

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ІНСОЛЯЦІЇ З ПОРІВНЯННЯМ ОТРИМАНОГО ПРОГНОЗУ З РЕАЛЬНИМ ЗНАЧЕННЯМ ІНСОЛЯЦІЇ В ПЕВНУ ДОБУ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розглядається задача аналізу точності існуючих моделей прогнозування сонячної інсоляції. На основі порівняння отриманих результатів прогнозування з реальними даними сонячної інсоляції.*

**Ключові слова:** сонячна інсоляція, моделі прогнозування, повітряний аерозоль, метеопараметри.

### *Abstract*

*The problem of analyzing the accuracy of existing models of solar insolation forecasting is considered. Based on a comparison of the obtained forecasting results with real data of solar insolation.*

**Keywords:** solar insolation, forecasting models, air aerosol, meteorological parameters.

### **Вступ**

Системи перетворення сонячної енергії (інсоляції) відрізняються від систем, заснованих на інших відновлювальних джерелах енергії, оскільки на сонячну енергію впливають різні метеорологічні умови. В результаті чого виникає необхідність в достовірних даних про сонячну інсоляцію в кожному конкретному місці.

У зв'язку з невеликою кількістю метеостанцій та мінливістю інсоляції виникає необхідність достатньо точної моделі для прогнозування інсоляції в тих чи інших місцях. Точність моделей та експериментальні дані впливають на розташування, продуктивність, енергетичну та економічну ефективність фотоелектричних станцій.

За останні півстоліття розроблено численні прості моделі прогнозування сонячної інсоляції, метою яких було надати нескладну оцінку наявної сонячної інсоляції. Моделі використовують різні методи, які враховують вплив кожної складової атмосфери на сонячне випромінювання. Це, у свою чергу, призводить до плутанини та питань з точністю отриманих результатів прогнозування у потенційних користувачів.

В дослідженні порівняно кілька моделей прогнозування прямої складової інсоляції для умов чистого та хмарного неба для кожного з чотирьох сезонів.

Порівняння включає 3 прості моделі результати прогнозу яких порівняно з наявними даними інверторів існуючої фотоелектричної станції. Критеріями для оцінки та вибору моделей є простота, точність та можливість використання легкодоступних метеорологічних даних.

### **Постановка проблеми**

Проведення аналізу точності моделей прогнозування доцільно виконувати шляхом порівняння прогнозованого рівня сонячної інсоляції з реальними даними кількості сонячної інсоляції взятими з інверторів існуючої фотоелектричної станції. (*ФЕС Писарівка*).

На початковому етапі розрахунків отриманий масив даних по рівню сонячної інсоляції за 2021 рік, після масив даних розподілено за порами року та по місяцях, наступним етапом для кожної пори року обрано дні з найбільшим та найменшим рівнем сонячної інсоляції.

Розрахунок проведено за допомогою програмних продуктів MathCad, MathLab, Excel.

Для спрощення та зменшення об'єму розрахунків використано середньодобові значення наступних величин: кількість осідаючої води у вертикальній колонці від поверхні в см ( $U_w$ ), Кількість озону у вертикальній колонці від поверхні в см ( $U_0$ ), поверхневого тиску в мілібарах ( $P$ ) та широкосмугової каламутності ( $\tau_A$ ).

Аналіз проведених розрахунків для зимового періоду показав, що при невеликих кількостях водяної пари, значеннях озону та рівня поверхневого тиску близького до 1020 мілібар за умов чистого неба сонячного дня прогнозовані значення сонячної інсоляції нижчі від фактичних даних для всіх простих моделей, що може бути пов'язано з похибкою передачі даних з інвертора чи не достатньою точністю метеоданих використаних в розрахунках. При більш високих значеннях водяної пари, озону та рівня поверхневого тиску близько 1000 мілібар (для хмарного дня) прогнозовані значення сонячної інсоляції для моделей Atwater Bird та Hoyt є досить близьким до фактичних даних, модель Bird дає суттєво менші значення в даному випадку.

При необхідності можливо збільшити точність розрахунків за рахунок використання щогодинних метеоданих. Результати розрахунку для зимового періоду наведені на рисунку 1.

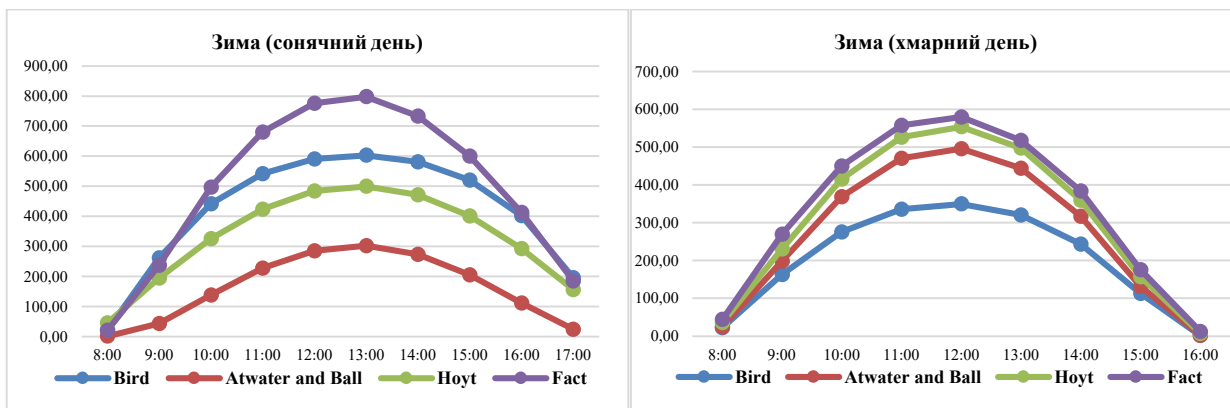


Рис. 1 - Порівняння результатів обрахунків моделей Bird, Atwater and Ball, Hoyt з фактичними значеннями інсоляції для сонячного дня зимового періоду.

Для весняного періоду в сонячний безхмарний день моделі Atwater and Ball та Hoyt забезпечують близьку узгодженість в прогнозованих значеннях, модель Bird при кутах зеніту більше 70 град. Дає значення більші фактичних та значень Atwater and Ball та Hoyt. При кутах зеніту від 40 до 50 град. модель Bird дає значення менші від моделей Atwater and Ball, Hoyt та фактичних даних. В хмарний день дня весняного періоду, як можна побачити з графіків зображених на рисунку 2 найближчі значення сонячної інсоляції до фактичних значень дає модель Hoyt, це можливо за рахунок правильного підбору табличних даних ( $T_R$ ) - коефіцієнта пропускання релєвського розсіяння та ( $T_{AS}$ ) - коефіцієнта пропускання аерозольного розсіювання. Моделі Atwater and Ball та Bird в даному випадку не враховують різку зміну метеопараметрів та потребують їх щогодинного уточнення, або удосконалення моделі в частині поправочних коефіцієнтів, які б враховували різку зміну метеопараметрів. Результати наведено на рисунку 2.

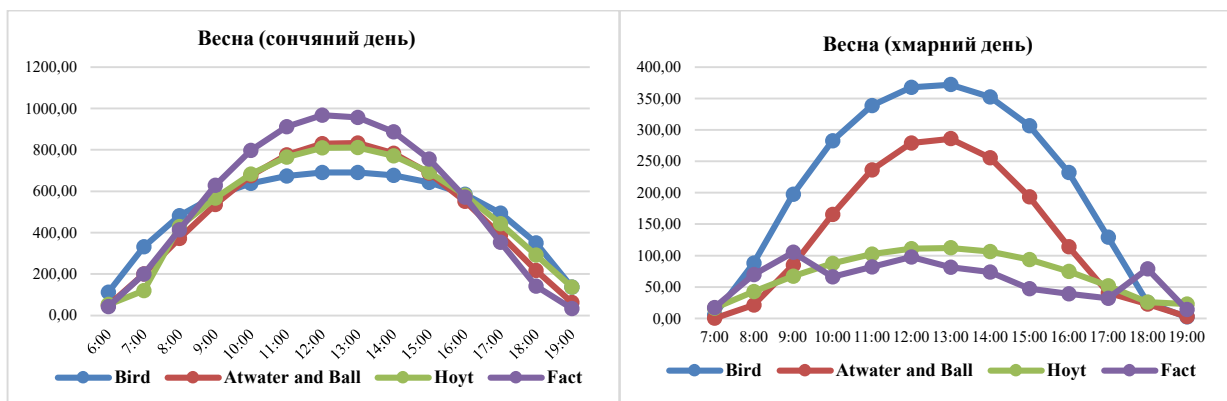


Рис. 2 - Порівняння результатів моделей Bird, Atwater and Ball, Hoyt з фактичними значеннями інсоляції для сонячного дня весняного періоду.

В літній період року графік сонячної інсоляції більш розтягнутий в часі та може сягати 16 годин, відповідно досить складно виконувати довгострокові прогнози рівня сонячної інсоляції з

достатньою точністю та враховувати всі зміни метеопараметрів та зміни зенітного кута на протязі доби щоб забезпечувати достатню точність прогнозування. Як видно з графіків порівняння прогнозованих та фактичних даних для сонячного та хмарного дня зображених на рисунку 3 прогнозовані значення сонячної інсоляції досить суттєво відрізняються від фактичних значень на протязі доби, однак є точки в яких значення близькі до фактичних, якщо виконувати короткострокові прогнози із щогодинним уточненням метеопараметрів можна вийти на необхідний рівень точності прогнозування.

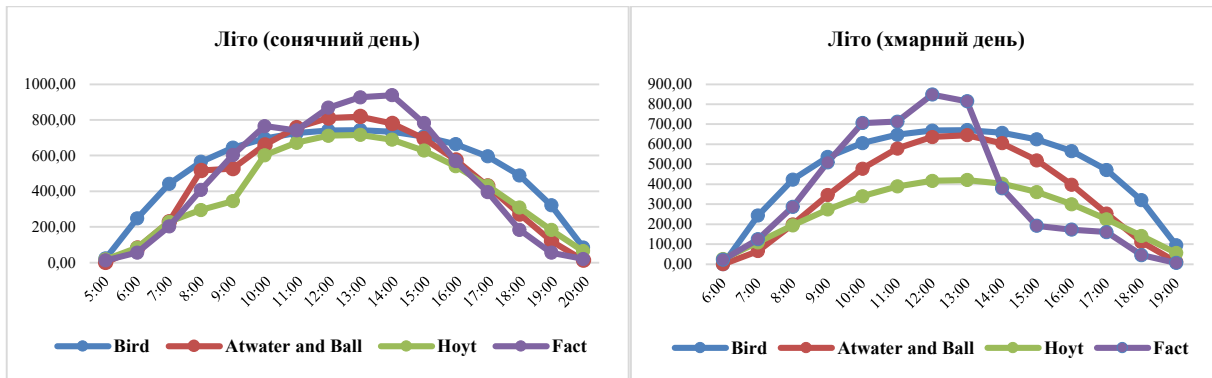


Рис. 3 - Порівняння результатів моделей Bird, Atwater and Ball, Hoyt з фактичними значеннями інсоляції для літнього періоду

В осінній період року можливі тумани та суттєва хмарність, які можуть ускладнювати процес прогнозування рівня сонячної інсоляції. Як можна побачити з рисунка 4 в сонячний день осіннього періоду з 8-ї до 9-ї ранку спостерігається провал графіка генерування сонячної інсоляції, який не враховано в жодній з моделей відповідно виникає необхідність вдосконалення перелічених простих моделей прогнозування, які будуть враховувати особливості клімату території України. В хмарний сонячний день модель Atwater and Ball дала помилкові дані сонячної інсоляції, так як першочергово вказана модель була розроблена для прогнозування лише за умов чистого неба, відповідно при заданих зенітних кутах прогнозовані дані є суттєво більшими від фактичних.

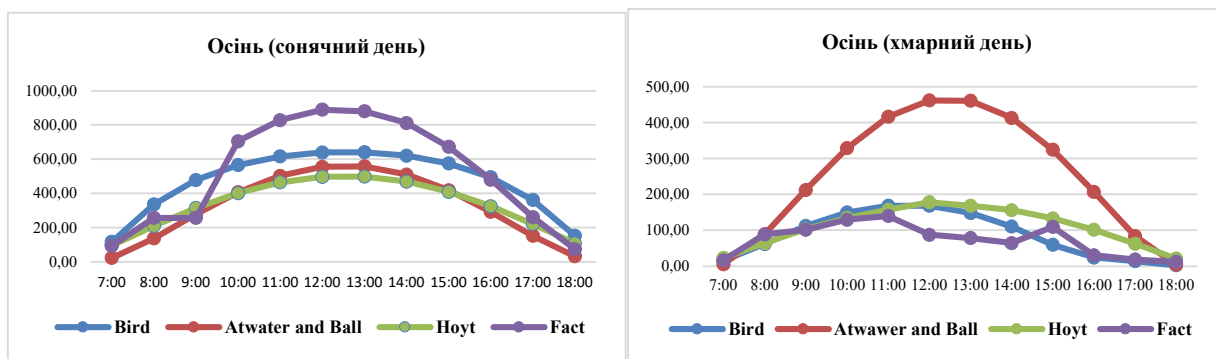


Рис. 4 - Порівняння результатів моделей Bird, Atwater and Ball, Hoyt з фактичними значеннями інсоляції для осіннього періоду.

Модель Atwater and Ball дає наближені до фактичних значень результати прогнозу сонячної інсоляції в сонячні дні з невисокою хмарністю, та не потребує великої кількості метеоданих.

Модель Hoyt є досить простою та може забезпечувати необхідний рівень точності прогнозування, однак постійно потрібно використовувати значення табличні значення ( $T_R$ ) - коефіцієнта пропускання релєйського розсіювання та ( $T_{AS}$ ) - коефіцієнта пропускання аерозольного розсіювання, при цьому необхідно мати доступ до певних метеопараметрів, таких як рівень релєйського випромінювання та параметрів повітряного аерозолу.

Модель Bird є більш складною та враховує більшу кількість метеоданих, деякі з них можна отримати лише за умови наявності сучасного метеопосту, маючи достатньо точні метеодані можна отримувати прогнозовані значення сонячної інсоляції з високою точністю.

### Висновки

Визначити точність моделей таких як Bird, Atwater and Ball та Bird можливо лише шляхом порівняння з фактично вимірними значеннями прямого опромінення сонячного променю та вимірами атмосферних даних. На жаль, таких порівнянь та вимірювань не вистачає в нашому регіоні, порівняння прогнозованих даних з фактичними даними дозволяє вдосконалити ці та інші спрощені моделі. На основі аналізу проведених розрахунків спостерігається суттєвий вплив значення зенітного кута на точність прогнозу для всіх простих моделей. Отримання деяких параметрів аерозолі є можливими лише за наявності метеопосту, отримані дані з якого дозволять обрахувати будь-які метеопараметри необхідні для проведення прогнозування, та подальшого вивчення та вдосконалення моделей. Для підвищення точності прогнозування можливе використання усередненого прогнозу з декількох моделей прогнозування.

Покращення точності прогнозування дозволить забезпечити роботу пристроїв перетворення сонячної енергії з найбільшою ефективністю та забезпечити достатній рівень точності виконання заявлених графіків прогнозування закріпленого на законодавчому рівні України.

### Список використаної літератури

1. Selby, J. E. A.; Kneizys, F. X.; Atmospheric Transmittance/Radiance: Chetwynd, J. H.; McClatchey, R. A. Computer Code LOWTRAN 4. AFGL-TR-78-0053; 1978.
2. Atwater, M. A.; Ball, J. T. "A Numerical Solar Radiation Model Based on Standard Meteorological Observations." Solar Energy. Vol. 21: pp. 163-170; 1978.
3. Kondratyev, K. YA. Radiation in the Atmosphere. New York: Academic Press; 1969.
4. Hoyt, D. V. "A Model for the Calculation of Solar Global Insolation." Solar Energy. Vol. 21: pp. 27-35; 1978.
5. Lacis, A. L.; Hansen, J. E. "A Parameterization for the Absorption of Solar Radiation in the Earth's Atmosphere." J. Atmospheric Science. Vol. 31: pp. 118-133; 1974.
6. Shettle, E. P.; Fenn, R. I.J. "Models of the Atmospheric Aerosols and Their Optical Properties." Proceeding of AGARD Conference N.o. 183, Optical Propagation in the Atmosphere. pp. 2.1~2.16, presented at the ~lectromagnetic Wave Propagation Panel Sympo::;i,um, Lyn!. {by • Denmark.; 27-11 October 197 5.

**Комар Вячеслав Александрович** – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри ЕСС, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kvo1976@ukr.net

**Семенюк Юрій Васильович** – аспірант кафедри ЕСС група 141-20а, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: 1e14b.semenyuk@gmail.com

**Komar Viacheslav Oleksandrovich** – the Doctor of Engineering, professor, the Head of PPS Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvo1976@ukr.net

**Semenyuk Yuriy Vasylovych** – postgraduate student of PPS Department, group 141-20a, Power Engineering and Electromechanics Faculty, Vinnytsia Natsional Technical University, Vinnytsia, e-mail: 1e14b.semenyuk@gmail.com