**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ З
ПІДТРИМКОЮ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЗА
ДОПОМОГОЮ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕРЕЖ**

***О. Ю. Колларов, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри
електричної інженерії***

E- mail: kollarov@gmail.com

Д. О. Остренко, аспірант

E- mail: dmytro.ostrenko@gmail.com

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ

Анотація. *Пропонується розглянути деякі особливості геотермальної енергетики та розглянути технологічний комплекс, що буде включати в себе компресор, датчики, центральний процесор та плати для отримання даних. У такій системі необхідно забезпечити максимальний відбір потужності при різних зовнішніх факторах. Це пропонується зробити завдяки використанню інтелектуальних систем, а саме нейронної мережі, для цього її потрібно створити та навчити на певний результат.*

Мета дослідження – розробити та інтегрувати нейронну мережу, яка мала б структуру контролю за потужністю в системі електроживлення компресора з метою забезпечення її максимальної ефективності.

Нейронна мережа може слугувати як логічний пристрій, що буде виконувати підтримку значення максимальної потужності в системі з альтернативним джерелом енергії.

У цій роботі наведено приклад застосування нейронної мережі з метою пошуку значення точки максимальної потужності в системі електроживлення з геотермальним джерелом енергії. Однією з основних особливостей побудованої нейронної мережі є її структура. Нейронна мережа написана у вигляді скрипт коду та має багатошарову структуру, де перший (вхідний) шар має функцію активації - гіперболічний тангес, а другий (вихідний) – лінійну функцію.

Також розглянуто відомі способи керування альтернативними джерелами та насосними пристроями, компресорами. Після цього був зроблений висновок, що застосування штучного інтелекту (fuzzy logic або нейронних мереж) буде мати певну доцільність. Це пояснюється тим, що нейронні мережі не вимагають для своєї роботи якогось додаткового обладнання, окрім ПК, проте вони постійно самостійно перенавчаються, що згодом дасть можливість врахувати помилку внаслідок старіння обладнання.

Для успішного інтегрування мережі в систему було розглянуто процес навчання нейронної мережі, побудову її виконано в прикладному пакеті Matlab.

Ключові слова: *геотермальна енергетика, максимальна потужність, MatLab, нейронна мережа, компресор, геотермальні станції, турбіни, моделювання, вентиль, ТЕС, вагомі коефіцієнти, автономна система електроживлення*

Актуальність. Нині все більше виробництв прагнуть до створення станцій, що могли б автономно від централізованого енергоживлення забезпечити електроенергією власні потреби. Перед усім таким станціями стають ті, що мають вітрогенератори та сонячні батареї, проте є і ті, що йдуть далі та використовують біопаливо, енергію водню, геотермальну енергію та, навіть, енергію приливів та відливів.

У цій статті пропонується розглянути деякі особливості геотермальної енергетики та розглянути технологічний комплекс, що буде включати в себе компресор, датчики, центральний процесор та плати для отримання даних. У такій системі необхідно забезпечити максимальний відбір потужності при різних зовнішніх факторах. Це пропонується зробити завдяки використанню інтелектуальних систем, а саме нейронної мережі, для цього її потрібно створити та навчити на певний результат. Поки що розглянемо основні аспекти геотермальної енергетики.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Геотермальна енергетика – це виробництво теплової та електричної енергії на геотермальних станціях за рахунок теплової енергії, які містяться в надрах землі. Джерелом цієї енергії є тепловий насос. На відміну від інших теплогенераторів (електричних або газових) він забирає накопичену підземними ґрунтовими водами тепло та передає його до споживача. Цей метод має високий порівняно з іншими системами теплопостачання коефіцієнт ефективності. Власне тепловий насос здатен повністю покрити потреби виробництва в теплі, а також забезпечити пасивне кондиціювання, при цьому виконуючи одночасно функції енергозберігаючої системи вентиляції. Витрати електроенергії в такій системі, якщо порівнювати із традиційними системами кондиціювання, знижуються в 2 рази.

Геотермальні електростанції (геотермальні ТЕС) мають ряд особливостей:

- постійний надлишок енергоресурсів, що забезпечує використання повної встановленої потужності обладнання геотермальні ТЕС;
- досить простий рівень автоматизації;
- наслідки можливих аварій обмежуються територією станції;
- питомі капіталовкладення і собівартість електричної енергії в основному можуть бути нижчими, ніж на електростанціях, що використовують інші поновлювані джерела енергії.

Геотермальні ТЕС можна розділити на три основні типи:

- станції, що працюють на родовищах сухого пару;
 - станції з пароутворювачем, що працюють на родовищах гарячої води під тиском;
 - станції з бінарним циклом, в яких геотермальна теплота передається до вторинної рідини (наприклад, фреону або ізобутані) і відбувається класичний цикл Ренкіна.
- Варто відмітити позитивні риси застосування теплового насоса, а саме що вони:
- працюють цілий рік;
 - оснащені функцією охолодження;
 - мають вбудований бойлер, який робить нагрівання води для побутових потреб;
 - забезпечують економічну вентиляцію будівлі. Спеціальний модуль відбирає тепло з витяжного повітря і передає його в систему збору тепла (рекуператор-теплообмінник).

Рис. 1. Схема дії ТНУ з використанням геотермальної енергії

Як відомо, одним з основних недоліків пристроїв, установок або станцій, що виробляють енергію завдяки енергії альтернативних джерел, є їх нестабільність у сенсі забезпечення енергії. Цей процес відбувається тому, що, наприклад, вітрогенератори чи сонячні батареї та інші схожі пристрої залежать від зовнішніх факторів. У сучасному світі існує кілька способів знайти і підтримувати максимальне значення потужності в електричних системах з альтернативними джерелами енергії. Серед них можуть бути як вже вбудовані виробником контролери на потужність пошукової системи (або MPPT контролери), так і окремі інтелектуальні системи (з нейронними мережами або з фазово-логічними). У цій роботі ставиться завдання розглянути приклад застосування нейронної мережі для знаходження точки максимальної потужності в системі електропостачання з джерелом відновлюваної енергії (вітрогенератори).

Мета дослідження – розробити та інтегрувати нейронну мережу, яка мала б структуру контролю за потужністю в системі електроживлення компресора з метою забезпечення її максимальної ефективності.

Матеріали та методи дослідження. Структурна схема компресора, що буде забезпечувати відбір з максимальною ефективністю зображено на рис. 2.

Рис. 2. Технологічна схема моделі, що проектується

Керуючий комплекс, що зображено на рис. 2, складається з таких компонентів як:

- 1) датчики тиску і температури ;

2) плата для отримання даних, що надходять від датчиків. Вона знімає дані з датчиків, перетворює їх в цифрові дані та передає далі інтерфейсом RS485 по протоколу MODBAS;

3) центральна плата, яка включає являє собою такі компоненти:

перетворювач протоколу RS485 - сюди надходять дані від «Плата для отримання даних» від ПК або від датчиків, де перетворюються в RS232 і надходять в МК;

- семисегментний блок індикаторів (кількість 6 шт), в ньому відображаються дані, що надходять від датчиків, а також службова інформація (це може бути інформація про помилки або попередження про аварію);

- SD карта, що потрібна для збереження даних. На неї записується поточна інформація про дату та час включення тих чи інших пристроїв системи;

- блок керування реле клапанів. Завдяки ньому МК передає команди виконавчим клапанам;

- входи кнопок. Звідси здійснюється перетворення сигналів, що йдуть від кнопок та наступна передача їх в мікроконтролер;

- блок живлення - в цьому місті з постійної напруги, яка поступає від 12 до 36 В, виробляється напруга живлення для мікроконтролерів та керуючих кіл;

- центральний процесор (ЦП) - мікроконтролер з керуючою програмою.

Контроль і регулювання величини тиску стиснутого повітря в компресорі здійснюється завдяки запобіжними клапанами, що встановлюються на всіх ступенях стиснення і автоматичним регулятором тиску, при перевищенні допустимого тиску переводить компресор на холостий хід.

Як правило, в стандартний склад компресорної станції входить таке обладнання: компресорна установка, яка виконує стиснення і подачу повітря або іншого газу під тиском; осушувач, який дозволяє знизити вміст вологи в стисненому газі до необхідних параметрів; ресивер, за допомогою якого вирівнюються пульсації вихідного потоку; фільтри для багатоступінчастої очищення газу від твердих і рідких частинок, які можуть викликати псування технологічного продукту; електродвигун; система автоматичного контролю і

керування всіма параметрами компресорної установки і додаткового обладнання; обладнання життєзабезпечення станції, включаючи системи охолодження компресорного устаткування, вентиляцію, освітлення тощо.

Результати досліджень та їх обговорення. Для керування компресором пропонується така система керування (рис. 3), яка відповідає принципу підпорядкованого керування.

Рис. 3. Структурна схема керування компресором

Тут внутрішнім контуром є контур струму, а зовнішнім – контур швидкості і, відповідно, вихід зовнішнього контуру є входом (або завданням) для внутрішнього. Також є ще й згорнутий контур положення, що містить задавач положення та регулятор положення. Задавач інтенсивності(положення) у вигляді ПІ – регулятора, регулятор швидкості також включає ПІ регулятор. У системі є зворотній зв'язок із датчиком швидкості та датчиком струму.

Завданням цієї статті, як зазначалось вище, є побудова системи, що забезпечить підтримку значення максимального напору насоса за рахунок швидкості обертання двигуна компресора. На рис. 4 зображено напірну характеристику насоса.

Рис. 4. Напірна характеристика насоса $P(w)$ та $\eta(w)$

Напірна характеристика, що представлена на рис. 4, є залежністю тиску від подачі на виході насоса при постійній частоті обертання валу. Це область

номінальних подач при роботі насоса, де значення ККД є максимальним. На основі характеристики, яка показана на рис. 4, необхідно розрахувати швидкість для різних значень подач насосу на робочій характеристиці при значенні $\omega_n=58,3$ м/с.

Моделювання відбувається в програмному пакеті Matlab. Для написання скрипту для створення нейронної мережі використані характеристики, що наведені вище. Власне програма створюється у М-файлі (рис. 5), що видає швидкість, при якій напір буде максимальний. На вхід нейронної мережі поступає значення подачі, а на виході отримуємо швидкість, при якій спостерігається максимальний напір.

```
P = [0 19.6 49.5 59.1 68.2 75.6 81.2 85.4]; %Задавання послідовності вхідних значень./  
%#Відповідні до вектора Р еталонні вихідні значення .  
T = [0 14.932 30.475 35.29 40.96 46.82 52.927 59.061];  
%Створення мережі. Ввід діапазону значень, від 0 до максимального, кількість шарів, та функції, та функції активації.  
net = newff ([0 85.4], [5 1], {'tansig','purelin'});  
%Моделювання мережі, на виході отримуємо Y.  
Y = sim(net,P); %Побудова графіка  
plot(P,T,P,Y,'o'); %Кількість епох для тренування  
net.trainParam.epochs = 500;  
net = train(net,P,T); %Моделювання нової мережі, що вже обучена.  
Y = sim(net,P); %Побудова графіка натренованої нейронної мережі.  
plot(P,T,P,Y,'o')
```

Рис. 5. Скрипт для побудови нейронної мережі

Враховуючи наведену схему (рис. 5) та код скрипту, що знаходиться у блоці Matlab Function, була побудована модель, що зображена на рис. 6.

Рис. 6. Спроектowana модель в програмному пакеті Matlab

Структурна схема розробленої штучної нейронної мережі наведеена на рис. 7. На ній вхідні параметри позначенні векторами Р та Т. Ці позначення відповідають фізичним значенням подачі води. Вихідною змінною є значення, що відповідає значенню швидкості при максимальному напорі.

Рис. 7. Структурна схема розробленої штучної нейронної мережі

Побудована мережа є двошаровою – перший шар має п'ять нейронів та функцію активації гіперболічний тангенс, а другий має один нейрон та лінійну функцію активації. Для того, щоб записати в М-файл гіперболічний тангенс (або $\tanh$), бо цю команду блок не може розпізнати у якості функції зі змінними, необхідно записати $\tanh$ у математичному аналогу. Така формула має вигляд :

$$\tanh = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1. \quad (1)$$

Завдяки спеціальним командам для знайдення коефіцієнтів першого та другого шару та біоса, можна записати цю формулу, підставивши відповідні коефіцієнти.

Для поліпшення результатів нейронної мережі існують функції тренування. Для цього використовують поняття тренувальний сет. Це набір тих даних, які використовує наша мережа. Для того, щоб задати кількість тренувань, необхідно в коді записати ітерацію. Це лічильник, який буде збільшуватися з кожним разом, після того як нейронна мережа пройде один сет тренування. У загальному випадку - це загальна кількість тренувальних сетів. Чим більше епох ми поставимо в коді - тим краще результат, оскільки нейронна мережа буде постійно тренуватися.

Для визначення значення ваг і коефіцієнтів корекції функції досліджується і навчається нейронна мережа. Мережа повинна навчатися за моделями (приклади), результати яких повинні бути відомі і перевірені заздалегідь. Далі мережа буде постійно перенавчатися в ході моделювання та відповідно змінювала свої вагові коефіцієнти. І це буде відбуватися до тих пір, доки очікуваний результат не потрапить в допустимі межі відхилення (помилки), яка повинна бути встановлена заздалегідь.

На графіку, що зображений на рис. 8, можна побачити, що нейронна мережа натренована та знайдені коефіцієнти за допомоги команди `net.iw` [1].

Рис. 8. Тренування нейронної мережі

Результати в процесі тренування зазвичай відрізняються. Це можна пояснити кореляцією результатів, завдяки цьому йде наближення до істинного результату з правого чи лівого боку по осі ординат. Якщо величина цієї різниці виходить за допустимі межі, то це називається помилкою, тобто якась величина, яка виражає розбіжність між результатами які отримали і тими, які очікували. З кожною пройденою епохою помилка повинна йти на зменшення.

Якщо підставити у математичну формулу $\tanh$ (1) значення із новими коефіцієнтами, то отримаємо таку формулу:

$$y = 12.28 \frac{2}{1 + e^{-2(u * 1.55 - 14.2)}} - 1 + (-163.98) \frac{2}{1 + e^{-2(u * (-52.5) - 11.46)}} - 1 +$$

$$+ (-158.02) \frac{2}{1 + e^{-2(u * (-0.023) - 6.246)}} - 1 + (-512.02) \frac{2}{1 + e^{-2(u * (-0.093) + 2.18)}} - 1 +$$

$$+ (-7.64) \frac{2}{1 + e^{-2(u * (-1.423) - 16.816)}} - 1 + 180.692 \quad (2)$$

Промодельовавши роботу системи (рис. 6), отримуємо результат, що представлено на рис. 9.

На графіку (рис. 9) зображено як змінюється швидкість обертання компресора в залежності від подачі для досягнення максимального напору.

Рис. 9. Графік роботи установки при різних початкових даних

Перед тим, як зробити загальний висновок, необхідно узагальнити відповідь, чому саме використання нейронної мережі необхідно застосовувати в цій установці. Основна відповідь на це запитання знаходиться в самій нейронній мережі, а саме:

- здатність навчатися;
- узагальнення;
- паралелізм. Інформація в мережі обробляється паралельно, що дозволяє виконувати складну обробку даних за допомогою великого числа простих пристроїв.
- висока надійність. Мережа може вірно функціонувати при виході з ладу частини нейронів за рахунок того, що обчислення проводяться локально і паралельно.

Висновки і перспективи. На основі існуючих рішень у сфері керування компресорами стиснення природного газу була розроблена структурна схема регулювання швидкості, до якої приєднана нейронна мережа. При створенні нейронної мережі були використані напірні характеристики, за якими знімалися дані для навчання мережі. Результати моделювання підтверджують її працездатність.

На основі моделі системи керування компресором прямого поширення було реалізовано керування електродвигуном компресорного агрегату, що включає в свою структуру багатошарову нейронну мережу. Побудована модель показала достатні показники при керуванні об'єктом за умов динамічного навантаження об'єкта. Однак, спостерігалось перегулювання в зоні низьких швидкостей, що

можна пояснити навчанням на основі номінального режиму роботи двигуна. Проте був зроблений висновок, що нейронна мережа добре працює та правильно керує швидкістю в залежності від подачі.

Список літератури

1. Геотермальні електростанції: переваги і недоліки [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://avenston.com/ru/articles/geothermal-pp-pros-cons/> (дата звернення 17.08.19).
2. Геотермальна енергія [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.altenergo-nii.ru/renewable/geothermal/> (дата звернення 22.08.19),
3. Чорний О. П., Луговий А. В., Родькін Д. І. Моделювання електромеханічних систем. Кременчук, 2001. 374с.
4. Герман-Галкін С. Г. Matlab&Simulink. Проектування мехатронічних систем на ПК. Корона, 2008. 368 с.
5. Сичинський З. А., Воропай Н. І. Відроджені джерела енергії: Теоретичні основи, технології, технічна характеристика, економіка. Книга 2010. 223 с.
6. Голицин М. В., Голицин А. М., Пронина Н.М. Альтернативные энергоносители. М: Наука, 2004. 159 с.

References

1. Heothermalni elektrostantsii: perevahy i nedoliky [Geothermal power plants: advantages and disadvantages]. Available at: <https://avenston.com/ru/articles/geothermal-pp-pros-cons/>.
2. Heothermalna enerhiia [Geothermal energy]. Available at: <http://www.altenergo-nii.ru/renewable/geothermal/>.
3. Chorny, O. P., Luhovyi, A. V., Rodkin, D. I. (2001). Modeliuvannia elektromekhanichnykh system [Modeling of electromechanical systems]. Kremenchuk, 374
4. Herman-Halkin, S. H. (2008). Matlab&Simulink. Proektuvannia mekhatronnykh system na PK [Matlab & Simulink. Designing mechatronic systems on a PC]. Korona, 368.
5. Stychynskiy, Z. A., Voropai, N. I. (2010). Vidnovliuvani dzherela enerhii: Teoretychni osnovy, tekhnolohii, tekhnichna kharakterystyka, ekonomika [renewable energy sources: Theoretical foundations, technologies, technical characteristics, economics]. Knyha 2010, 223.
6. Golitsin, M. V., Golitsin, A. M., Pronina, N.M. (2004). Al'ternativnyye energonositeli [Alternative energy carriers]. Moskow: Nauka, 159.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С ПОДДЕРЖКОЙ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ МОЩНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

А. Ю. Колларов, Д. А. Остренко

Аннотация. *Предлагается рассмотреть некоторые особенности геотермальной энергетики и рассмотреть технологический комплекс, который*

будет включать в себя компрессор, датчики, центральный процессор и платы для получения данных. В такой системе необходимо обеспечить максимальный отбор мощности при различных внешних факторах. Это предлагается сделать благодаря использованию интеллектуальных систем, а именно нейронной сети, для этого ее нужно создать и обучить на определенный результат.

Цель исследования - разработать и интегрировать нейронную сеть, которая должна иметь структуру контроля по мощности в системе электропитания компрессора с целью обеспечения ее максимальной эффективности.

Нейронная сеть может выступать в качестве логического устройства и будет выполнять поддержку значения максимальной мощности в системе с альтернативным источником энергии.

В данной статье приведен пример применения нейронной сети с целью поиска значения точки максимальной мощности в системе электропитания с геотермальным источником энергии. Одной из основных особенностей построенной нейронной сети является ее структура. Нейронная сеть написана в виде скрипта кода и имеет многослойную структуру (где первый (входной) слой имеет функцию активации - гиперболический тангенс, а второй (выходной) - линейную функцию).

Также в работе рассмотрены уже известные способы управления альтернативными источниками и насосными устройствами, компрессорами. После этого был сделан вывод, что применение искусственного интеллекта (fuzzy logic или нейронных сетей) будет иметь определенную целесообразность. Это объясняется тем, что сети не требуют для своей работы какого-то дополнительного оборудования кроме ПК, однако они постоянно самостоятельно переобучаются, что впоследствии даст возможность учесть ошибку.

Для успешного интегрирования нейронной сети в систему был рассмотрен процесс обучения НС, а само построение было выполнено в прикладном пакете Matlab.

Ключевые слова: *геотермальная энергетика, максимальная мощность, MatLab, нейронные сети, компрессор, геотермальные станции, турбины, моделирование, вентили, веса функции, автономная система электропитания*

MODELING OF THE WORK OF GEOTHERMAL ENERGY WITH THE SUPPORT OF THE MAXIMUM POWER VALUE WITH THE HELP OF INTELLECTUAL NETWORKS

O. Kollarov, D. Ostrenko

Abstract. *It is suggested to look at some of the features of geothermal power and consider a technological complex that will include a compressor, sensors, CPU and data acquisition boards. In such a system it is necessary to ensure maximum power take-off under various external factors. It is suggested to do this through the use of intelligent systems, namely the neural network, and it must be created and trained for a specific result.*

The purpose of the study is to develop and integrate a neural network that would have a structure for controlling the power in the compressor power system to ensure

maximum efficiency. A neural network can act as a logical device and will support the maximum power point (value) in a system with an alternative energy source.

This article provides an example of the use of a neural network in order to find the value of the maximum power point in a power supply system with a geothermal energy source. One of the main features of the constructed neural network is its structure. The neural network is written in the form of a script code and has a multilayer structure (where the first (input) layer has an activation function - a hyperbolic tangent, and the second (output) layer has one - a linear function).

Also, the work considers already known methods of controlling alternative sources and pumping devices, compressors. After that, it was concluded that the use of artificial intelligence (fuzzy logic or neural networks) will have a certain expediency. It appears as a result of the fact that the networks do not require any additional equipment other than a PC for their work, however they constantly retrain themselves, which subsequently will make it possible to take into account the error.

For successful integration of the neural network into the system, the learning process of the neural network was considered, and the construction itself was performed in the Matlab application package.

Key words: *geothermal energy, MPPT, MatLab, neural networks, compressor, geothermal stations, turbines, modeling, ventiles, weight functions, automote*