

СЕКЦІЯ “ГІРНИЧА ПРОМИСЛОВІСТЬ ТА ГЕОІНЖЕНЕРІЯ”

Івлев А.С., аспірант

Науковий керівник: Семененко Є.В., доктор техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу

(Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України)

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТОРІВ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК
З ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ВІССЮ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ
ДЛЯ ПРОГНОЗУ ШВИДКОСТІ ВІТРУ**

Вітроенергетичні установки з горизонтальною віссю обертання (ВЕУ) мають широку перспективу для застосування на гірничих підприємствах України. Ряд фахівців розглядають можливість розташування ВЕУ на териконах, дамбах обвалування сховищ відходів збагачення, а також бортах кар’єрів. Ефективній роботі ВЕУ в цих умовах сприяють особливі аеродинамічні умови розташування, можливість працювати круглий рік та акумулювання енергії вітру за рахунок наявності геодезичної різниці висот та інших можливостей гірничих об’єктів.

Ефективність використання ВЕУ залежить від вибору параметрів його ротору – куту закрутки перерізу, кількості лопатей та довжини хорди. Для цього виконують низку розрахунків для кожного з перерізів лопатей, що знаходяться вище 0,1 та нижче 0,9 радіуса ротора. При цьому для обраного кута атаки та аеродинамічних характеристик профілю лопаті для кожного перерізу необхідно визначити значення куту скосу шляхом розв’язання рівняння зв’язку, що запропоновано Сабініним та Юр’євим [1, 2]

$$\sin(\beta_0 - \gamma)\sin\gamma = \frac{C_R(\alpha)NC}{8\pi R} \cos(\gamma + \mu), \quad \beta_0 = \operatorname{arctg}\left(\frac{r\Omega}{U}\right), \quad \mu = \operatorname{arctg}(K(\alpha)), \quad \alpha = \beta_0 - \gamma - \varphi, \quad (1)$$

де β_0 – кут натікання потоку; γ – кут скосу; μ – кут відхилення аеродинамічної сили; r – радіус розташування перерізу; Ω – частота обертання ротору; U – швидкість повітря вздовж вісі; C_R – коефіцієнт аеродинамічної сили; N – кількість лопатей; C – довжина хорди; R – радіус ротору; K – аеродинамічна якість; α – кут атаки; φ – кут закрутки перерізу.

Розв’язання рівняння зв’язку (1) ускладнюється двома перешкодами: залежність величин C_R та K від кутів β_0 , γ та φ , яку завдано у вигляді таблиць, що унеможливило використання аналітичних методів, та суттєво несталий характер залежності величини U від часу та періоду року.

Для вирішення першої проблеми проведено пошук та узагальнення інформації стосовно аеродинамічних властивостей та типів профілів лопатей роторів з горизонтальною віссю обертання про тілесні профілі типу NASA-00, NASA-45M, Cy 26, П 52, Як 55, 35 А та 35 В, NAVY N60, N-10 та N-18, GA(W)-1, V-16, MDC-27, MUNK, МНТС, Clark-Y, Clark-Y 15 та Clark-YH, MVA-123 та MVA-301, FX60, RAF, Getting, а також типу ЦАГІ серії А, В та BS, Р-II та Р-III, 6, 718 – 723, 730 – 734, 790, 796, 831, 846, 909, 911 та „ЕСПСРО”, типу НАСА серії 44, 43 та 23, Go-535 та Go-549, DEF-P9-14, MS 16/209, Me-163, К-3 та СибНІА С, та встановлено, що на відміну від залежностей коефіцієнта повної аеродинамічної сили та кута μ від кута атаки, залежності коефіцієнтів C_y та C_x від кута атаки не мають екстремального характеру. Тобто, якщо перше з рівнянь (1) переписати у вигляді

$$\frac{8\pi R}{NC} \sin(\beta_0 - \gamma)\sin\gamma = C_y(\beta_0 - \gamma - \varphi)\cos\gamma - C_x(\beta_0 - \gamma - \varphi)\sin\gamma, \quad (2)$$

то, після незначної обробки, з інженерною точністю, можна використати апроксимації залежностей C_y та C_x від α лінійними функціями від синусу чи косинусу цього кута:

$$C_y = C_y^{\min} + (A + B \sin \alpha) \Delta C_y, \quad C_x = C_x^{\min} + E(1 - \cos \alpha) \Delta C_x, \quad (3)$$

де C_y – коефіцієнт підйомної сили; C_x – коефіцієнт сили аеродинамічного опору; C_y^{\min} , C_x^{\min} – мінімальні значення коефіцієнтів підйомної сили та сили опору; A , B , E – параметри апроксимації; ΔC_y , ΔC_x – максимальна різниця між значенням коефіцієнтів та їх мінімальними значеннями.

Залежності (3), на відміну від відомих, встановлюють залежність коефіцієнтів аеродинамічних сил не від кута атаки, а від тригонометричних функцій цього кута, що дозволяє в рівнянні зв'язку врахувати залежність цих параметрів від кута зони потоку, що обумовлюється індуктивними швидкостями.

Для вирішення другої проблеми пропонується прогнозувати величину U та тривалість її існування програмним комплексом, що працює на основі штучної нейронної мережі (ШНМ), який розроблено для прогнозування прогнозу погоди при побудові річних планів гірничих робіт з прийнятною точністю і відносно малою похибкою передбачення. Цей метод здійснює прогноз з використанням класичного перцептрона та астрологічних циклічних індексів, рекурсивних ШНМ, та із застосуванням елементів математичної статистики. Успішне використання цього методу для прогнозу курсу дорогоцінних металів [3, 4] дозволяє сподіватися на достатню точність прогнозу відповідних метеоумов. Ця впевненість також ґрунтується на алгоритмі навчання, який здійснює прогноз на основі масиву вхідних даних та не залежить від вище зазначених елементів математичної статистики. Досвід свідчить, що такий алгоритм даватиме прогноз, максимально близький до реального значення. У якості ШНМ, пропонується використовувати нелінійну авторегресійну модель нейронної мережі, так звану Nonlinear autoregressive model (NAR), що здійснює передбачення на основі вхідного часового ряду:

$$y(t) = f(y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-d)), \quad (4)$$

де d – параметр запізнення; f – функція ШНМ, що здійснює прогнозування ряду.

Пропонується використання алгоритму ШНМ NAR (4) для прогнозування часового ряду прогнозу погоди на десять днів вперед, і потім порівняти отримане значення з істинним значенням прогнозу погоди з наступними параметрами: 75% вхідного часового ряду буде задіяне при навчанні на основі методу зворотного поширення регуляризації Баеса; 15% часового ряду буде використано для узагальнення ШНМ, якщо узагальнення не покращується, то навчання припиняється та відбувається «замикання» (close-looping) ШНМ; 10% часового ряду буде використовуватися для перевірки узагальнення ШНМ. Даний метод може бути удосконалений у майбутньому, шляхом перегляду процедури прогнозування та тестувань навчання ШНМ, зміна розміру навчальної вибірки, тривалості навчання, зміни запізнення та кількості нейронів прихованого шару, а також спроби врахування нематематичних факторів.

Перелік посилань

1. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець. – Днепропетровск: НГУ, 2013. – 109 с.
2. Абрамовский Е.Р. Проблемы оптимизации параметров ветряных двигателей / Е.Р. Абрамовский, Н.Н. Лычагин. – Днепропетровск: Наука и образование, 2014. – 273 с.
3. Ивлев, А.С. Использование нейронной сети в задаче прогнозирования курса драгоценных металлов [Текст] / А.С. Ивлев // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: Тези доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції МПЗІС-2019, Дніпро, 20-22 листопада 2019 р. / Під загальною редакцією О.М. Кісельової – Дніпро: ДНУ, 2019. – С. 112–113.

4. Білозьоров, В.Є. Нейромережевий підхід для моделювання цін на ринку дорогоцінних металів [Текст] / В.Є. Білозьоров, А.С. Івлєв // Питання прикладної математики і математичного моделювання [Текст]: зб. наук. пр. / редкол.: О.М. Кісельова (відп. ред.) [та ін.]. – Дніпро: Ліра, 2019. – Вип. 19. – С. 17–23.