

УДК 621.311

В.В. Літвінов, М.В. Костерев,
П.Л. Денисюк**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ПОПАРНОГО ПОРІВНЯННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНОСТІ СПОСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ В УМОВАХ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ****Вступ**

У сучасних режимах роботи енергосистем і потужних вузлів навантаження, коли більша частина електрообладнання експлуатується понад граничний термін експлуатації, зростає кількість аварій в енергосистемах та розподільчих мережах. У цих умовах гостро постає проблема надійної і стійкої роботи асинхронних двигунів (АД), які становлять до 80 % усього навантаження енергосистем [1]. При розв'язанні задачі вибору способів підвищення статичної стійкості вузлів навантаження енергосистеми виникає необхідність визначення послідовності їх застосування залежно від рівня зниження запасу статичної стійкості АД, що містяться у вузлі навантаження. Вибір оптимальної послідовності застосування основних способів підвищення статичної стійкості АД є визначальним з точки зору надійного функціонування вузлів навантаження енергосистеми в післяаварійних режимах.

В [1] авторами застосовано типову послідовність використання способів забезпечення статичної стійкості вузлів з АД. У [2, 3] запропоновано ряд методів визначення вагових коефіцієнтів для задач багатокритеріальної оптимізації. Особливий інтерес становить визначення і обґрунтування методу розв'язання задачі знаходження оптимальної послідовності способів підвищення запасу статичної стійкості асинхронних двигунів, чого в попередніх публікаціях не було зроблено.

У реальних умовах експлуатації вузлів навантаження енергосистем їх стійка робота забезпечується регулюванням рівнів напруги і перетоків реактивної потужності в електричних мережах. Порядок регулювання рівнів напруг у вузлах навантаження визначається типовими інструкціями з регулювання рівнів напруг і перетоків реактивної потужності. В цих інструкціях чітко визначено пріоритет обмежувального

регулювання напруги над оптимізаційним, особливо в післяаварійних режимах, але в той же час не визначено чіткої послідовності використання способів регулювання напруги залежно від рівня зниження запасу статичної стійкості споживачів електроенергії. Відсутність оптимальної послідовності використання способів регулювання напруги може призвести до порушення статичної стійкості відповідальних АД, особливо у важких післяаварійних режимах. Саме тому визначення оптимальної пріоритетності способів регулювання напруги у вузлах навантаження з огляду на підвищення запасу статичної стійкості АД є важливою задачею.

Постановка задачі

Мета статті – знаходження оптимального методу розрахунку вагових коефіцієнтів важливості критеріїв для задачі підвищення запасу статичної стійкості АД із врахуванням узгодженості оцінок кількох експертів та визначення пріоритетності використання способів підвищення запасу статичної стійкості АД у вузлах енергосистеми.

Матеріали і результати дослідження

Задача вибору оптимальної послідовності застосування способів належить до задач багатокритеріального вибору. Загальну постановку задачі багатокритеріальної оптимізації та її розв'язання за допомогою методу домінантності наведено в [2, 3]. При розв'язанні цієї задачі найбільшу складність викликає визначення важливості (ваги) оптимізаційних критеріїв. Існує ряд методів отримання вагових коефіцієнтів у задачах багатокритеріального вибору. Всі вони поділяються на групи залежно від способу обробки вихідної інформації (порівняння, апроксимації) та від виду вимірювань (первинних і похідних) [2].

При розв'язанні задач багатокритеріального вибору в електроенергетиці виникає складність проведення експертизи та трудомісткість отримання вихідної експертної інформації, яка часто є неповною та протирічливою. У цих об'єктивно існуючих умовах доцільно вибрати ті методи, які потребують найменшого часу спілкування з експертами. Цій умові найповніше відповідає група методів попарного порівняння з обробкою інформації в первинних шкалах [2]. До цієї групи методів визначення вагових коефіцієнтів належать методи Уея [4], Саати [5] та Коггера і Ю [6].

Алгоритм методу Уея

1. Складають матрицю власних векторів

Уея $A = \| \| a_{i,j} \| \|$, $a_{i,j} = \{-1, 0, 1\}$:

$a_{i,j} = 1$, якщо X_i є кращим за X_j ;

$a_{i,j} = 0$, якщо X_i і X_j рівноцінні;

$a_{i,j} = -1$, якщо X_j є кращим за X_i .

2. Перетворюють матрицю власних векторів у невід'ємну матрицю:

$$A^+ = \| \| a_{i,j}^+ \| \|, a_{i,j}^+ = \{0, 1, 2\};$$

$$a_{i,j}^+ = a_{i,j} + 1.$$

3. Визначають вагові коефіцієнти важливості критеріїв:

$$\lambda_{i,j} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{i,j}^+}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{i,j}^+}.$$

Алгоритм методу Сааті

1. Складають матрицю попарних порівнянь Сааті

$$A = \| \| \lambda_i / \lambda_j \| \|, i, j = 1.$$

2. Складають систему рівнянь

$$(A - nE)\bar{\Lambda} = 0,$$

де E – одинична матриця; $\bar{\Lambda}$ – шуканий вектор вагових коефіцієнтів.

3. Замінюють одне з рівнянь отриманої системи умовою нормування $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$, де λ – інтенсивність відносної важливості критеріїв згідно з табл. 1, та розв'язують систему рівнянь відносно вектора $\bar{\Lambda}$.

Алгоритм методу Коггера і Ю

1. Складають систему рівнянь

$$D^{-1}T\bar{\Lambda} = \bar{\Lambda},$$

де

$$T = \| \| t_{i,j} \| \|, \text{якщо } j \geq i;$$

$$T = 0, \text{якщо } j < i;$$

$$D = \| \| d_j \| \|,$$

де

$$d_j = n - i + 1, \text{якщо } j = i;$$

$$d_j = 0, \text{якщо } j \neq i.$$

2. Останнє рівняння системи замінюють умовою нормування $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ та розв'язують

систему рівнянь відносно вектора $\bar{\Lambda}$.

Алгоритми методів попарного порівняння схожі, але наявність відмінностей між ними може дати різні вагові коефіцієнти важливості критеріїв вибору способів підвищення статичної стійкості АД, що, в свою чергу, може призвести до отримання невірної результату. Невірний і необгрунтований вибір методу робить недостатньою обгрунтованість операцій над малодостовірними експертними даними та спонукає до отримання неоптимальної пріоритетності способів [2]. Іншою проблемою є ступінь узгодженості оцінок експертів. У методах попарного порівняння експерт висловлює свою думку про співвідношення важливості всіх можливих пар критеріїв у вигляді інтенсивності відносної важливості, яка кількісно визначається за допомогою шкали відносної важливості (табл. 1).

Таблиця 1. Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	Рівноцінність критеріїв
3	Помірна перевага одного критерію над іншим
5	Істотна перевага одного критерію над іншим
7	Очевидна перевага одного критерію над іншим
9	Абсолютна перевага одного критерію над іншим
2, 4, 6, 8	Проміжні рішення між двома оцінками

Відносний ступінь переваги (домінування) одного критерію над іншим задає експерт на основі своїх знань про реальні процеси, які відбуваються у вузлах енергосистеми з АД, тобто ця кількісна оцінка має суб'єктивний характер. Таким чином, вектор вагових коефіцієнтів буде залежати від кількості експертів і рівня їхньої досвідченості та кваліфікації.

Розглянемо типовий вузол навантаження енергосистеми, який містить у собі групу потужних асинхронних та синхронних двигунів (СД), конденсаторну батарею та нелінійне статичне навантаження. Вузол навантаження зв'язаний з

енергосистемою через трансформатор з пристроєм РПН. У цьому випадку множина X способів підвищення статичної стійкості АД складається з $n = 4$ можливих способів:

X1 – регулювання коефіцієнта трансформації трансформатора;

X2 – регулювання струму збудження СД;

X3 – регулювання реактивної потужності за допомогою конденсаторної батареї;

X4 – відключення невідповідального статичного навантаження.

Множина альтернативних критеріїв вибору оптимального варіанта R набуває такого вигляду при $m = 4$:

R1 – надійність способу;

R2 – швидкодія способу;

R3 – економічність способу;

R4 – мінімізація ризику порушення технологічного процесу.

Для цього набору критеріїв отримано інтенсивності попарного домінування від трьох різних експертів (табл. 2).

З отриманих даних видно, що домінування одного критерію над іншим є очевидним і збігається для всіх критеріїв у всіх експертів, але інтенсивність домінування істотно відрізняється і виражає суб'єктивні знання та суб'єктивну думку окремого експерта. На основі цих даних визначено вагові коефіцієнти важливості критеріїв вибору оптимальної послідовності застосованих способів підвищення статичної стійкості АД за трьома методами попарного порівняння.

Розрахунок вектора вагових коефіцієнтів за даними експерта № 1 за методом Уея. Складаємо матрицю A :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Виконуємо перетворення матриці A у додатну матрицю:

$$A^+ = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Визначаємо вагові коефіцієнти важливості критеріїв:

$$\omega_1 = \frac{\sum_{j=1}^4 a_{1j}^+}{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 a_{ij}^+} = 0,1875, \omega_2 = \frac{\sum_{j=1}^4 a_{2j}^+}{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 a_{ij}^+} = 0,3125,$$

$$\omega_3 = \frac{\sum_{j=1}^4 a_{3j}^+}{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 a_{ij}^+} = 0,0625, \omega_4 = \frac{\sum_{j=1}^4 a_{4j}^+}{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 a_{ij}^+} = 0,4375.$$

Розрахунок вектора вагових коефіцієнтів за даними експерта № 1 за методом Сааті. Складаємо матрицю Сааті, користуючись даними табл. 2:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & 6 & \frac{1}{5} \\ 2 & 1 & 4 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{8} \\ 5 & 3 & 8 & 1 \end{bmatrix}$$

Знаходимо власне значення матриці λ . Визначник матриці $A - \lambda E$ становить

$$\lambda^4 - 4\lambda^3 - 3,55\lambda - 0,122 = 0 \Rightarrow \lambda = 4,406.$$

Складаємо систему рівнянь Сааті, замінивши одне з рівнянь умовою нормування:

Таблиця 2. Інтенсивності домінування критеріїв вибору оптимальної послідовності застосування способів забезпечення статичної стійкості АД

Експерт № 1		Експерт № 2		Експерт № 3	
Домінування	Інтенсивність	Домінування	Інтенсивність	Домінування	Інтенсивність
$R1 \succ R3$	6	$R1 \succ R3$	3	$R1 \succ R3$	6
$R2 \succ R1$	2	$R2 \succ R1$	4	$R2 \succ R1$	2
$R2 \succ R3$	4	$R2 \succ R3$	5	$R2 \succ R3$	3
$R4 \succ R1$	5	$R4 \succ R1$	6	$R4 \succ R1$	4
$R4 \succ R2$	3	$R4 \succ R2$	2	$R4 \succ R2$	5
$R4 \succ R3$	8	$R4 \succ R3$	7	$R4 \succ R3$	5

$$\begin{cases} -3,4059\omega_1 + 0,5\omega_2 + 6\omega_3 + 0,2\omega_4 = 0, \\ 2\omega_1 - 3,4059\omega_2 + 4\omega_3 + 0,333\omega_4 = 0, \\ 0,166\omega_1 + 0,25\omega_2 - 3,4059\omega_3 + 0,125\omega_4 = 0, \\ \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 = 1. \end{cases}$$

Ця система має єдиний розв'язок, який і є вектором вагових коефіцієнтів важливості критеріїв: $\omega_1 = 0,142$; $\omega_2 = 0,196$; $\omega_3 = 0,044$; $\omega_4 = 0,618$.

Розрахунок вектора вагових коефіцієнтів за даними експерта № 1 за методом Коггера і Ю. Складаємо матриці D і T :

$$D = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad T = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & 6 & \frac{1}{5} \\ 0 & 1 & 4 & \frac{1}{3} \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1}{8} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Складаємо систему рівнянь Коггера і Ю, замінивши одне з рівнянь умовою нормування:

$$\begin{cases} -0,75\omega_1 + 0,125\omega_2 + 1,5\omega_3 + 0,05\omega_4 = 0, \\ -0,667\omega_2 + 1,333\omega_3 + 0,111\omega_4 = 0, \\ -0,5\omega_3 + 0,0625\omega_4 = 0, \\ \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 = 1. \end{cases}$$

Ця система має єдиний розв'язок, який і є вектором вагових коефіцієнтів важливості критеріїв: $\omega_1 = 0,2003$; $\omega_2 = 0,2159$; $\omega_3 = 0,0649$; $\omega_4 = 0,5189$.

Аналогічно розраховано за трьома методами вагові коефіцієнти важливості критеріїв вибору оптимальної послідовності застосування способів підвищення запасу статичної стійкості АД для оцінок двох інших експертів. Отримані результати зведено в табл. 3.

Отримані результати свідчать про те, що значення вагових коефіцієнтів дуже залежать як від вибору методу обчислення вагових коефіцієнтів, так і від суб'єктивної кількісної оцінки відносної важливості одного критерію до іншого. В той же час, загальне співвідношення коефіцієнтів у восьми з дев'яти випадків залишається незмінним. Це дає можливість зробити висновок про низький ступінь узгодженості думок експерта № 3 та експертів № 1 і № 2.

Особливий інтерес становить безпосереднє визначення послідовності використання способів підвищення запасу статичної стійкості АД для всіх отриманих векторів вагових коефіцієнтів важливості та порівняльний аналіз отриманих результатів. Оптимальну послідовність способів підвищення запасу статичної стійкості АД було отримано за допомогою методу домінантності [2, 3]. Отримані пріоритетності використання способів підвищення запасу статичної стійкості асинхронних двигунів для всіх дев'яти розрахованих векторів вагових коефіцієнтів важливості оптимізаційних критеріїв зведені в табл. 4.

Таблиця 3. Порівняння методів визначення вагових коефіцієнтів

Метод	Вагові коефіцієнти важливості		
	Експерт № 1	Експерт № 2	Експерт № 3
Коггера і Ю	$\omega_1 = 0,2003$, $\omega_2 = 0,2159$, $\omega_3 = 0,0649$, $\omega_4 = 0,5189$, $\omega_4 > \omega_2 > \omega_1 > \omega_3$	$\omega_1 = 0,1246$, $\omega_2 = 0,3037$, $\omega_3 = 0,0715$, $\omega_4 = 0,5003$, $\omega_4 > \omega_2 > \omega_1 > \omega_3$	$\omega_1 = 0,2243$, $\omega_2 = 0,1673$, $\omega_3 = 0,076$, $\omega_4 = 0,5324$, $\omega_4 > \omega_1 > \omega_2 > \omega_3$
Саати	$\omega_1 = 0,142$, $\omega_2 = 0,196$, $\omega_3 = 0,044$, $\omega_4 = 0,618$, $\omega_4 > \omega_2 > \omega_1 > \omega_3$	$\omega_1 = 0,093$, $\omega_2 = 0,27$, $\omega_3 = 0,0499$, $\omega_4 = 0,588$, $\omega_4 > \omega_2 > \omega_1 > \omega_3$	$\omega_1 = 0,168$, $\omega_2 = 0,185$, $\omega_3 = 0,053$, $\omega_4 = 0,594$, $\omega_4 > \omega_2 > \omega_1 > \omega_3$
Уея	$\omega_1 = 0,1875$, $\omega_2 = 0,3125$, $\omega_3 = 0,0625$, $\omega_4 = 0,4375$, $\omega_4 > \omega_2 > \omega_1 > \omega_3$	$\omega_1 = 0,1875$, $\omega_2 = 0,3125$, $\omega_3 = 0,0625$, $\omega_4 = 0,4375$, $\omega_4 > \omega_2 > \omega_1 > \omega_3$	$\omega_1 = 0,1875$, $\omega_2 = 0,3125$, $\omega_3 = 0,0625$, $\omega_4 = 0,4375$, $\omega_4 > \omega_2 > \omega_1 > \omega_3$

Таблиця 4. Порівняння результатів багатокритеріальної оптимізації способів підвищення статичної стійкості вузлів з асинхронним навантаженням

Метод	Порівняння результатів оптимізації		
	Експерт № 1	Експерт № 2	Експерт № 3
Коггера і Ю	$X_3 > X_2 > X_1 > X_4$	$X_2 > X_3 > X_1 > X_4$	$X_3 > X_2 > X_1 > X_4$
Сааті	$X_3 > X_2 > X_1 > X_4$	$X_3 > X_2 > X_1 > X_4$	$X_3 > X_2 > X_1 > X_4$
Уея	$X_2 > X_3 > X_1 > X_4$	$X_2 > X_3 > X_1 > X_4$	$X_2 > X_3 > X_1 > X_4$

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити такі висновки.

1. Оскільки метод Уея потребує найменшого часу спілкування з експертами і вимагає від них по суті тільки якісну оцінку переваги одного критерію над іншим {краще – “+1”, гірше – “-1”, рівноцінно – “0”}, то отриманий результат суперечить результатам, отриманим при розв’язанні оптимізаційної задачі за даними двох інших методів визначення вагових коефіцієнтів. Згідно з отриманим за методом Уея результатом рекомендація з послідовності застосування засобів забезпечення статичної стійкості асинхронних двигунів має такий вигляд:

- 1) регулювання струму збудження СД (X_2);
- 2) регулювання реактивної потужності за допомогою конденсаторної батареї (X_3);
- 3) регулювання коефіцієнта трансформації трансформатора (X_1);
- 4) відключення невідповідального статичного навантаження (X_4);

Способи X_2 і X_3 близькі один до одного, оскільки вони є форсуванням реактивної потужності у вузлі навантаження. Кожен із цих способів має свої відомі переваги та недоліки, і пріоритетність використання одного з них за наявності в одному вузлі навантаження як СД, так і конденсаторних батарей визначається місцевими умовами, робочими параметрами обладнання та його технічним станом. В отриманому результаті проявляється основний недолік методу Уея – неврахування важливості рівноцінних порівнянь.

2. Результати багатокритеріальної оптимізації за методами Сааті та Коггера і Ю збігаються для даних двох із трьох експертів. Рекомендована послідовність застосування засобів забезпечення статичної стійкості АД виглядає так:

- 1) регулювання реактивної потужності за допомогою конденсаторної батареї (X_3);

2) регулювання струму збудження СД (X_2);

3) регулювання коефіцієнта трансформації трансформатора (X_1);

4) відключення невідповідального статичного навантаження (X_4).

Оскільки методи Сааті та Коггера і Ю використовують однакову шкалу відносної важливості критеріїв, більш точну, ніж якісна трибальна шкала Уея, то отриманий результат слід вважати більш достовірним, ніж той, що було одержано за попереднім методом.

3. Послідовність способів, отримана за методом Сааті, є однаковою для всіх трьох експертів. Послідовність способів, одержана за методом Коггера і Ю для експерта № 2, відрізняється від послідовностей способів для експертів № 1 та № 3 і подібна до послідовності, визначеної за методом Уея. До того ж, якщо повернутись до векторів вагових коефіцієнтів, отриманих за методом Коггера і Ю, видно, що співвідношення вагових коефіцієнтів ω_i теж відрізняється для різних експертів, але відмінності мають інший характер: співвідношення коефіцієнтів збігається для експертів № 1 та № 2 і відрізняється для експерта № 3. Оскільки на ступінь узгодженості експертів впливає вибраний метод оцінювання ваги [2], можна зробити висновок про те, що метод Сааті має вищу ступінь узгодженості оцінок експертів для даної задачі, ніж метод Коггера і Ю.

Висновки

1. Оптимальна послідовність використання способів підвищення статичної стійкості вузла навантаження енергосистеми з асинхронними двигунами, що визначена в статті за допомогою методу багатокритеріальної оптимізації, має такий вигляд:

- збільшення генерації реактивної потужності у вузлі;

- зміна коефіцієнта трансформації трансформатора;
- відключення невідповідального навантаження.

2. Використання методів попарного порівняння дає можливість отримати обґрунтовану оптимальну послідовність способів забезпечення статичної стійкості вузла навантаження

енергосистеми в умовах складності проведення експертизи критеріїв оцінювання та мінімальної кількості експертної інформації. Найкращим із розглянутих методів для розв'язання поставленої задачі є метод Сааті, який не потребує тривалого часу спілкування з експертами та має високий ступінь узгодженості оцінок для різних експертів.

В.В. Литвинов, Н.В. Костерев, П.Л. Денисюк

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОПАРНОГО СРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТНОСТИ СПОСОБОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА

Проведен сравнительный анализ методов Уэя, Саати, Коггера и Ю для определения весовых коэффициентов важности оптимизационных критериев в задаче получения оптимальной последовательности применения основных способов повышения статической устойчивости асинхронных двигателей. Сравнительным анализом показано, что оптимальным методом для решения этой задачи является метод парных сравнений Саати.

V.V. Litvinov, M.V. Kosterev, P.L. Denisiouk

USING PAIR-WISE COMPARISON METHODS FOR DETERMINING THE PRIORITY OF METHODS FOR PROVIDING STATIC STABILITY OF INDUCTION MOTORS UNDER CONDITIONS OF MULTICRITERION CHOICE

In this paper, we compare Way, Saaty, Cogger & Yu methods to determine the weight coefficients of optimization criteria importance in the problem of obtaining the optimal sequence of using the main methods of increasing the static stability of induction motors. Finally, our research results show that Saaty method is the optimal method for solving this problem.

1. *Литвинов В.В., Костерев Н.В., Денисюк П.Л.* Модель фаззи-контроллера для обеспечения статической устойчивости промышленного узла нагрузки энергосистемы // Зб. наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер. Електротехніка і енергетика. – Донецьк: ДВНЗ “ДонНТУ”, 2008. – Вип. 8 (140). – С. 51–54.
2. *Домарев В.В.* Безопасность информационных технологий. Системный подход. – К.: ООО ТИД “Диасофт”, 2004. – 318 с.
3. *Хоменюк В.В.* Элементы теории многокритериальной оптимизации. – М.: Наука, 1983. – 360 с.
4. *Wei T.H.* The algebraic foundations of ranking theory Theses. – Cambridge, 1952.
5. *Saaty T.L.* Eigenweightor an logarithmic lease squares // Eur. J. Oper. Res. – 1990. – **48**, N 1. – P. 156–160.
6. *Cogger K.O., Yu P.L.* Eigenweight vector and least-distance approximation // J. Optimize. Theory. – 1985. – **46**, N 4. – P. 483–491.

Рекомендована Радою факультету електроенерготехніки та автоматики НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
29 січня 2010 року