

тивність, спричинену Чорнобильською катастрофою. За розробленою у США шкалою небезпеки різних видів впливу на людину радіації відведено лише 26 місце.

Ресурси атомної енергетики можуть бути практично нескінченними, якщо вчені розв'яжуть проблему керованого термоядерного синтезу. Але фізики все далі (тепер уже на ХХІІ століття) відсувають великомасштабне практичне оволодіння термоядерною енергією. Однак це не є аргументами того, що означені проблеми нерозв'язувані.

Наприкінці зауважимо, що існують і гігантські ресурси вуглекислого газу та карбонатів неперехідних металів (кальцію, магнію), вуглець яких також можна (і хіміки вже намагаються це робити) використати для органічного синтезу альтернативного моторного палива. Такі процеси ще надто енергоємні та дорогі. Важливо, щоб ці доленосні рішення були знайдені наукою раніше, ніж вичерпаються на Землі запаси нафти, газу та вугілля.

У далекому майбутньому можна обґрунтовано очікувати, що стануть звичними космічні технології паливної енергетики. Великі запаси водню та метану на планетах-гігантах Сонячної системи забезпечать просто ідеальну сировинну базу для виробництва різних видів палива і задоволення зростаючих потреб прийдешніх поколінь землян.

*Г. Ковтун*

#### АЛЬТЕРНАТИВНІ МОТОРНІ ПАЛИВА

##### Резюме

Розглянуто проблеми одержання альтернативних (не нафтових) моторних палив на основі вуглеводневих газів, синтез-газу, спиртів, етерів й естерів, водню та відновлюваної рослинної сировини (біопаливо).

*G. Kovtun*

#### ALTERNATIVE MOTOR FUEL

##### Summary

The author describes problems of alternative (not oil) motor fuel generation on the basis of hydrocarbonic gases, synthesis-gas, spirits, ethers, hydrogen and renewable vegetative raw material (biofuel).

С. ПЛАКСІН, Ю. ШКІЛЬ, В. ЮРКО

## ГІБРИДНІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

### Розподільне виробництво електроенергії з використанням сонячної радіації

*Серед відновлюваних джерел енергії найбільш економічною і практично невичерпною є сонячна радіація. Значне зростання світового ринку фотоенергетичних систем (ФЕС) фахівці передбачають уже в найближчі 5–10 років. А об'єднання ФЕС з електрогенеруючими системами дає можливість відчутно підвищити кількість і якість вироблюваної електроенергії.*

*У статті розглядаються принципи роботи і структура таких гібридних електроенергетичних систем (ГЕЕС). В Україні є всі необхідні природні ресурси і промислові підприємства для розгортання сучасного виробництва ГЕЕС. Однак без потужної державної підтримки це здійснити неможливо.*

© ПЛАКСІН Сергій Вікторович. Кандидат фізико-математичних наук. Завідувач відділу Інституту транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг» (Дніпропетровськ).

ШКІЛЬ Юрій Володимирович. Провідний інженер цієї ж установи.

ЮРКО Володимир Володимирович. Головний технолог цієї ж установи. 2005.

Безперечно, розвиток фундаментальних і прикладних наук, комп'ютеризація та інформатизація суспільства визначають рівень сучасної цивілізації, але проблемою номер один і надалі залишається енергетика.

Сьогодні енергетичний ринок оцінюється одним трільйоном доларів США, що вдвічі перевищує автомобільний. Однак енергетичні потреби людства продовжують зростати, і це спонукає до будівництва і введення в дію нових і нових енергогенеруючих потужностей. Так, у США до 2010 року планують здати в експлуатацію 600 ГВт енергогенеруючих потужностей, а за прогнозами Світової Енергетичної Ради (WEC) упродовж наступних 25 років у світі їх буде споруджено й введено в дію більше, ніж протягом усього минулого століття.

Тепер у світі експлуатується понад 5000 ГВт енергогенеруючих потужностей. З них на теплоелектростанціях (ТЕС) виробляється 75% електроенергії, на гідроелектростанціях (ГЕС) – близько 20%, на атомних електростанціях (АЕС) – майже 5% (349 ГВт) [1]. І порівняно з цими показниками мізерною є частка відновлюваних джерел енергії. Так, геотермічні електростанції (ГеоТЕС) дають близько 0,16% (8 ГВт), вітрові (ВЕС) – 0,5% (24,929 ГВт), сонячні (СЕС) – 0,06% ( $\approx 3$  ГВт).

Разом з тим бурхливий розвиток енергетики у ХХ столітті породив низку проблем, пов'язаних із виснаженням природних ресурсів і забрудненням навколишнього середовища. Тому в різних країнах світу вирішено активізувати роботи щодо розширення використання відновлюваних джерел енергії: сонячної, геотермальної, вітрової, припливної тощо. (Оцінки потужностей відновлюваних джерел енергії наведено в табл. 1 [2].)

Особливу увагу вчені й інженери сконцентровують на безпосередньому перетворенні сонячної радіації на електричну або теплову енергію.

За останні 40 із лишком років були розроблені високоефективні фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) сонячної радіації, котрі забезпечили прорив у створенні фотоелектричних систем (ФЕС) для індивідуального й комерційного використання.

«Міжнародна компанія Shell (Лондон), яка має прекрасну репутацію і яка пережила нафтову кризу 1970 р., передбачила: сонячна енергетика до 2030 року стане такою формою комерційного виду енергетики, що швидко розвиватиметься і досягне обсягу реалізації (продажу) понад 100 млрд доларів США» [3].

За даними галузевої спілки UVS (м. Берлін, ФРН), у світі експлуатується понад 3 ГВт сонячних енергогенеруючих потужностей. Наголошується, що сьогодні зростання ринку цих виробів перевищує навіть темпи розвитку ринку інтегральних схем.

Найбільшим попитом користуються СЕС потужністю 1–10 кВт – для забезпечення електроенергією індивідуальних помешкань – та комерційні системи потужністю 10–500 кВт і більше. Також одержали позитивні результати випробовування СЕС великої потужності (20–100 кВт), і це стимулювало швидке розгортання виробництва великих комерційних систем. Так, встановлена у Беверлі (США, штат Массачусетс) СЕС відпрацювала понад 20 років у складних кліматичних умовах. Із її 3200 модулів тільки 7 були несправними (вандалізм), а деградація решти модулів не перевищила 8%. Ця СЕС дає енергію і тепер [4].

У Нідерландах введені в дію СЕС потужністю 1,3 (м. Утрехт) і 2,3 МВт (м. Амстер-

Таблиця 1. Оцінка потужності невичерпних джерел енергії

Вид енергії	Потужність
Сонячна радіація, що досягає Землі	$178 \cdot 10^{12}$ кВт
Геотермізм	$32 \cdot 10^9$ кВт
Припливи і відпливи, вітер	$3 \cdot 10^9$ кВт

дам), у ФРН (с. Хемау) – одна з найбільших у світі сонячних електростанцій потужністю 4 МВт. Але ще грандіозніший проект вирішено здійснити у штаті Невада (США). Там фірми Minne Solar Corp і Compasite Power Corp мають намір створити СЕС потужністю 100 МВт із подальшим збільшенням до 1000 МВт [5]. Провідні фірми – виробники ФЕС – це Siemens Solar GmbH (20% світових потреб), Amoco/Enron and Solarex (США), BP Solar (Європа) і Kyocera (Японія).

Багато держав уже оголосили свої національні програми розвитку робіт з освоєння фотоелектричної енергії. Так, у США така програма отримала назву «1.000.000 сонячних дахів», на її реалізацію передбачено понад 25 млрд доларів.

Німеччина, яка в 1998 році прийняла нову програму – «100000 дахів» – із розміщення сонячних батарей (СБ) на дахах житлових будинків, успішно завершила її в 2003 р., довівши встановлену потужність фотоелектричних споруд до 350 МВт. Потужність окремих установок сягає 1 кВт і вище.

Швидкими темпами розвивається фотоенергетика в Японії. Згідно з державною програмою «Нове сонячне світло» у 1998 р. там, порівняно з ФРН і США, разом узятими, подвоїлася потужність введених у дію ФЕС (133,3 МВт), а до 2010 року передбачено встановити в житлових будинках фотоелектричні системи загальною потужністю ~ 5 000 МВт.

Австралія до 2010 р. планує збільшити потужність діючих ФЕС до 4000 МВт, а протягом 20–30 років кожен другий будинок обладнати фотоелектричною системою.

Успішно завойовує нові сфери сонячна енергетика у Великій Британії, Іспанії, Франції, Індії, Канаді, ПАР та інших країнах, і це підтверджує прогнози експертів щодо прискореного розвитку фотоенергетики у світі. Так, на розробку технологій, ФЕП і виробничого устаткування для заводів –

виробників ФЕС – США, ФРН і Японія разом витратили 346 млрд американських доларів, що становить 76% усіх витрат у цій галузі двадцятьма державами світу [6].

Сьогодні у гарантійних зобов'язаннях на ФЕМ фірми-виробники встановлюють норму зниження ефективності менше 1% на рік, а термін експлуатації – більше 20–30 років [6].

Можливо, що позитивні результати випробувань СЕС у наземних умовах (20 років роботи, деградація 8%) і в космосі (15 років на геостационарній орбіті (ГСО), деградація менше 5%) спонукають до перегляду гарантійних термінів їхньої експлуатації у напрямі збільшення до 30–50 років. Отже, будуть підтверджені надійність і довговічність СЕС стосовно традиційних систем генерації електроенергії, що сприятиме їх прискореному розвитку.

Як свідчать прогнози експертів, за таких масштабів і темпів робіт з фотоенергетики відновлювана енергія, особливо сонячна, домінуватиме у виробництві енергії вже до 2050 року.

**Вартість устаткування для СЕС і фотоелектричної енергії.** Нині фотоелектричні системи продаються за ціною 5–8 дол. США за 1 Вт встановленої потужності, а відпускна ціна електроенергії становить 0,3–0,5 долара за 1 кВт-год. (Оперативно про ціни можна дізнатися, звернувшись до сторінки <http://www.solarbuzz.com>).

Фахівці передбачають суттєве зростання ринку СЕС із піком у найближчі 10–15 років. Також прогнозується, що комерційний фотоелектричний ринок значно розшириться до 2010 року. При цьому великі кількості реалізовуваних ФЕС призначатимуться для підключення до мереж, оскільки сонячна енергетика стає економічно конкурентоспроможною з паливною, а з часом виступить альтернативою ТЕС і АЕС.

Найважливішим чинником зростання фотоелектричного ринку буде низька ціна

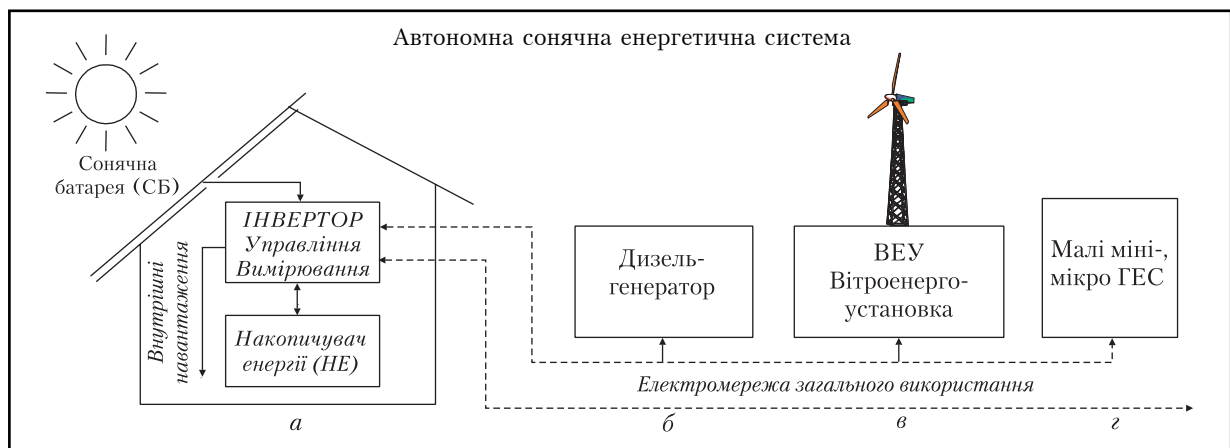


Рис. 1. Схема обладнання сонячної енергетичної системи

його товарів. Експерти вважають, що прорив фотоенергетики на ринок, який використовується великими підприємствами-споживачами, відбудеться тоді, коли ціни на ФЕС стануть нижчі трьох доларів США за 1 Вт. Це та ціна, за якою фотоенергетика зможе конкурувати виключно на економічній основі з такими традиційними енергоносіями, як вугілля, нафта і газ. А це, у свою чергу, потребує зниження вартості виробництва ФЕМ до 1 долара США за 1 Вт, тобто до тієї вартості, якої можна досягти за великих обсягів виробництва фотоелектричних систем (понад 100 МВт/рік).

**Автономні сонячні енергетичні системи (АвСЕС).** До них належать системи від 500 Вт до 500 кВт, що не підключені до комунальних або централізованих мереж електропередачі, а також мобільні СЕС і СЕС, які базуються на різних платформах. Типові сфери їх використання – це системи подачі води, ферми, сільські енергетичні системи, незалежні виробники електроенергії, автономні об'єкти зв'язку, військові об'єкти і деякі малі комунальні служби. Автономним системам не потрібні вугілля, нафта, газ чи ядерне паливо, вони не містять рухомих складних механізмів або частин, які зношуються протягом тривалої експлуатації. Ці системи не потребують професійного

обслуговування: необхідний догляд може здійснювати сам власник. Розгортання і введення в експлуатацію таких систем не пов'язані з великими капітальними і трудовими витратами. СЕС монтується на житлових будинках і на виробничих будівлях чи на простих збірних спецконструкціях.

СЕС і АвСЕС можуть оснащуватися системами автоматичного стеження за сонцем або виготовлятися з фіксованим монтуванням сонячних батарей (СБ), орієнтованих на південь відповідно до інструкції з експлуатації. Конструктивно СЕС із системами стеження складніші і дорожчі, але вони дають змогу за світловий день виробити електроенергії в 1,6 раза більше (рис. 1) [7].

Для підвищення ефективності роботи за складних погодних умов до АвСЕС може входити додаткове обладнання, як показано на рис. 1 – б, в, г.

СЕС з додатковим енергогенеруючим обладнанням називають гібридними. Вводячи до складу АвСЕС дизель-генератор або об'єднуючи АвСЕС і мікро, міні, малі ГЕС, можна забезпечити цілодобову та цілорічну роботу таких систем незалежно від погодних умов. При цьому підключення СЕС, наприклад, потужністю 1–10 кВт дає змогу значно збільшити встановлену потужність такої гібридної системи.

Введенням до складу автономної СЕС вітроенергоустановки (ВЕУ) можна підвищити ефективність АвСЕС на 10–15%.

**Підключення СЕС до комунальних і централізованих мереж.** До цих мереж підключаються індивідуальні СЕС, які мають встановлену потужність 1–10 кВт, а також комерційні системи 10–500 кВт і більше. Підключення здійснюється за допомогою двонапрямового перетворювача-інвертора, який входить до складу СЕС і конструктивно з'єднаний з апаратурою керування СЕС. Підключення СЕС до мережі електропередачі дає змогу налагодити обмін енергією між СЕС і електроенергетичною системою (ЕЕС). Це забезпечуватиме цілодобову роботу СЕС – незалежно від часу доби, пори року і метеорологічних умов. Великі енергогенеруючі компанії сприяють підключенню до своїх мереж СЕС, вбачаючи в цьому можливість розв'язання проблеми пікових навантажень, оптимізації робочих режимів ЕЕС і підвищення загальної встановленої потужності останніх завдяки інтеграції у них СЕС.

Для енергогенеруючих компаній нарощення виробництва електроенергії без збільшення споживання енергоносіїв (вугілля, нафта, газ, ядерне паливо) становить значний інтерес. Так, у США з метою прискорення комерціалізації фотоелектрики 84 електростанції, які контролюють 40% енергогенеруючих потужностей країни, створили консорціум Utility Photovoltaic Group (UPVG) [8]. У багатьох державах гранти, позики, податкові заохочення спрямовуються на розвиток сонячних енергетичних систем – автономних, а особливо мережевого використання. Розміри грантів коливаються від 10% капітальних вкладень у Великій Британії до 90% – у Франції, які виділяються на системи, що підключаються до централізованих мереж електроенергозабезпечення.

У разі підключення СЕС до ЕЕС слід виконувати вимоги міжнародних стандартів

і рекомендації стосовно каналів перетворення, керування, сигналізації й енергообміну (ASC з 2-1997, NESC; ANSI з 84.1-1995; NFPA 70-1999, NEC; UL 1741-1999; IEEE 100-1996; IEEE Std 519-1992; IEEE Std 929-2000 та ін.) [9]. Для України сьогодні конче потрібна розробка аналогічних вітчизняних стандартів і сертифікаційних процедур.

**Гібридні електроенергетичні системи на основі діючих ЕЕС.** ГЕЕС складається з двох типів електрогенеруючих систем – СЕС та ЕЕС, які розрізняються за способами генерації електроенергії. СЕС генерують енергію постійного струму, ЕЕС – змінного.

Для забезпечення взаємодії СЕС та ЕЕС у складі гібридної системи застосовують швидкодіючий електронний двонапрямовий перетворювач-інвертор, який накопичену в накопичувальному елементі (НЕ) енергію перетворює на енергію змінного струму і передає її до ЕЕС, а одержувану від ЕЕС енергію змінного струму перетворює на енергію постійного струму, відтак спрямовує її у накопичувач енергії СЕС.

Для обміну енергією між СЕС і ЕЕС у довільні моменти часу в НЕ СЕС необхідно передбачати використання двосекційних (багатосекційних) накопичувачів енергії.

На рис. 2,а умовно зображено СЕС різної встановленої потужності, основні функціональні вузли, канали керування та енергообміну [10].

По каналах керування диспетчерська служба ГЕЕС може запрошувати й отримувати дані про роботоздатність СЕС, вироблену і накопичену в секціях НЕ енергію кожної СЕС. Ці відомості використовуються для планування витрат енергії за пікових перевантажень й оптимізації режимів роботи обладнання, згідно із добовим графіком навантаження енергосистеми.

На рис. 2,б показано склад і функціональне призначення електрогенеруючого облад-

**Гібридна електроенергетична система (ГЕЕС)**

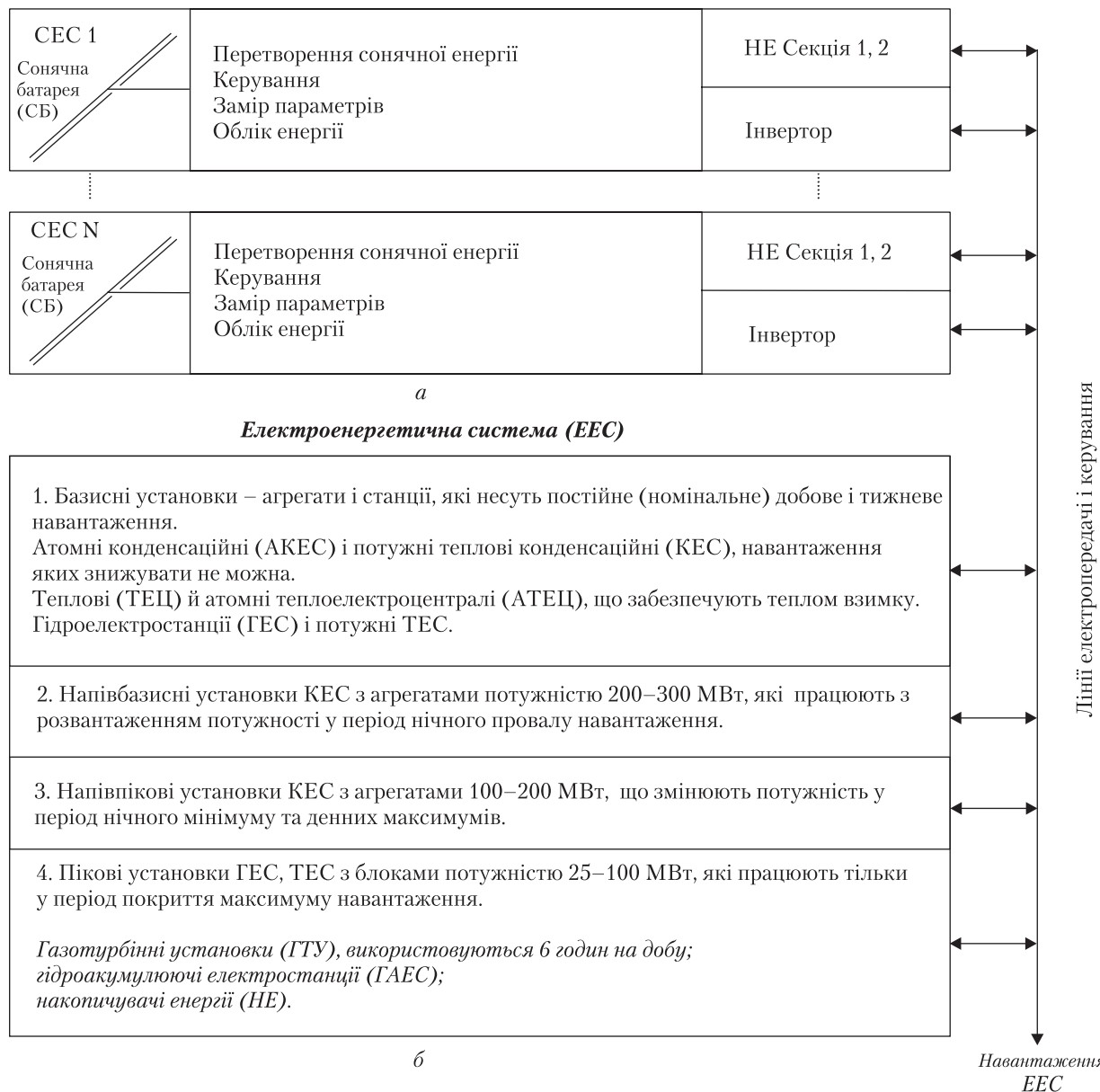


Рис. 2. Обладнання гібридної електроенергетичної системи

нання для забезпечення добового графіка навантаження ЕЕС. Остання є складним енергогенеруючим комплексом, а особливість її функціонування визначається одночасними процесами генерації і споживання енергії. Це потребує відповідності робочої потужності всіх джерел енергії та споживаної потужності навантаженням у кожен

момент часу. Забезпечення такої відповідності (узгодження) в роботі при щільних графіках навантаження і наявності необхідного маневрового обладнання не становить труднощів. Проте з 60-х років ХХ століття ситуація почала змінюватися, оскільки графіки навантаження ущільнюються через значне зростання енергоспоживання не

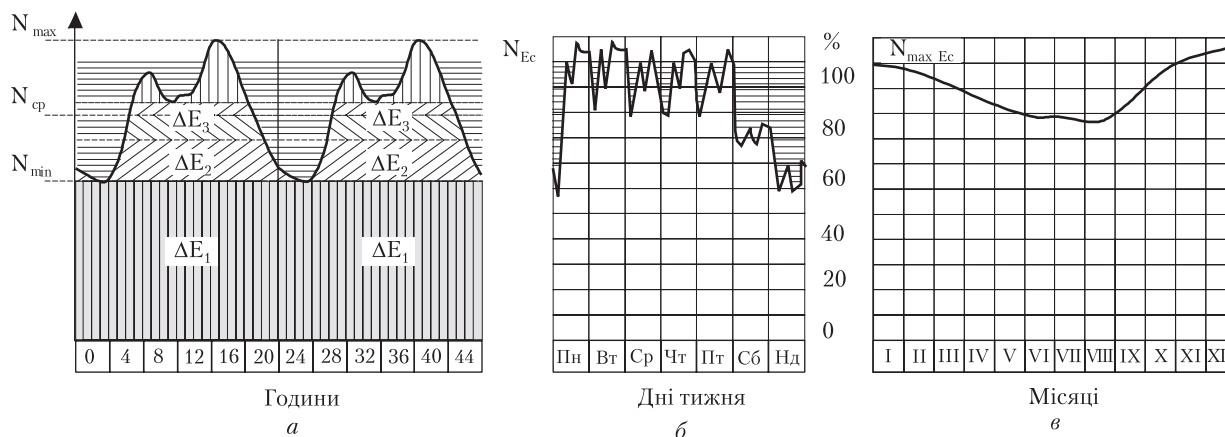


Рис. 3. Графіки навантаження енергосистеми

тільки промисловістю, а й сільським господарством і комунально-побутовим сектором. Отже, між джерелами і споживачами електроенергії виникло неузгодження, яке необхідно усунути.

На рис. 3, а наведено добовий графік навантаження енергосистеми: по горизонталі – час доби, по вертикалі – потужність енергосистеми. На графіку  $\Delta E_1$ ,  $\Delta E_2$ ,  $\Delta E_3$  – заштриховані площі, які відображають кількість енергії, що виробляється базисними, напівбазисними, напівпіковими і піковими установками ЕЕС.

У добовому графіку навантаження виокремлюють три характерні зони: базис, напівпік і пік. Базис – це та частина графіка, що міститься між віссю абсцис і горизонтальною лінією, проведеною на рівні мінімальної потужності. Напівпіком називають частину графіка між горизонтальними лініями, проведеними на рівні мінімальної та середньої потужності. Пік відображає частину графіка, розміщена вище від горизонтальної лінії, проведеної на рівні середньої потужності.

Добовий графік навантаження енергосистеми характеризують такі показники: максимальна потужність –  $N_{\max, EC}$ ; мінімальна потужність –  $N_{\min, EC}$ ; середня потужність

–  $N_{\text{ср}, EC}$ ; добове вироблення електроенергії –  $E_{\text{доб}, EC} = N_{\text{ср}, EC} \cdot 24$ ; коефіцієнт щільності навантаження –  $\gamma = N_{\text{ср}, EC} / N_{\max, EC}$ ; коефіцієнт мінімуму навантаження –  $\beta = N_{\min, EC} / N_{\max, EC}$ . Чим рівномірнішим є споживання енергії протягом доби, тим більші значення мають коефіцієнти  $\gamma$  і  $\beta$ , тим краще працює система. Отже, значення цих коефіцієнтів наближаються до одиниці [11].

За даними 1980 року, в Росії  $\beta = 0,54$ ; у ФРН – 0,42; у Великій Британії – 0,32; у США – в межах 0,3–0,4.

Площа, заштрихована горизонтальними лініями над кривою добового і тижневого графіків навантаження енергосистеми, еквівалентна невиробленій енергії. Вироблення, зберігання й оперативне використання цієї енергії дає змогу розв'язати проблеми оптимізації добового графіка навантаження енергосистеми, включаючи компенсацію пікових навантажень і раптових «стрибків» навантаження в енергосистемі.

На рис. 3, б наведено тижневий графік навантаження енергосистеми. Ми бачимо, що у вихідні дні зменшується вироблення енергії практично в 1,5 раза відносно  $E_{\text{доб}, EC}$ . Це означає, що різко знижується рівень використання генеруючого обладнання і зростає вартість виробленої енергії.

Річний графік роботи енергосистеми (рис. 3, в) відбиває сезонні зміни навантаження, зумовлені зміною тривалості світлового дня і зниженням (або збільшенням) комунально- побутового навантаження. Площа під кривою графіка річного навантаження еквівалентна енергії, виробленій протягом року.

Згадане технічне протиріччя усувається введенням до складу енергосистеми накопичувачів енергії, за допомогою яких, з одного боку, можна забезпечити рівномірне навантаження електростанцій, а з другого – вирівняти змінну частину графіка енергоспоживання.

У сучасній енергетиці використовуються різні типи накопичувачів: маховики, інерційні установки, конденсатори, електрохімічні й теплові акумулятори, надпровідні соленоїди, ГЕЕС тощо.

Які ємності накопичувачів слід задіяти, щоб система була максимально ефективною? Виконані дослідження і розрахунки фахівців [12] свідчать, що режиму експлуатації з максимальною ефективністю можна досягти, коли ємності накопичувачів у системі становитимуть 18–20% від сумарної потужності. У разі дотримання цих умов коефіцієнт щільності навантаження, що відповідає оптимальному вирівнюванню добового графіка роботи енергосистеми, досягне значення 0,87–0,88.

У ГЕЕС фрагмент системи, яка складається з СЕС, є розподіленою системою і реалізує функції генерації електроенергії, її зберігання в НЕ та забезпечення нею споживача.

Накопичувальні елементи СЕС працюють у таких режимах: накопичення електроенергії, одержуваної від СБ; у буферному режимі з підключеними внутрішніми навантаженнями; у режимі заряд–розряд під керуванням диспетчерської служби ГЕЕС. Електроенергія, накопичена в НЕ протягом світлового дня, може використовуватися, залежно від команд диспетчерської служ-

би, для компенсації вечірнього піку або для інших цілей. Після вечірнього піку настає режим заряду від ЕЕС упродовж нічного «провалу» навантаження енергосистеми. Відтак одразу ж – ранковий пік, на який витрачається електроенергія, накопичена вночі. Отже, накопичувачі енергії СЕС двічі на добу можуть використовуватися для підвищення ефективності роботи ГЕЕС. При цьому з накопичувачів відбирається така кількість електроенергії, яка необхідна для компенсації піків і несподіваних «стрибків» навантаження в енергосистемі; водночас забезпечується роботоздатність фрагмента СЕС незалежно від погодних умов і сезону. Як бачимо, у гібридній енергосистемі СЕС та ЕЕС органічно доповнюють одна одну і підвищують ефективність енергосистеми зокрема.

За умов роботи у складі ГЕЕС апаратура керування, інвертування та накопичувачі енергії СЕС виконують функції загальносистемних пристроїв. Окрім того, слід враховувати, що під час накопичення електроенергії у накопичувальному елементі СЕС цей елемент функціонує як кероване навантаження для генеруючих електростанцій.

Накопичена в НЕ електроенергія може оперативно використовуватися в різних ситуаціях, які виникають у процесі експлуатації ГЕЕС. Окрім того, збільшується кількість енергії, що виробляється на діючому обладнанні ЕЕС (~2400 МВт/год на добу) за рахунок використання енергії, яка генерується і накопичується під час нічного «провалу»; майже стільки ж енергії отримуємо завдяки СЕС. Кількісні оцінки для ЕЕС встановленої потужності – 1000 МВт (наведено на рис. 3, а).

Таким чином, створення ГЕЕС уможливує збільшення ефективності функціонування електроенергетичної системи завдяки введенню розподіленої системи накопичення і генерації сонячної енергії за допомогою ФЕС. А це, у свою чергу, дає змогу:



– підвищити надійність діючих енергосистем у цілому;

– використати енергію нічного «провалу», збільшивши вироблення енергії приблизно на 10–15% без введення нових генеруючих потужностей у фрагменті ЕЕС;

– збільшити вироблення енергії за рахунок підключених СЕС на ~10–15% (за умови, що ємність НЕ, які входять до СЕС, дає можливість зберігати всю вироблену енергію нічного «провалу» навантаження);

– нарощувати встановлену потужність генеруючого обладнання ГЕЕС за рахунок СЕС, не збільшуючи споживання енергосистем (вугілля, нафти, газу, ядерного палива);

– збільшити частку екологічно чистої енергії у загальному балансі енергосистеми до 20–25%;

– підвищити якість електроенергії;

– удосконалювати розподіл енергії в енергосистемі, розвантажити лінії електропередачі, обслуговувати віддалені навантаження, здійснювати швидке введення в енергомережу додаткової потужності для задоволення потреб у пікових і напівпікових потужностях;

– суттєво поліпшити структуру потужностей в енергомережі;

– знизити собівартість електроенергії, виробленої в ГЕЕС.

У пропонованій енергосистемі – ГЕЕС – кількість енергії, яка проходить через накопичувачі перед навантаженням, може досягати 20% і більше за рахунок дворазового використання протягом доби НЕ СЕС, підключених до ГЕЕС.

Введення до енергосистеми локальних розподілених джерел електроенергії, її накопичувачів і перетворювачів збільшує життєздатність і гнучкість такої системи у випадку аварійних ситуацій; знижує навантаження енергосистеми на прикордонний перетворювач і накопичувач в обмінних перебігах електроенергії між енергомережа-

ми; підвищує ефективність шевингування добових, тижневих та річних графіків навантажень; оптимально узгоджує циклічні процеси накопичення денної сонячної електроенергії та енергії нічного «провалу» навантаження з подальшим забезпеченням електроенергією під час пікових і напівпікових навантажень. Розподіленими споживачами можуть бути, наприклад, міський наземний електротранспорт, метрополітен, аеропорт, автовокзали, автомагістралі, віддалені селища або окремі котеджі, підвісні канатні дороги, річкові та морські порти, зарядні станції для електромобілів, поромні переправи та інші об'єкти [13].

З наведеного опису взаємодії фрагментів СЕС і ЕЕС видно, що необхідна кількість електроенергії, яка виробляється сонячними електростанціями, може використовуватися для компенсації піків і вирівнювання добового графіка навантаження, сталої цілодобової роботи СЕС, котрі входять до гібридної електроенергетичної системи.

Ефективність і кількість виробленої електроенергії на СЕС залежить від регіону, конструкції СБ (із системою автоматичного стеження за сонцем чи з фіксованою орієнтацією), від сезону й освітленості (рис. 4, 5). Середньорічне вироблення електроенергії показано на рис. 6.

**Обладнання і технічні характеристики ГЕЕС.** Технічні характеристики і склад обладнання фрагмента ЕЕС (рис. 2,б) відомі, оскільки система діюча, а обладнання і технічні характеристики фрагмента СЕС залежать від ЕЕС.

Для оцінки технічних характеристик гібридної енергосистеми (рис. 2,а) приймемо  $N_{max}$ , що дорівнює 1000 МВт, і тривалість нічного «провалу» навантаження – 8 годин.

Аналізуючи криву добового графіка навантаження, відзначимо, що під час нічного «провалу» генеруючі потужності знижуються до 600 МВт і менше, а втрати потужності ся-

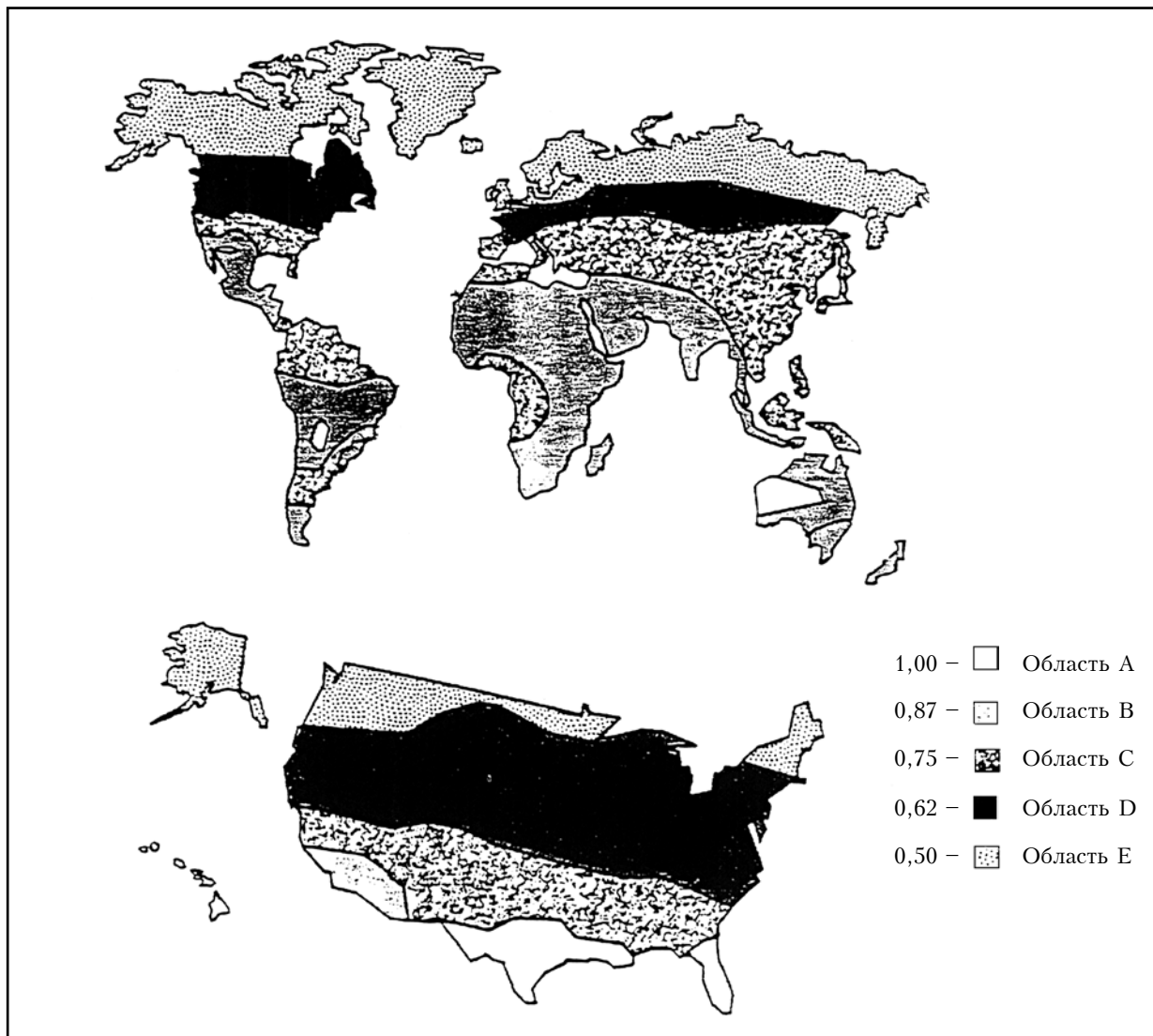


Рис. 4. Карта розподілу сонячної енергії для різних регіонів планети

гають 300 МВт і більше. Отже, електроенергію нічного «провалу» можна оцінити показником  $2400 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$  ( $300 \text{ МВт} \cdot 8 \text{ год.}$ ), тобто 11–13% від добового вироблення. Цю електроенергію необхідно зберегти і використати для компенсації піків і вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми, енергообміну із фрагментом СЕС. Зберегти реально таку кількість електроенергії можна у накопичувальних елементах СЕС.

Визначимо, яку кількість НЕ СЕС можна задіяти у гібридній енергосистемі за умов

споживання електроенергії нічного «провалу», що забезпечує високу ефективність функціонування ГЕЕС.

У практиці експлуатації СЕС використовуються такі варіанти: накопичувальний елемент СЕС має забезпечувати зберігання виробленої електроенергії СБ протягом 5–6 годин (взимку), за повний світловий день (влітку). Ємність НЕ СЕС задається споживачем.

Припустимо, що в ГЕЕС задіяна СЕС встановленої потужності 1–10 кВт (табл. 2).

Виберемо для оцінки СЕС із потужністю 1...5...10 кВт і визначимо ємність НЕ, яка відповідно може мати значення 16, 80 і 150 кВт-год. З таблиці 2 бачимо, що підключені потужності СЕС достатні для компенсації піків і вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми. За рахунок створення ГЕЕС можна значно збільшити встановлену потужність енергогенеруючого обладнання.

Реально фрагмент СЕС формується із систем різної потужності.

Із збільшенням кількості підключених до системи СЕС зростатимуть вироблена електроенергія та її запаси. Це дасть змогу з розвитком системи переглянути склад генеруючого обладнання, яке працює у зоні «піку» і «напівпіку», «гарячого» резерву, а також визначити доцільність будівництва ГЕЕС.

Енергія, що виробляється і запасється в НЕ СЕС, може оперативнo використовуватися для підвищення ефективності роботи у будь-який момент часу. При цьому зростають безаварійність й ефективність роботи енергосистеми, оскільки значні кількості електроенергії генеруються і зберігаються в НЕ СЕС безпосередньо у споживача.

Потужності СЕС, що знову вводяться у систему, не потребують витрат енергоносіїв (вугілля, нафти, газу, ядерного палива), а також води, не забруднюють шкідливими викидами атмосферу, ґрунти і водойми.

Таблиця 2. Оцінка параметрів для ЕЕС встановленої потужності 1000 МВт

Встановлена потужність СЕС, кВт	Ємність НЕ СЕС, кВт-год	Кількість підключених СЕС, шт.	Сумарна встановлена потужність підключених СЕС, МВт
1	16	150 000	150
5	80	30 000	150
10	150–160	15 500	150

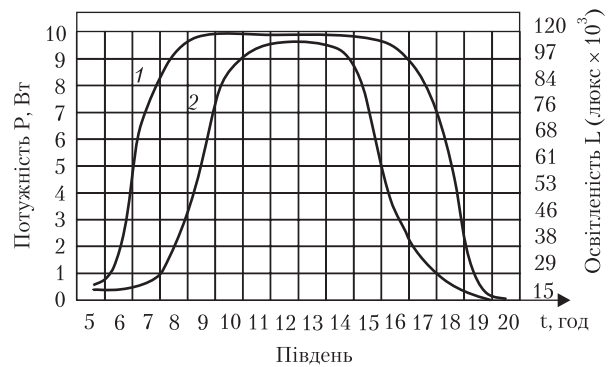


Рис. 5. Залежність вихідної потужності сонячного модуля від азимута і кута місця протягом світлового дня (5.00–20.00). 1 – сумарна енергія протягом світлового дня з орієнтацією площини сонячного модуля по нормалі до Сонця; 2 – з орієнтацією площини сонячного модуля по азимуту на південь і куту місця 60°

Для спорудження ГЕЕС не потрібні ні капітальне будівництво, ні створення інфраструктури, ні збільшення висококваліфікованого персоналу, адже обслуговування безпосередньо здійснює власник СЕС.

Зростання кількості СЕС, що підключаються до ГЕЕС, збільшує обсяги електроенергії, яка генерується і запасється. Це наближає ГЕЕС за технічними характеристиками до ідеального пристрою, в якому реалізується можливість розподілені у часі періодів генерації та споживання електроенергії.

Завдяки генеруючій електроенергії СЕС, використанню НЕ СЕС (два цикли заряд-розряд на добу) підвищується ефективність діючого енергогенеруючого обладнання ГЕЕС, зростає частка екологічно чистої електроенергії у загальному балансі енергосистеми. Крім того, до 25% електроенергії ГЕЕС надходить до споживача, пройшовши через НЕ, що підвищує ефективність і безаварійність системи.

СЕС усіх типів, у тому числі і ті, що входять до ГЕЕС, органічно поєднуються із паливними елементами (ПЕ). Вони стають складовими частинами СЕС і з їхньою до-

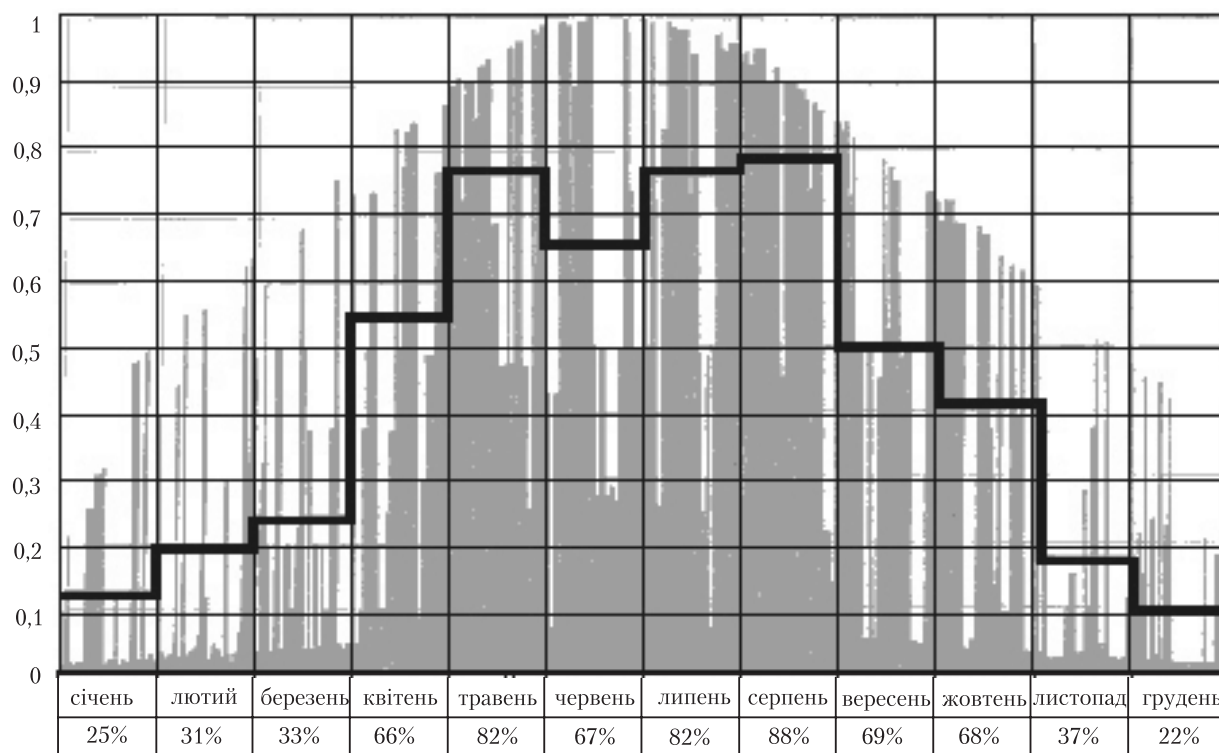


Рис. 6. Графік річного вироблення енергії за умови автоматичного стеження за Сонцем

помогою розв'язується питання автономності і роботоздатності ГЕЕС.

ПЕ здійснюють пряме перетворення енергії палива на електроенергію з к.к.д. до 70%, характеризуються великою ємністю запасного палива і тривалим терміном його зберігання, можуть експлуатуватися до 30 років і витримувати значну кількість робочих циклів.

СЕС у поєднанні з ПЕ ставлять сонячну енергію поза конкуренцією порівняно з іншими способами генерації електро- і теплової енергії. Уже сьогодні СЕС відзначаються високою ефективністю і роботоздатністю протягом усього року, на всіх широтах і за будь-яких погодних умов.

Розробки ФЕП, ФЕМ і СЕС різними країнами світу досягли досить високого рівня. Настав час створення великих підприємств для їх промислового виготовлення. За умов великомасштабного виробництва сонячна

енергетика стане економічно конкурентоспроможною з традиційними способами генерації електроенергії (спалювання вугілля, нафти, газу і ядерного палива). Однак як екологічно чисте джерело електроенергії вона вже тепер поза конкуренцією.

Питання створення ГЕЕС розглянуті концептуально, з метою демонстрації можливостей таких енергосистем. Тепер потрібно широко розгорнути дослідження і практичні розробки ГЕЕС.

В Україні є всі необхідні природні ресурси, переробні та машинобудівні підприємства для налагодження сучасного виробництва СЕС і ПЕ різного призначення. Проблема лише у фінансуванні, в активній державній підтримці розвитку сонячної енергетики. А її широке використання сприятиме розв'язанню вузлових проблем паливно-енергетичного комплексу і збереженню довкілля.

Адже фахівці й експерти передбачають, що до 2020 року з усієї вироблюваної у світі електроенергії 15% становитиме сонячна – це понад 750 ГВт енергогенеруючих потужностей. Фотоенергетика виходить на перше місце серед відновлюваних джерел енергії.

Сьогодні формується величезний світовий ринок СЕС і ПЕ. За оцінками експертів, ринок продажу СЕС і ПЕ становитиме 1–2 трильйони доларів США на рік.

Запропонований варіант реконструкції та розвитку діючих ЕЕС – за рахунок підключення індивідуальних і комерційних СЕС до ГЕЕС – і створення галузі сонячної енергетики є виправданим і реальним, оскільки основним інвестором стає населення регіону, який забезпечуватиметься електроенергією впровадженої ГЕЕС. Особливо це актуально для півдня України. Адже тут промислові підприємства і зрощуване землеробство постійно відчують брак електроенергії, а великі природні можливості відкривають широку перспективу для розвитку фотоенергетики.

1. *Розанов Б.Г.* Основы учения об окружающей среде: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Моск.ун-та, 1984. – 376 с.
2. *Франсуа Рамад.* Основы прикладной экологии. – Ленинград, 1981.
3. *Christopher Flavin and Nicolas Lenssen.* Power Surge, Guide to Coming Energy Revolution, w.w. Norton Company, 1994. – 300 p.
4. *Renewable Every World.* – 2001. – 4. – N 3. – P. 62–64.
5. *Photovoltaic Insider's Rept.* – 1999. – 18. – N 9. – P. 6.
6. *Sonnenergie und Wärmetechn.* – 2000. – N 2. – P. 38.
7. Дослідження особливостей вживання і ефективності фотоелектричних перетворювачів на основі

аморфного кремнію в умовах України // *Бровкін Ю.М., Плаксін С.В., Шкіль Ю.В., Юрко В.В.* Електротехніка та електроенергетика. – 2002. – № 2. – С. 64–68.

8. 100MW Manufacturing Plant, ECD. – October, 1998.
9. IEEE Recommended Practice for Utility Interface Photovoltaic (PV) Systems. IEEE Std 929-2000.
10. *Юрко В.В., Шкіль Ю.В.* Сонячна енергетика: проблеми і рішення // Екологія і ноосферологія. – 2002. – Т. 12. – № 3–4. – С.16–31.
11. *Аршеневский Н.Н., Губин Ф.Ф.* и др. Гидроэлектрические станции. – М.: Энергия, 1980. – 368 с.
12. *Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г.* Накопители энергии в электрических системах / Уч. пособие для электроэнергет. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 159 с.
13. Система генерування, накопичування і розподілу електроенергії. / *Дзензерський В.О., Плаксін С.В., Соколовський І.І., Шкіль Ю.В., Юрко В.В.* – №2003043856: Заявл. 25.04.2003. Утв.31.10.2003.

*С. Плаксін, Ю. Шкіль, В. Юрко*

#### ГІБРИДНІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

##### Резюме

Розглядаються концептуальні питання і практичні аспекти створення гібридних електроенергетичних систем з використанням модулів перетворення сонячної радіації. Акцентується увага на великій економічній ефективності й екологічній чистоті виробленої у таких системах електроенергії.

*S. Plaksin, Yu. Shkil', V. Yurko*

#### HYBRID POWER SYSTEMS

##### Summary

The concept issues and practical aspects of hybrid electrical power systems formation applying solar radiation transformation modules are considered. The attention is focused on high economic efficiency and ecological cleanness of energy that is generated in such systems.