

# ОПТИМАЛЬНА СТРУКТУРА ОБЛАДНАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМАЛЬНОЇ СОБІВАРТОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

І.М. Буратинський\*

науковий керівник: **Т.П. Нечаєва\*\***, канд. техн. наук,  
за участі: **С.В. Шульженко\*\*\***, канд. техн. наук.

Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150

e-mail: [buratunsky@gmail.com](mailto:buratunsky@gmail.com)

\* ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2928-9621>

\*\* ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9154-4545>

\*\*\* ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7720-0110>

## Актуальність проблеми:

- ▶ Обсяги виробленої електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) протягом 2019 р. склали 3,6 % у загальній структурі виробництва електроенергії. Навіть така невелика частка вже створює проблеми, що виникають при балансуванні роботи об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України;
- ▶ Параметри та обсяги генерації електроенергії на фотоелектричних сонячних електростанціях (СЕС) залежать від інтенсивності сонячного випромінювання та хмарності. Особливістю функціонування СЕС є те, що максимум потужності припадає під час денного зниження споживання електроенергії в енергосистемі;
- ▶ Гнучкість ОЕС не дозволяє прийняти великі обсяги СЕС. Для забезпечення балансу та операційної безпеки в енергосистемі вже прийшлося обмежувати генерацію на СЕС;
- ▶ Перше обмеження СЕС сумарною встановленою потужністю 545 МВт відбулось у січні 2020 р. Обмеженню посприяли аномально висока температура повітря для даного періоду року та рекордно низьке споживання електроенергії.

## Особливості дослідження:

- ▶ Параметри генерації на СЕС, окрім залежності від погодних умов, залежать від структури обладнання фотоелектричної станції;
- ▶ Структура обладнання на СЕС визначається співвідношенням встановленої потужності змінного струму (АС, англ. Alternating Current) та постійного струму (DC, англ. Direct Current);
- ▶ Встановлена потужність змінного струму АС визначає максимальну потужність генеруючого (інверторного) обладнання, яку можна встановити на СЕС, вона обмежується технічними умовами на приєднання;
- ▶ Встановлена потужність постійного струму DC на СЕС визначає сумарну потужність всіх фотоелектричних модулів (ФЕМ), і від неї залежать обсяги генерації електричної енергії;
- ▶ Чим більшим буде коефіцієнт перевантаження (англ. DC/AC overloading), тим більшими будуть обсяги згенерованої електроенергії.

## Мета дослідження:

- ▶ визначення оптимального співвідношення сумарної потужності постійного струму та потужності приєднання змінного струму СЕС за критерієм мінімальної собівартості електроенергії.

# Теоретичні основи:

- ▶ Для знаходження оптимальної структури обладнання фотоелектричної станції була застосована методика визначення середньозваженої собівартості виробництва електроенергії протягом життєвого циклу (LCOE, англ. Levelized Cost of Electricity);
- ▶ LCOE визначається відношенням усіх витрат протягом життєвого циклу СЕС  $C^{solar}$  до загального обсягу виробленої електроенергії за весь період експлуатації  $E^{solar}$  з урахуванням дисконтування:

$$LCOE_{solar} = \frac{C^{solar}}{E^{solar}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + O\&M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t^{solar} - \Delta w}{(1+r)^{t-1}}}$$

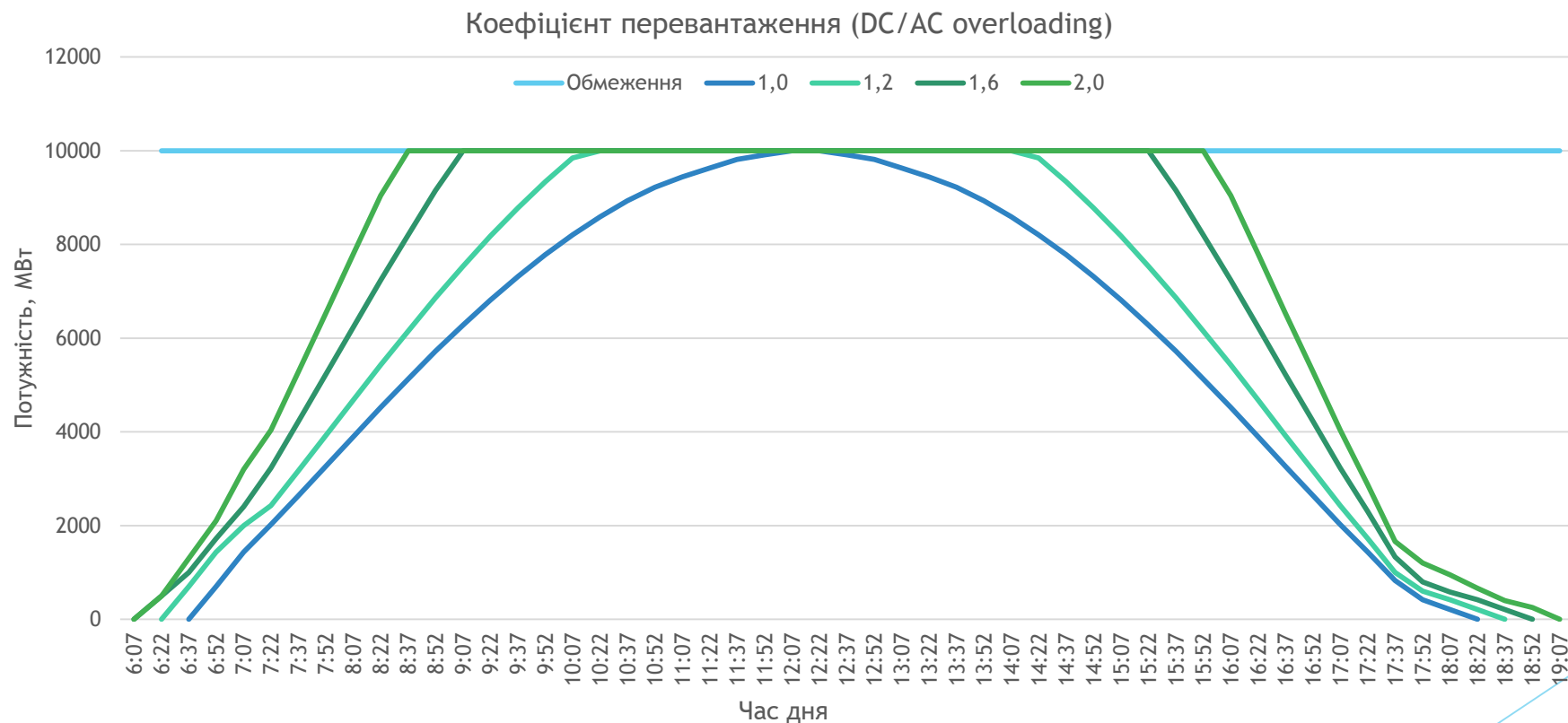
- ▶ де,  $I_t$  - інвестиційні витрати на впровадження об'єкту будівництва у  $t$  - році, \$;
- ▶  $O\&M_t$  - витрати на експлуатацію та технічне обслуговування у  $t$  - році, \$;
- ▶  $E_t$  - вироблена електроенергія у  $t$  - році, МВт·год;
- ▶  $\Delta w$  - зменшення річної генерації електроенергії, МВт·год;
- ▶  $r$  - ставка дисконтування;
- ▶  $n$  - термін життєвого циклу проекту, років.

## Об'єкт дослідження:

- ▶ СЕС потужністю - 10 МВт (АС);
- ▶ територія розташування - Одеська область;
- ▶ співвідношення потужності до площі - 1 МВт/2 га;
- ▶ термін експлуатації - 25 років;
- ▶ чисельність персоналу - 6 чол.,
- ▶ інвестиції у виробниче обладнання - 708,8 тис.\$ / МВт;
- ▶ частка запозичених коштів - 70 %;
- ▶ ставка кредиту - 8 % річних;
- ▶ час повернення кредиту - 6 р.;
- ▶ ставка дисконтування - 11 %;
- ▶ інфляція - 7 %;
- ▶ деградація фотоелектричних модулів - 0,007%/рік;
- ▶ потужність стрінгових інверторів - 60 кВт;
- ▶ потужність фотоелектричних модулів - 375 Вт;
- ▶ Кут нахилу металоконструкцій - 25 градусів.

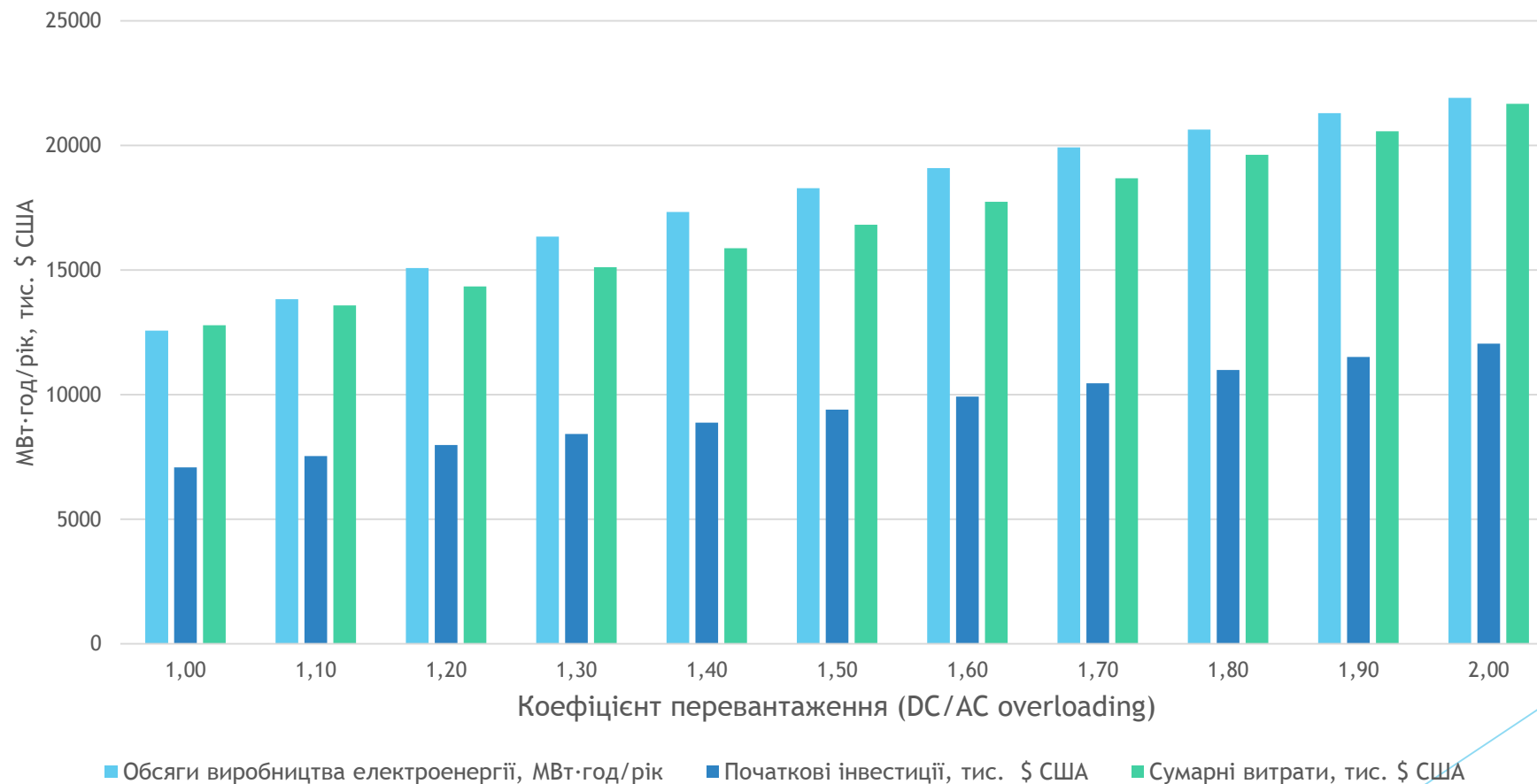
# Результати досліджень:

Прогнозований добовий графік виробництва електричної енергії на СЕС потужністю 10 МВт з різними показниками коефіцієнта перевантаження (середнє значення за березень)



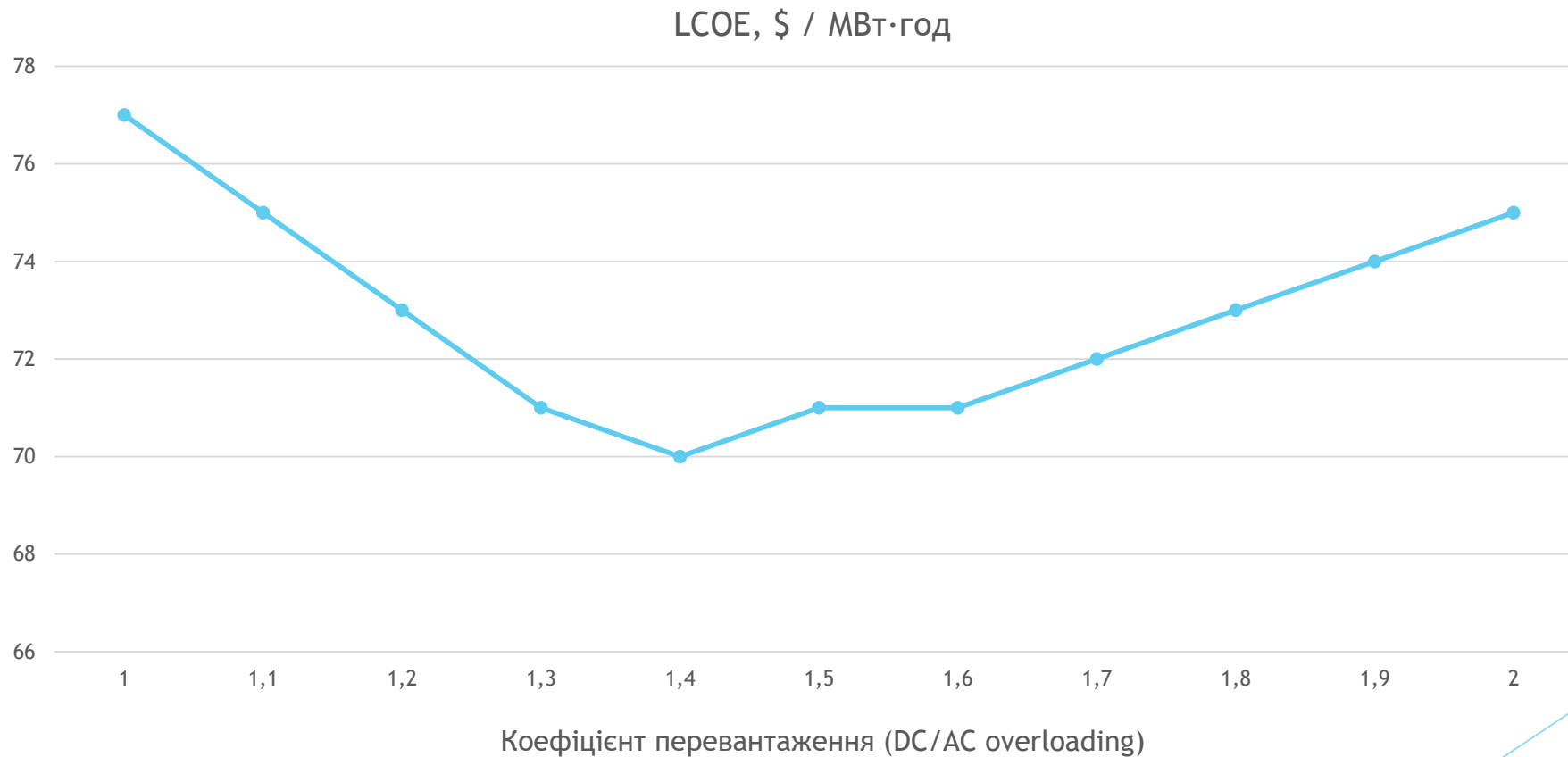
# Результати досліджень:

Обсяги виробництва електроенергії, початкові інвестиції та сумарні витрати (за весь період експлуатації) для СЕС потужністю 10 МВт з різними показниками коефіцієнта перевантаження



# Результати досліджень:

Значення середньозваженої собівартості виробництва електроенергії впродовж всього життєвого циклу





## Висновки:

- ▶ Збільшення встановленої потужності DC при однаковій потужності AC, окрім зростання обсягів виробленої електроенергії, збільшує період видачі максимальної потужності в мережу та зменшує час запуску сонячної електростанції;
- ▶ Застосована при дослідженні методика визначення середньозваженої собівартості виробництва електроенергії впродовж життєвого циклу показала, що найнижчу собівартість виробництва електроенергії має структура СЕС при співвідношенні DC/AC близьким до 1,4;
- ▶ Використання запропонованої методики LCOE дозволило врахувати не лише економічні параметри, а і технічні особливості, що відбуваються на СЕС протягом всього життєвого циклу, зокрема деградацію фотоелектричних модулів.

Дякую за увагу!