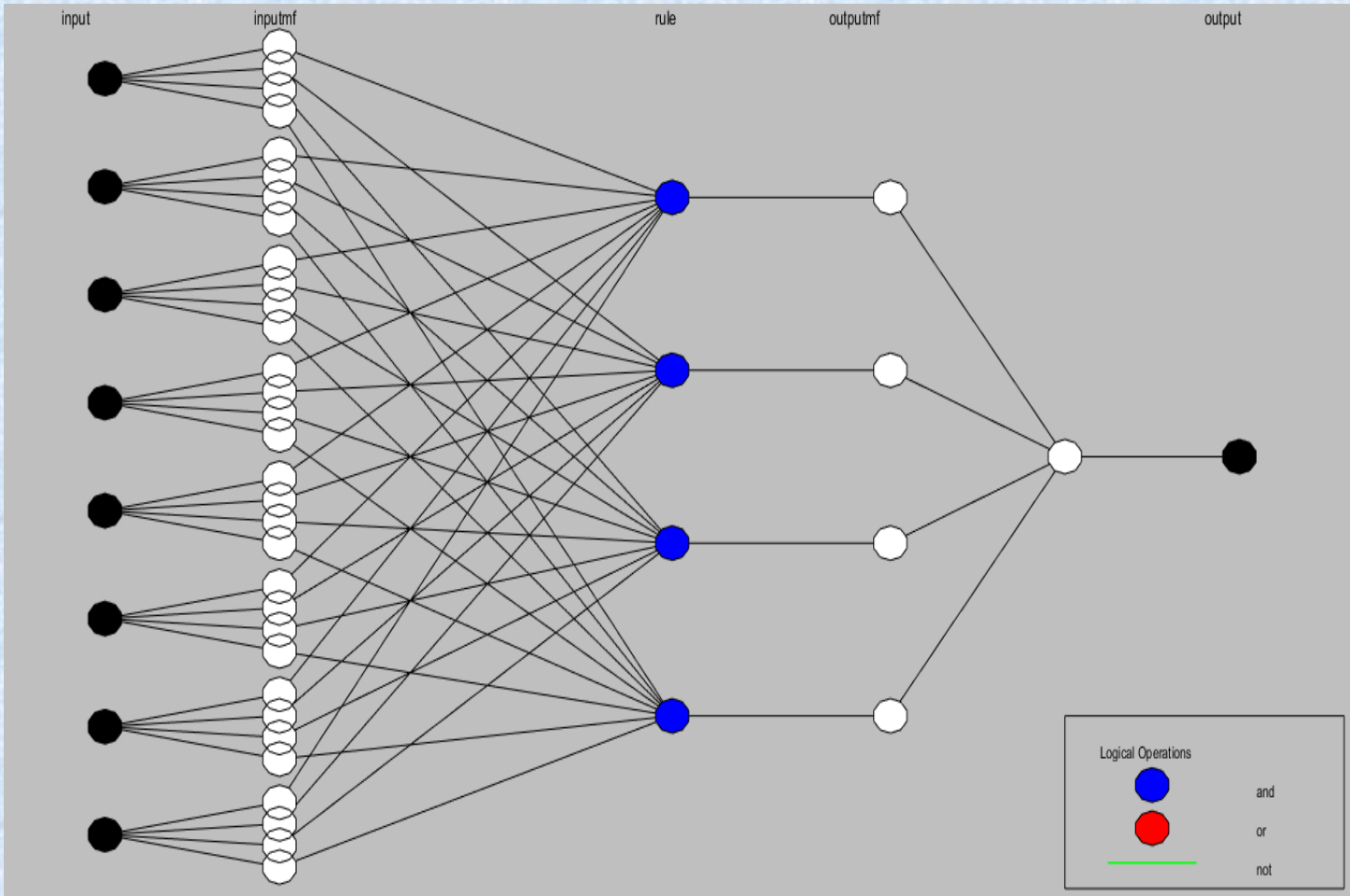


# Фрагмент скорегованих значень коефіцієнта залишкового ресурсу ЕД

Діагностичні параметри								Коефіцієнт залишкового ресурсу ЕД
$k_1$ , в.о.	$k_2$ , в.о.	$k_3$ , в.о.	$k_4$ , в.о.	$k_5$ , в.о.	$k_6$ , в.о.	$k_7$ , в.о.	$k_8$ , в.о.	
0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
0,9	0,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
0,2	0,2	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25
0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5
0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6
0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,55
0,9	0,1	0,1	0,1	1	1	1	0	0,
1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1	0
0	0,92	0,92	0,92	0,08	0,08	0,08	1	0
0	0,91	1	1	0	0	0	0	0
0,1	0,9	0,9	0,9	0,1	0,1	0,1	0,9	0,1
0,1	0,9	0,9	0,92	0,2	0,2	0,2	0,9	0,3
0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,45



# Структура отриманої нейро-мережі



# Математична модель коефіцієнта загального залишкового ресурсу ЕД

**ЯКЩО**  $k_1$  "нормальне"  $ТА k_2$  "нормальне"  $ТА k_3$  "нормальне"  $ТА k_4$  "нормальне"  $ТА k_5$  "нормальне"  $ТА k_6$  "нормальне"  $ТА k_7$  "нормальне"  $ТА k_8$  "нормальне" **ТО**

$$k_{\text{заг.зали.рес}} = 0,2172k_1 + 0,04879k_2 + 0,131k_3 + 0,1142k_4 + 0,2946k_5 + 0,06287k_6 + 0,05896k_7 + 0,1151k_8 - 0,03741$$

**ЯКЩО**  $k_1$  "незначне відхилення"  $ТА k_2$  "незначне відхилення"  $ТА k_3$  "незначне відхилення"  $ТА k_4$  "незначне відхилення"  $ТА k_5$  "незначне відхилення"  $ТА k_6$  "незначне відхилення"  $ТА k_7$  "незначне відхилення"  $ТА k_8$  "незначне відхилення" **ТО**

$$k_{\text{заг.зали.рес}} = -27,15k_1 + 7,036k_2 + 5,872k_3 + 7,036k_4 - 5,923k_5 + 11,83k_6 + 0,03566k_7 + 1,474k_8 + 1,474$$

**ЯКЩО**  $k_1$  "передаварійне"  $ТА k_2$  "передаварійне"  $ТА k_3$  "передаварійне"  $ТА k_4$  "передаварійне"  $ТА k_5$  "передаварійне"  $ТА k_6$  "передаварійне"  $ТА k_7$  "передаварійне"  $ТА k_8$  "передаварійне" **ТО**

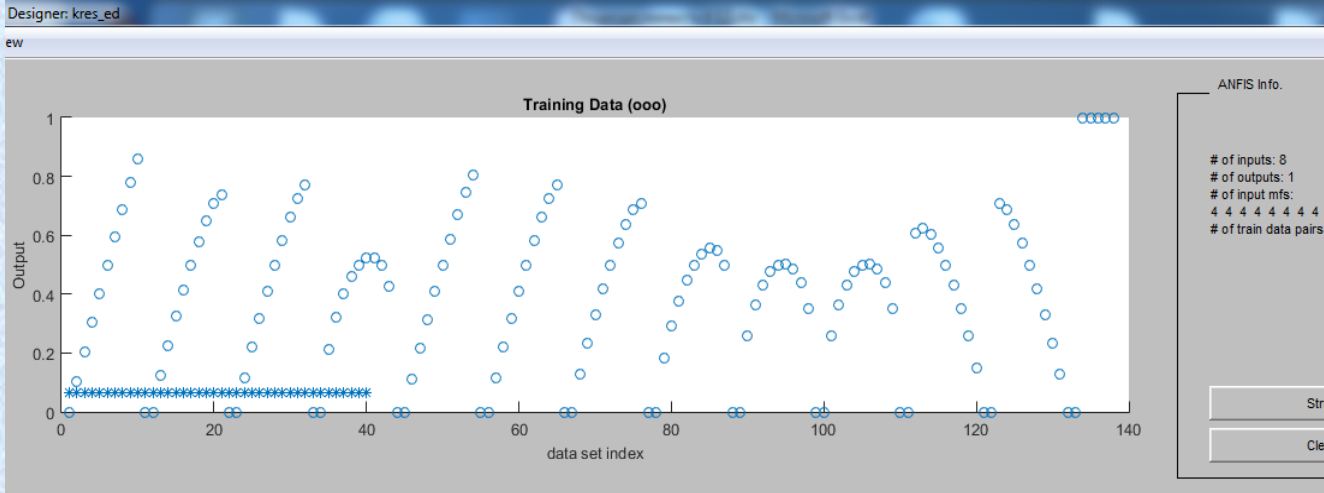
$$k_{\text{заг.зали.рес}} = 54,5k_1 - 6,146k_2 + 2,386k_3 - 2,329k_4 - 45,43k_5 + 45,52k_6 + 40k_7 + 6,662k_8 - 46,68$$

**ЯКЩО**  $k_1$  "аварійне"  $ТА k_2$  "аварійне"  $ТА k_3$  "аварійне"  $ТА k_4$  "аварійне"  $ТА k_5$  "аварійне"  $ТА k_6$  "аварійне"  $ТА k_7$  "аварійне"  $ТА k_8$  "аварійне" **ТО**

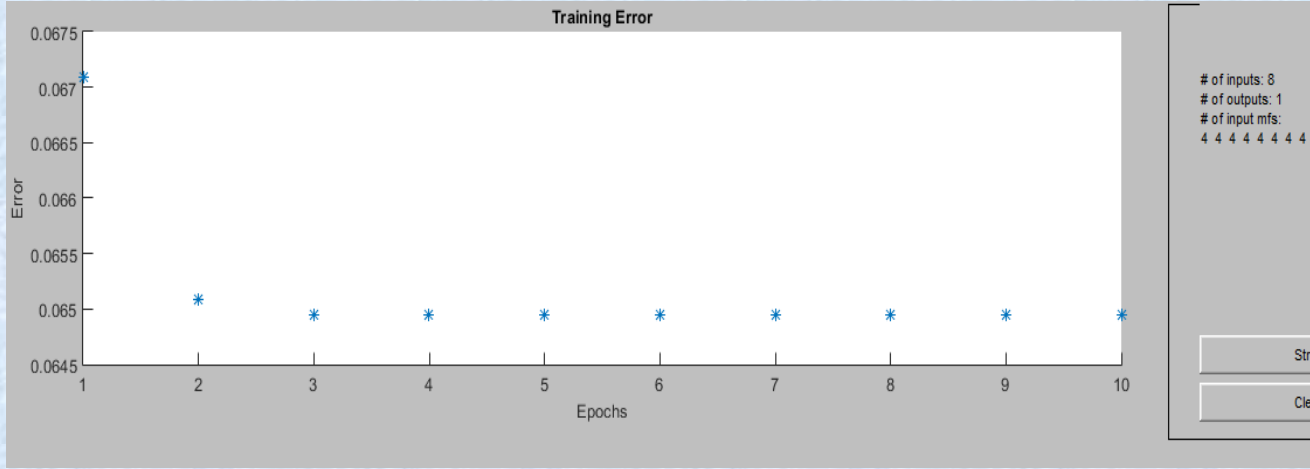
$$k_{\text{заг.зали.рес}} = 0,3998k_1 + 2,974k_2 - 0,3061k_3 + 0,53k_4 + 54,25k_5 - 52,65k_6 + 9,765k_7 - 6,547k_8 - 6,547$$

...

# Етапи комп'ютерного моделювання коефіцієнта залишкового ресурсу ЕД



Введення даних

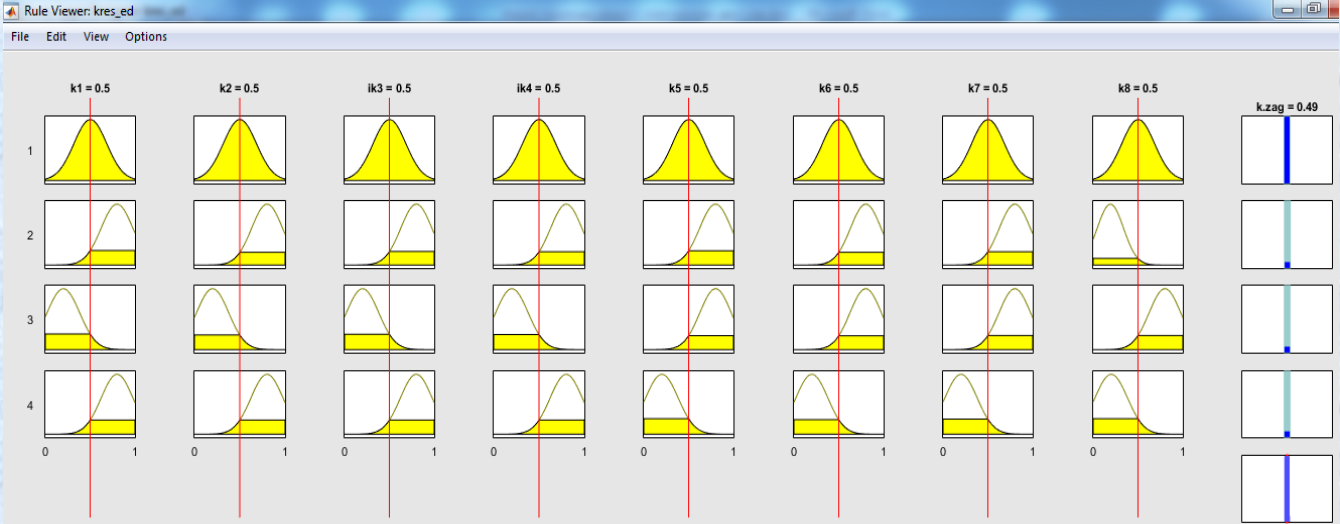


Навчання моделі

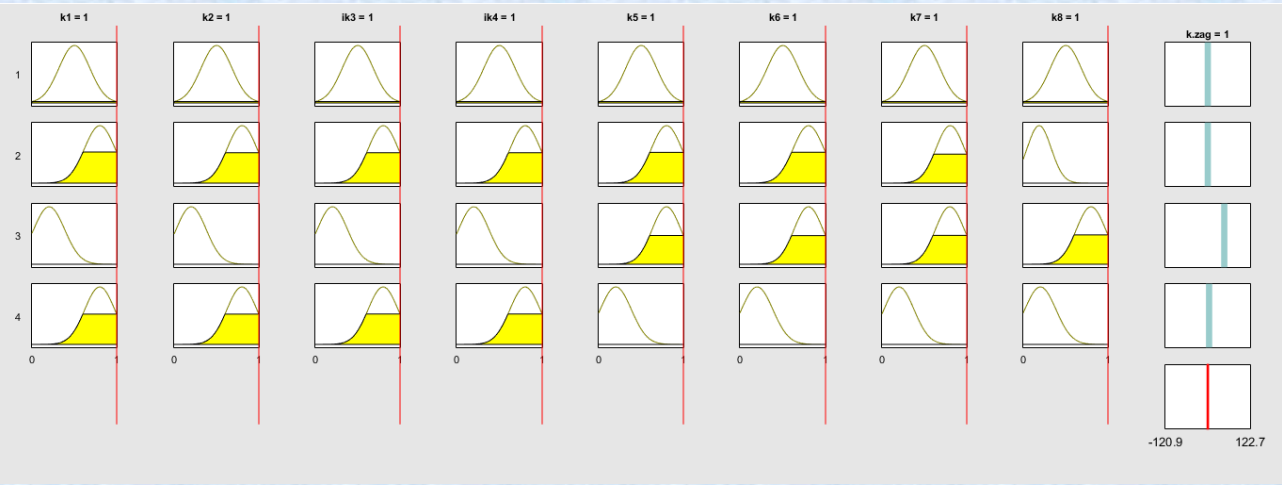
Похибка моделі

!error= 0.064942

# Визначення коефіцієнта залишкового ресурсу ЕД

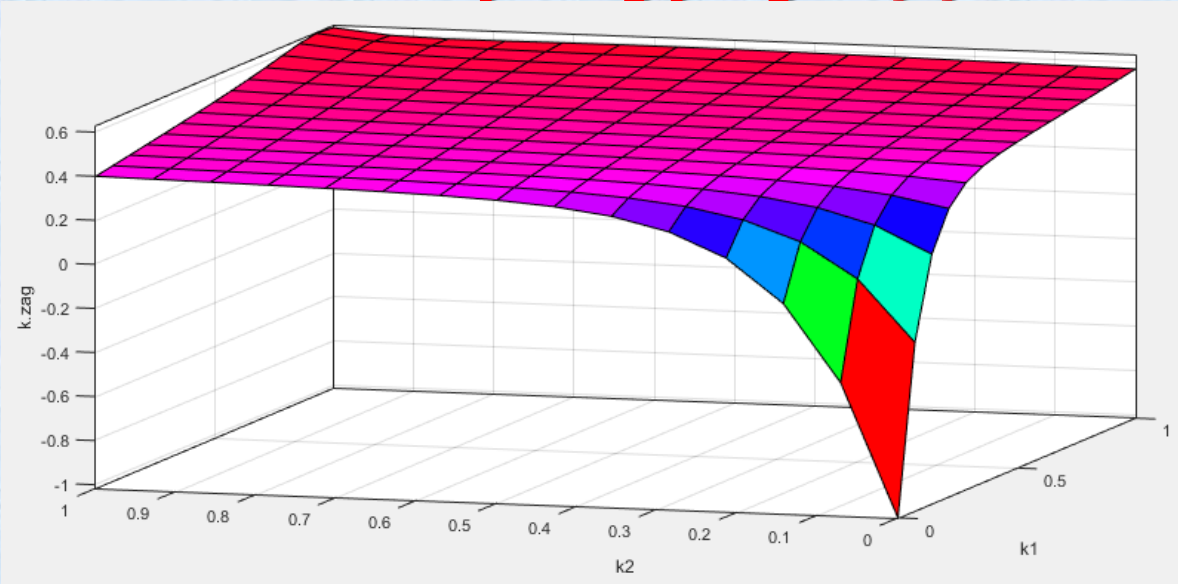


всі вхідні параметри 0.49 в.о

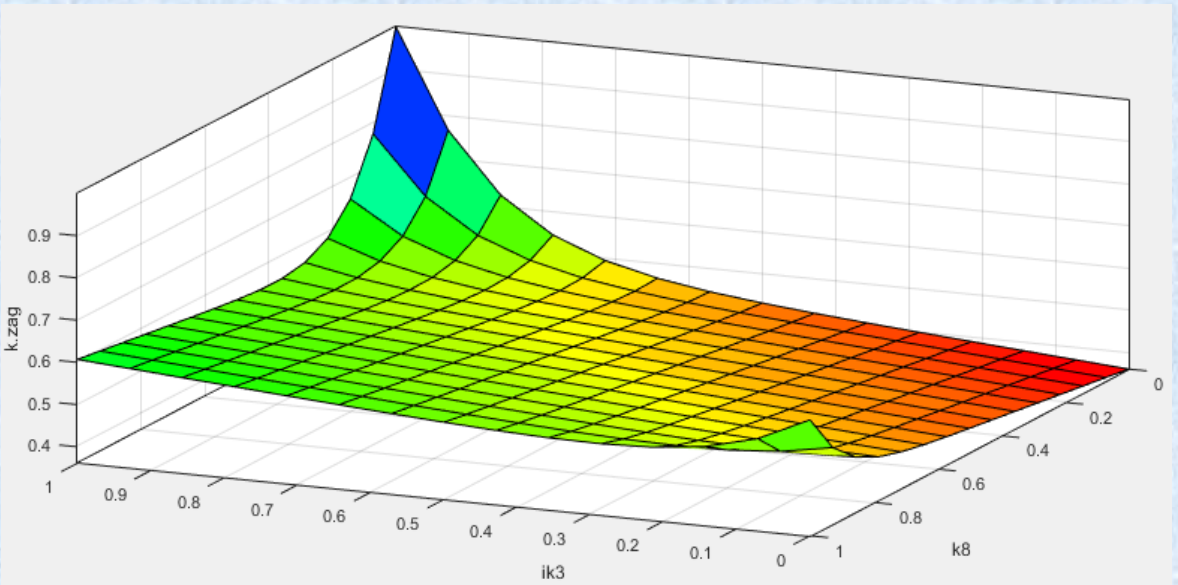


всі вхідні параметри 1 в.о

# Результати моделювання коефіцієнта залишкового ресурсу ЕД



Залежність коефіцієнта залишкового ресурсу ЕД від  $k_1$  та  $k_2$ .

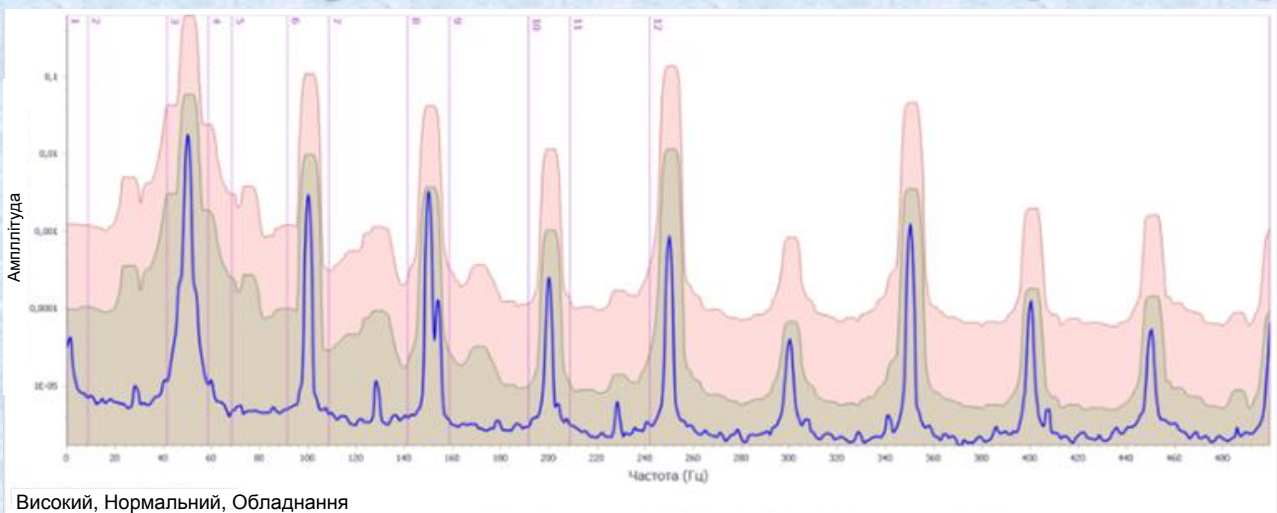


Залежність коефіцієнта залишкового ресурсу ЕД від  $k_3$  та  $k_8$ .

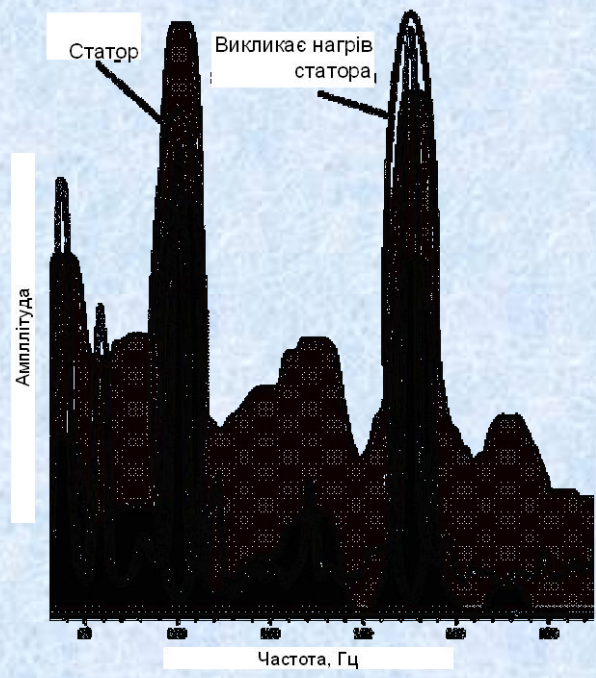
# Система автоматизованої інтелектуальної діагностики "САІД-МК"



# Амплітудно-частотні характеристики ЕД



Спектр  
справного  
електронасоса



Графічна модель стану ЕД  
«Наближення дефекту обмотки  
статора та її нагрів»

На основі аналізу особливостей експлуатації та конструкції потужних електричних двигунів доведено, що ці двигуни експлуатуються в тяжких умовах, а саме в умовах високих напруг 6000 або 10000 вольт, підвищеної вологості повітря машинної зали теплової електростанції (ТЕС), насосних, підвищених температур котельних приміщень, а таж в умовах частих перевантажень, пусків та зупинень.

Проведені дослідження причини пошкодження потужних двигунів, що експлуатуються на електричних станціях свідчать про те, що до таких причин відносяться перенапруги в колах живлення власних потреб електричних станцій (ЕС), висока вібрація привідних механізмів (кулькових млинів, транспортерів вугілля, дуттєвих вентиляторів і т. п.), струмові пускові перевантаження в умовах дії АПВ та інші;



# ВИСНОВКИ (продовження)

Розроблені математична та комп'ютерна моделі по визначенню коефіцієнта залишкового ресурсу електричного двигуна можуть бути застосовані під час поточного визначення часу виведення ЕД з експлуатації для ремонту або для утилізації;

Досліджені існуючі методи та засоби діагностування асинхронних електродвигунів свідчать про наявність методів та засобів як періодичного контролю, так і on-line моніторингу.

Результати розрахунку економічних показників вказують на доцільність впровадження мікропроцесорної системи діагностування електричних двигунів.

Впровадження на електричних станціях і підстанціях розглянутих заходів з безпечної експлуатації пристроїв діагностування електричних двигунів сприяє зменшенню електротравматизму, зменшує ризик задання шкоди організму людини.

**Дякую за увагу!**  
**Доповідь закінчена.**