

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРАХУНКІВ УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ШЛЯХОМ СУМІСНОГО ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКАЦІЙ МЕТОДУ НЬЮТОНА

Володимир Кулик (Україна, м. Вінниця)

Функціонування будь-якої системи управління НР ЕС неможливе без проведення значної кількості розрахунків НР ЕС з метою забезпечення необхідного обсягу інформації про стан ЕС, одержання та моделювання керуючих впливів тощо. Тобто надійність та ефективність функціонування систем управління, а надто САК ЕС не може бути досягнута без існування методів, здатних забезпечити виконання аналізу НР ЕС в темпі процесу без втрати надійності отримання розв'язку, оскільки надійність математичних моделей та швидкодія методів розрахунку НР ЕС, що використовуються, визначають ефективність отримання та впровадження керуючих дій [1].

Найбільш поширеним серед математичних методів розрахунку НР ЕС, що застосовуються в межах АСДУ, є методи Ньютон першого порядку. Для математичної моделі НР ЕС з використанням методу вузлових напруг, який є найбільш раціональним для проведення подібних розрахунків [2] лінеаризована система рівнянь може бути подана таким чином:

$$\frac{\partial F}{\partial U} \left(U^{(k)}, U''^{(k)} \right) \cdot \begin{vmatrix} \Delta U''^{(k)} \\ \Delta U'^{(k)} \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} F' \left(U^{(k)}, U''^{(k)} \right) \\ F'' \left(U^{(k)}, U''^{(k)} \right) \end{vmatrix}; \quad (1)$$

де $\frac{\partial F}{\partial U} \left(U^{(k)}, U''^{(k)} \right)$ - матриця коефіцієнтів Якобі з урахуванням значень вузлових напруг; $\Delta U'^{(k)}$, $\Delta U''^{(k)}$ - поправки до відповідних складових напруг вузлів на k-й ітерації; F' , F'' - дійсна та уявна складові значень небалансів струмів на k-й ітерації.

Алгоритми, що використовують дані методи, маючи у своєму складі різноманітні засоби підвищення надійності та ефективності одержання рішення, дають можливість отримати доволі швидко та надійну квадратичну збіжність процесу розрахунку, але за деяких умов не задовольняють вимогам та обмеженням, які накладаються на використання при автоматичному аналізі НР ЕС.

Найбільш відомими модифікаціями методу Ньютона першого порядку є модифікований та звичайний методи. Їх відмінність полягає в тому, що в першому з них створена один раз матриця Якобі використовується впродовж всього ітераційного процесу одержання рішення, а в другому матриця Якобі перераховується на кожному крокові ітераційного процесу [2].

Порівняно недавно в практиці роботи АСДУ знайшли використання методи Ньютона другого порядку. Це пов'язано з одного боку зі збільшенням складності ЕС як об'єкта керування і відповідно, зростанням вимог до надійності розрахунків НР ЕС, а з іншого – підвищенням потужності обчислювальної техніки, що використовується для реалізації АСДУ [3].

Сутність цих методів полягає у вирішенні на кожному крокові ітераційного процесу такої системи рівнянь [3]:

$$\frac{\partial F}{\partial U} \left(U^{(k)}, U''^{(k)} \right) \cdot \begin{vmatrix} \Delta U''^{(k)} \\ \Delta U'^{(k)} \end{vmatrix} + \left[\frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial U \partial U} \left(U^{(k)}, U''^{(k)} \right) \cdot \begin{vmatrix} \Delta U''_d \\ \Delta U'_d \end{vmatrix} \right] \times \begin{vmatrix} \Delta U''^{(k)} \\ \Delta U'^{(k)} \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} F' \left(U^{(k)}, U''^{(k)} \right) \\ F'' \left(U^{(k)}, U''^{(k)} \right) \end{vmatrix}; \quad (2)$$

де $\frac{\partial^2 F}{\partial U \partial U} \left(U^{(k)}, U''^{(k)} \right)$ - матриця Гессе; $\Delta U'_d, \Delta U''_d$ – допоміжні значення поправок до значень вузлових напруг.

За рахунок останнього за певних умов підвищується надійність одержання результатів розрахунку НР ЕС, але збільшується кількість обчислень на кожному крокові ітераційного процесу [4,5].

Метод Ньютона другого порядку має дві базові модифікації, що виходять з методики одержання $\Delta U'_d, \Delta U''_d$, необхідних для організації ітераційної процедури одержання рішення. Одержання даних допоміжних значень може здійснюватись шляхом використання відповідної інформації, одержаної на попередньому крокові наближення (початкових наближень), або шляхом використання додаткової процедури розв'язання допоміжної системи лінеаризованих рівнянь [3].

Перший метод характеризується незначним збільшенням кількості обчислювальних операцій на кожному крокові ітераційного процесу в порівнянні з методом Ньютона першого порядку, але має більшу ефективність за рахунок використання квазіквадратичної апроксимації вхідної моделі НР ЕС.

Другий метод потребує додаткових розрахунків, що мають за мету лінеаризацію системи квадратичних рівнянь, необхідних для отримання $\Delta U'_{д}$, $\Delta U''_{д}$. Дана операція здійснюється, наприклад, за допомогою будь-якої з модифікацій методу Ньютона. Така методика більш ефективна за попередню з точки зору точності апроксимації вхідної моделі і, таким чином, надійності одержання розв'язку [3].

Для порівняння ефективності ітераційного процесу розрахунків НР ЕС та кількості обчислювальних операцій на кожному крокові ітераційного процесу було використано базові модифікації методу Ньютона першого та другого порядків без додаткових засобів прискорення збіжності. Використовуючи математичні методи підрахунку вмісту обчислювальних операцій та оцінки ефективності ітераційних методів, а також результати обчислювального експерименту [3,4] було встановлено співвідношення модифікацій методу Ньютона стосовно кількості обчислювальних операцій на кожному крокові ітераційного процесу, та надійності отримання розв'язку, подане у вигляді рис. 1.

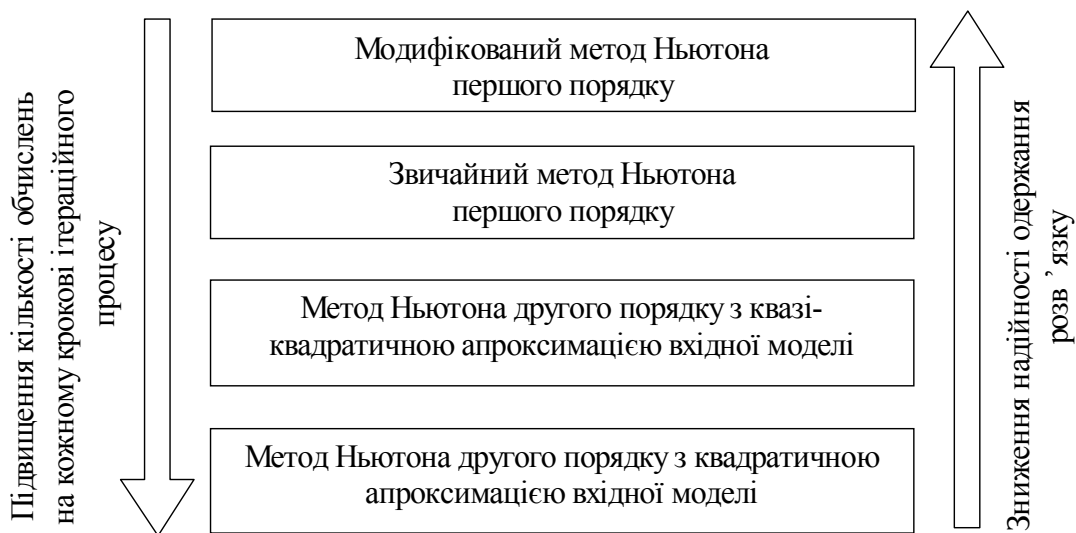


Рис. 1. Співвідношення модифікацій методу Ньютона

Таким чином одним із способів підвищення ефективності аналізу НР ЕС у межах САК бачиться сумісне застосування розглянутих методів, з метою найбільш повного використання переваг кожного з них та зниження впливу недоліків методів на процес одержання розв'язку [3]. У відповідності з цим модуль аналізу НР ЕС оснащується блоком узгодження і корекції даних (БУКД), який повинен задіяти перелічені модифікації методу Ньютона з забезпеченням найбільшої ефективності одержання кінцевого результату (рис.2).

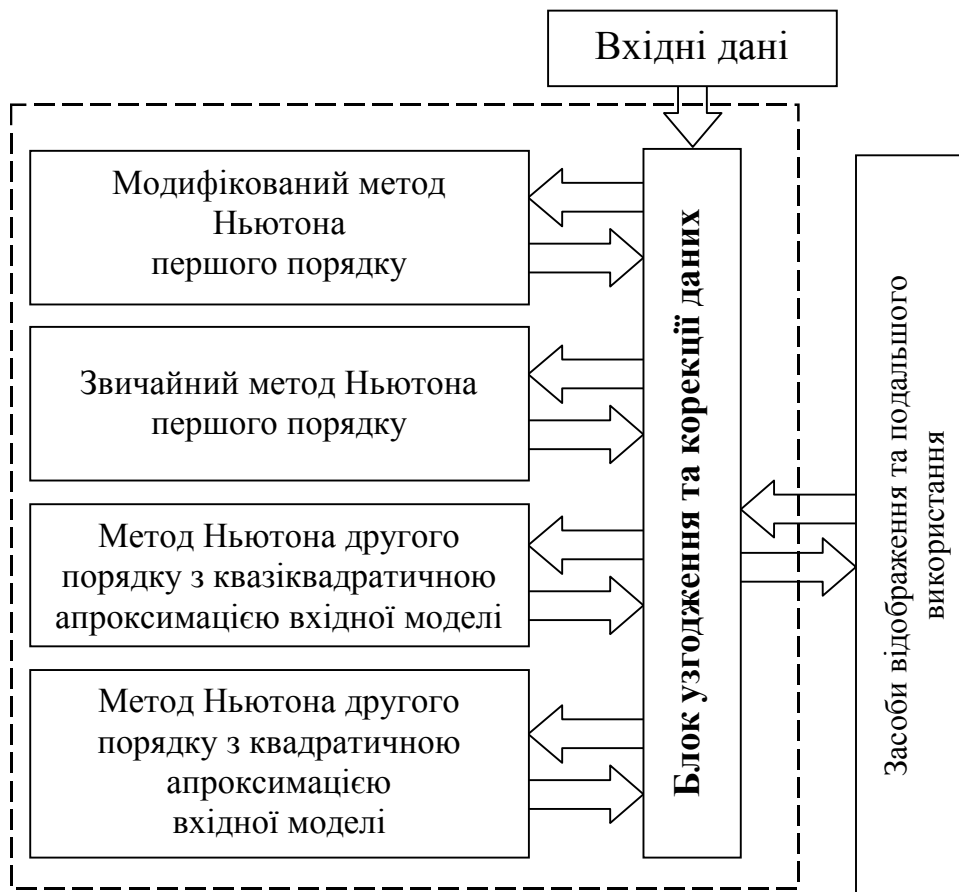


Рис.2. Модуль аналізу НР ЕС

Блок узгодження та корекції даних виконує такі функції:

1. Формування математичної моделі НР ЕС з використанням методу вузлових напруг [2] на основі вхідних даних, які отримуються з бази даних оперативно-інформаційного комплексу, та визначення початкових наближень;

2. Оцінка проходження ітераційного процесу розрахунку НР ЕС з обранням найбільш ефективного для даних розрахункових умов обчислювального методу розрахунку НР ЕС.

Особливий інтерес викликає друга функція, оскільки її реалізація вимагає визначення критеріїв ефективної збіжності та розбіжності ітераційного процесу з використанням даних поточного та попередніх кроків наближення, коли процес ще не завершився і необхідна точність розв'язку не досягнута.

Враховуючи склад наявної інформації на кожному крокові ітераційного процесу, якісна оцінка його проходження здійснюється шляхом порівняння значень деяких характерних параметрів на поточному крокові з їх значеннями на попередніх кроках.

Для визначення критеріїв переходу з однієї модифікації методу Ньютона на іншу необхідно встановити критерії ефективності збіжно-

сті та розбіжності ітераційного процесу. Одним з характерних параметрів даного процесу за методом Ньютона є значення визначника матриці Якобі (якобіана). Перевагами даного параметра є те, що за його значенням на будь-якому крокові ітераційного процесу можна майже однозначно встановити характер процесу і, якщо процес збігається, то значення якобіана монотонно наближується до значення визначника матриці вузлових провідностей, навіть якщо інші характерні параметри процесу, як то поправки напруг $\Delta U^{(k)}$, $\Delta U''^{(k)}$, та небаланси струмів F' , F'' можуть коливатись. Таким чином встановивши деякі зони ефективної збіжності є можливість контролювати наближення процесу до кінцевої фази.

Використовуючи теоретичні розробки [5] та результати обчислювального експерименту було встановлено критерій розбіжності ітераційного процесу розрахунку. Дослідження показали, що розбіжний процес характеризується зміною знаку якобіана, що може бути легко контрольоване за даним параметром k -го та $k-1$ -го кроку ітераційного процесу.

Встановивши деякі характерні зони ефективної збіжності у відносних одиницях, використовуючи як базове значення визначник матриці вузлових провідностей є можливість контролювати факт наближення процесу до кінцевої фази і таким чином встановити критерій зниження номінальної ефективності модифікації методу Ньютона, що використовується з метою підвищення швидкості розрахунку.

Таким чином функціонування селектора БУКД з використанням вище означених критеріїв проводиться таким чином. На перших двох ітераціях процесу розрахунку НР ЕС доцільно застосувати проміжну модифікацію методу Ньютона другого порядку, тобто метод квазіквadraticної апроксимації. Визначивши чергове наближення розраховуються значення матриці коефіцієнтів Якобі та якобіана. Далі виконання критерію розбіжності процесу викликає перехід до виконання методу Ньютона другого порядку. Вхідження якобіана в зону ефективної збіжності викликає перехід до методу Ньютона першого порядку. За даними методами визначається чергове наближення, і у відповідності з критеріями здійснюється зміна номінальної ефективності модифікації методу Ньютона, що використовується. Після того, як зміна якобіана при переході з $k-1$ -го до k -го наближення стає незначною, застосовується модифікований метод Ньютона для кінцевого доведення ітераційного процесу до розв'язку.

Додатковий контроль збіжності здійснюється за значеннями векторів небалансів струмів:

$$\max(|F'_i|, |F''_i|) \leq \varepsilon \quad (3)$$

де ε – задана похибка обчислень.

Припинення ітераційного процесу здійснюється у випадку, якщо досягнута необхідна точність обчислень, або перевищена задана кількість ітерації процесу розрахунку.

Таким чином сумісне використання модифікацій методу Ньютона з застосуванням вище означених критеріїв переходу забезпечує підвищення ефективності проведення автоматичного аналізу НР ЕС за рахунок поєднання надійності методів другого порядку та швидкодії методів першого порядку в межах однієї методики.

Подана методика сумісного використання модифікацій методу Ньютона першого та другого порядків була реалізована в модулі аналізу програмного комплексу оптимізації втрат потужності в електричних мережах енергосистем. Після проведення чисельних розрахунків НР типових схем ЕС, у переважній більшості випадків було встановлено перевагу сумісного використання методів, як у надійності одержання рішення, так і у швидкодії процесу розрахунку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гамм А.З., Кучеров Ю.Н., Паламарчук С.И. Методы решения задач реального времени в энергетике / Под ред. Гамма А.З., Розанова М.Н. - Новосибирск: Наука, 1990. - 294 с.

2. Лежнюк П.Д., Жан-П'єр Нгома, Бевз С.В. Автоматичний аналіз нормальних режимів електричних систем з математичною моделлю на основі методу Ньютона // Вісник ВПІ. – 1995. – №3. – С. 40–44.

3. Лежнюк П.Д., Лук'яненко Ю.В., Кулик В.В. Застосування математичної моделі на основі методу Ньютона другого порядку для автоматичного аналізу нормальних режимів електричних систем // Вісник ВПІ. – 1998. – №2. – С. 55–62.

4. Ю. Лук'яненко, В. Кулик. Аналіз використання методів Ньютона першого та другого порядків в розрахунках режимів роботи ЕС // Матеріали конф. «Контроль і управління в технічних системах (КУТС-97)», т. 1 – 1997. – С. 209–212.

5. Методы оптимизации режимов энергосистем / В.М. Горнштейн, Б.П. Мирошниченко, А.В. Пономарев и др.; Под ред. В.М. Горнштейна. – М.: Энергия, 1981. – 336 с.