МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ З АПРОКСИМАЦІЄЮ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ ПОЛІНОМАМИ ВИСОКОГО ПОРЯДКУ

Брага О.О., Кондратьєв С.С., магістранти, Банін Д.Б., к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Ефективне управління режимом електроенергетичної системи ЕЕС можливо тільки в умовах достатнього об'єму інформації про характеристики режиму і прийнятну якість цієї інформації. Модель поточного режиму ЕЕС, як об'єкту управління, повинно формуватись на основі інформації, що поступає в ОІУК (оперативно-інформаційний управляючий комплекс) від засобів телемеханіки. У реальних умовах, починаючи з напруги 110 кВ та нижче, засобів телемеханіки, як правило, недостатньо і додатково інформацію отримують на базі контрольних вимірів, екстраполяції ретроспективних розрахунків режимів та інше. Ці додаткові дані прийнято називати псевдо вимірами**.**

В якості псевдо вимірів можливе використання добових графіків навантаження, які містять необхідну інформацію для моделювання режиму ЕЕС по часовим зрізам. Оскільки добові графіки навантажень зберігаються у вигляді табличних функцій, то виникає задача щодо використання технології, незалежної від кроку дискретності графіку, зменшення кількості пам'яті, використаної для збереження масивів даних та інше. Способом рішення цієї проблеми є збереження не табличних, а відповідних аналітичних функцій.

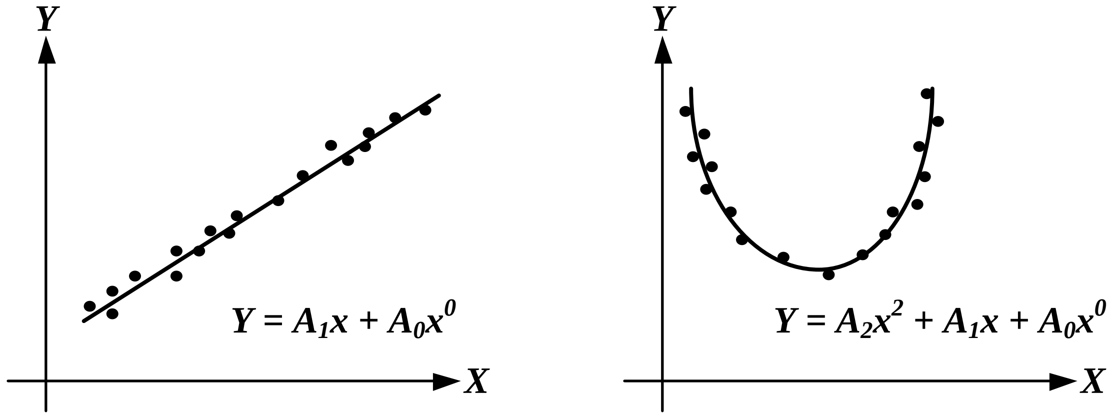
Постановка задачі. Нехай маємо табличну функцію $y = f(x)$:

x	x_1 x_2 x_3 … x_i … x_n
y	y_1 y_2 y_3 … y_i … y_n

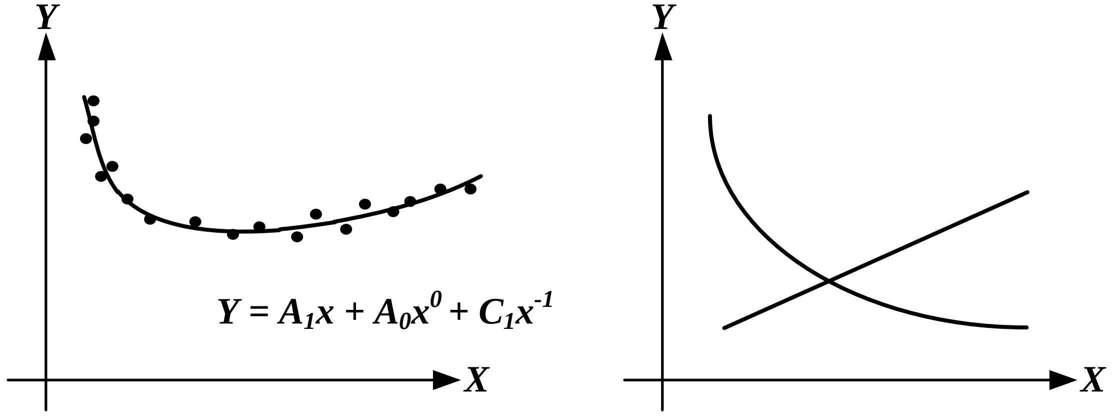
Але присутні безліч x, для яких не має пари y, а отримати значення функції крайнє необхідно. Задача вирішується заміною – апроксимацією табличної функції її «аналогом», по неперервній $y = F(x)$, наприклад методом найменших квадратів. Проте, треба відповісти на три питання: яку функцію вибрати? як формально вирахувати її параметри? як оцінити ефективність нашого вибору?

На рис.1 показані приклади вибору форми апроксимуючої функції, де рішення явно визначається з «зовнішнього вигляду» табличної функції. Таким чином, апроксимуюча функція вибирається методом «зорової оцінки» табличної функції або за допомогою знання про математичну модель фізичного об'єкта, який моделюється. Можливий послідовний підбір кращого варіанту.

Наприклад, можлива функція виду: $y = A_4 \cdot x^4 + A_1 \cdot x^1 + A_0 \cdot x^0 + A_6 / x^2$. В цьому виразі задіяні елементарні функції x^4, x^1, x^0, x^{-2}, а невідомими є коефіцієнти A_4, A_1, A_0, A_6. Якщо невідомі елементарні функції, котрі є компонентами модельованої функції, тоді, як правило, в якості апроксимуючої функції приймають поліном високого порядку, наприклад: $y = A_0 \cdot x^0 + A_1 \cdot x^1 + A_2 \cdot x^2 + ... + A_{11} \cdot x^{11} + A_{12} \cdot x^{12}$.



а) Лінійна функція *б) Квадратична функція*



в) Лінійна + гіперболічна функція

Рисунок 1 – Приклади вибору форми апроксимуючої функції

Оцінка ефективності вибору апроксимуючої функції здійснюється по параметру – середньоквадратичне відхилення від відомої табличної функції:

$$G = \frac{1}{n} \cdot \sum \left[F(x_i) - y_i \right]^2,$$

де G – середньоквадратичне відхилення; x_i, y_i – параметри табличної функції.

Якщо маємо складні апроксимуючі функції та задано багато точок вимірювань, то можна використовувати узагальнений метод найменших квадратів. Його суть у наступному:

1. Необхідно визначити мінімум: $G = \min \frac{1}{n} \cdot \sum \left[F(x_i) - y_i \right]^2$;
2. В матричній формі отримаємо: $G = \overline{\left(\left[F(x)\right] - \left[y\right] \right)} \cdot \left(\left[F(x)\right] - \left[y\right] \right) =$
   $= \overline{\left[F(x)\right]} \cdot \left[F(x)\right] - \overline{\left[y\right]} \cdot \left[F(x)\right] - \overline{\left[F(x)\right]} \cdot \left[y\right] + \overline{\left[y\right]} \cdot \left[y\right]$;
3. Апроксимуюча функція – сума елементарних: $F(x_i) = A_1 \cdot f_1(x_i) + A_2 \cdot f_2(x_i) + A_3 \cdot f_3(x_i) + \ldots + A_m \cdot f_m(x_i)$;
4. В матричній формі: $\left[F(x)\right] = \left[f_j(x_i) \right] \cdot \left[A\right]$, де i = 1, 2, 3 … n – кількість вимірів, j = 1, 2, 3 … m – кількість функцій, $\left[f_j(x_i) \right]$ - матриця n×m;

5. Для перетворення використовуємо умову, якщо $[z]=[x]\cdot[y]$, то $\overline{[z]}=\overline{[y]}\cdot\overline{[x]}$. Звідси: $G=\overline{[A]}\cdot\overline{[f(x)]}\cdot[f(x)]\cdot[A]-2\overline{[A]}\cdot\overline{[f(x)]}\cdot[y]+\overline{[y]}\cdot[y]$;
6. Виконуємо диференціювання по невідомим коефіцієнтам: $\dfrac{\partial G}{\partial A_j}=0\Rightarrow 2\cdot\overline{[f(x)]}\cdot[f(x)]\cdot[A]-2\cdot\overline{[f(x)]}\cdot[y]=0$;
7. Узагальнений метод найменших квадратів призводить до вирішення системи лінійних рівнянь: $\overline{[f(x)]}\cdot[f(x)]\cdot[A]=\overline{[f(x)]}\cdot[y]$.

Матеріали дослідження. Згідно даного методу був розроблений комплекс апроксимації поліномами високих порядків. Результатом роботи цього комплексу є визначення невідомих коефіцієнтів апроксимуючої функції. Приклад результатів роботи комплексу наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати роботи апроксимуючої функції

FKN	*MMM*	*MMM*				
-24	0.2	0.2				
Nx	*X*	*Y*	*Yrez*	*Nfun*	*scfun*	*Arez*
1	0.2	6.0	6.08318	0	1	38.9498627817
2	0.4	6.0	5.46782	1	1	-357.3958564150
3	0.6	6.0	7.04072	2	1	1406.7692165426
4	0.8	6.0	5.91328	3	1	-2730.5610013279
5	1.0	6.0	4.59524	4	1	2977.5898747071
6	1.2	6.0	5.45192	5	1	-1959.7406720705
7	1.4	6.0	8.73318	6	1	809.5038509401
8	1.6	12.0	13.10986	7	1	-211.5746020664
9	1.8	20.0	16.88040	8	1	34.0047331533
10	2.0	20.0	18.91061	9	1	-3.0693138728
11	2.2	20.0	18.98684	10	1	0.1191472066
12	2.4	12.0	17.64220	11	0	0.0000000000
13	2.6	16.0	15.70127	12	0	0.0000000000
14	2.8	16.0	13.82398	13	0	0.0000000000
15	3.0	16.0	12.26002	14	0	0.0000000000
16	3.2	8.0	10.89462	15	0	0.0000000000
17	3.4	8.0	9.51832	16	0	0.0000000000
18	3.6	8.0	8.13405	17	0	0.0000000000
19	3.8	8.0	7.06566	18	0	0.0000000000
20	4.0	8.0	6.70008	19	0	0.0000000000
21	4.2	6.0	6.92299	20	0	0.0000000000
22	4.4	6.0	6.74001	21	0	0.0000000000
23	4.6	6.0	5.25701	22	0	0.0000000000
24	4.8	6.0	6.16673	23	0	0.0000000000

Перелік позначень: *Nx* – номер виміру табличної функції; *X, Y* – значення аргументу та функції згідно таблиці вимірів; *Nfun* – номер елементарної функції; *scfun* – шкала задіяних елементарних функцій; *Arez* – невідомі коефіцієнти шуканої апроксимуючої функції; *FKN* – кількість вимірів табличної функції;*MMM* – масштаб значення аргументу та функції; *GGG* – значення середньоквадратичного відхилення – величина, котра супроводжує результат. Згідно отриманого результату запишемо апроксимуючу функцію (числові значення коефіцієнтів скорочені):

$$f(x) = 38.9 - 357.3 \cdot x^1 + 1406.7 \cdot x^2 - 2730.5 \cdot x^3 + 2977.5 \cdot x^4 - 1959.7 \cdot x^5 + 809.5 \cdot x^6 - \\ -211.5 \cdot x^7 + 34.0 \cdot x^8 - 3.0 \cdot x^9 + 0.1 \cdot x^{10}.$$

Побудовані суміщені типовий графік навантаження та графік апроксимуючої функції (поліном 10-ого ступеню) наведені на рис. 2.

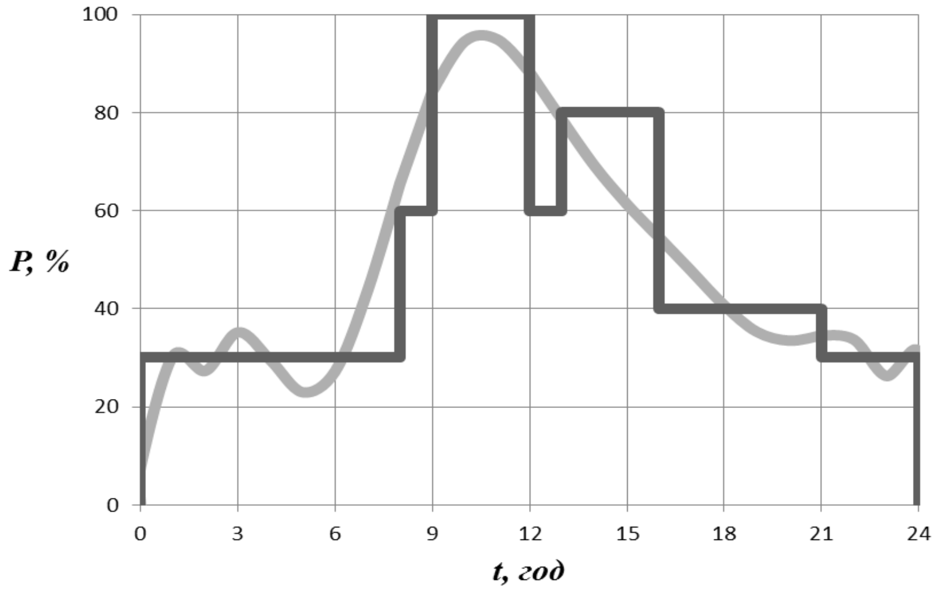


Рисунок 2 – Суміщена діаграма типового однозмінного добового графіку та побудованого за апроксимуючою функцією

Висновки. Побудована суміщена діаграма типового однозмінного добового графіку та побудованого за апроксимуючою функцією дозволяє стверджувати правильність роботи апроксимуючого комплексу. Отримана апроксимуюча функція може бути використана для заміни вихідної табличної функції відповідним аналітичним виразом.

Перелік посилань

1. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров./ Г. Корн, Т.Корн – М. : Наука, 1974. – 832 с.
2. Ортега Дж. Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений с многими неизвестными./ Дж. Ортега, В. Рейнболдт – М. : Мир, 1975. – 588 с.
3. Дегтерев Ю.И. Методы оптимизации: Учеб. пособие для вузов./ Ю. И. Дегтерев – М. : Сов.радио, 1980. – 272с.
4. Д.Б. Банін, М.Д. Банін, А.В. Дегтярев, Я.С. Бедерак Расчет реальной величины перетока реактивной электроэнергии для промышленных предприятий на основе данных АСКУЭ // Енергетика та електрифікація.-2013. № 9, с.16-21.