

**Б.І. Басок, Т.Г. Беляєва, І.К. Божко,  
О.М. Недбайло, В.Г. Новіков, М.А. Хибина**

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

## **СИСТЕМА ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО БУДИНКУ ТИПУ 0-ЕНЕРГІЇ (ПЛОЩЕЮ 300 м<sup>2</sup>) НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ І АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**



*Наведено результати розробки та впровадження системи електрозабезпечення експериментального будинку типу 0-енергії на основі використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії. Розроблено CDF-модель, за допомогою якої визначені оптимальні умови для розміщення вітрових енергетичних установок в межах забудови.*

*Ключові слова: пасивний будинок, будинок 0-енергії, енергоефективний будинок, вітроенергетична установка, сонячна електрична панель.*

Люди впродовж усього цивілізаційного розвитку постійно зверталися до використання природної енергії (вітряні та водяні млини), а сьогодні більш прогресивні аналоги – вітрогенератори та гідроелектростанції. Повноцінне використання головного джерела відновлюваної енергії Сонця обмежувалося технологічним рівнем цивілізації. Досягнення в галузі використання сонячної енергії за останні 20–30 років зробили можливим її масштабне використання не лише з науково-дослідницькою метою, а й для виробництва теплової та електричної енергії. Впровадження відновлюваних технологій може стати запорукою гарантії високого рівня статків та життєвих стандартів для наступних поколінь.

За даними New York Times процес здешевлення сонячної та вітрової енергії почався п'ять років тому і значно прискорився у 2014 році.

Не в останню чергу такі успіхи у використанні «зеленої» енергії у США досягнуті завдяки субсидіям держави. Однак аналіз показує, що навіть без підтримки держави альтернативні джерела можуть змагатися з традиційними. За оцінками консультативної компанії Lazard на сьогоднішній день в США ціна сонячної енергії опустилася до 5,6 цента за кіловат-годину, вітряної – до 1,4 цента, в той час як електроенергія від спалювання природного газу вартує приблизно 6,1 цента, а вугілля – 6,6 цента. Аналітики порахували, що без субсидій сонячні кіловати будуть коштувати 7,2 цента, вітряні – 3,7 цента. Що стосується Європи, то лідером з використання відновлюваної енергії є Данія. Близько 43 % всієї електроенергії в країні генерується за рахунок вітру, а протягом наступних п'яти років заплановано досягти значення цього показника до 55 %.

Україна має потужні ресурси вітрової енергії: річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 ТВт · год/рік (за даними

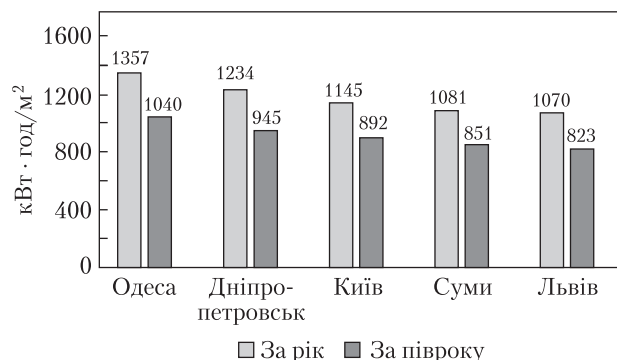


Рис. 1. Кількість енергії сонячної радіації, що доходить до поверхні Землі

Міжгалузевого науково-технічного центру вітроенергетики Національної академії наук України). У результаті обробки статистичних метеорологічних даних з швидкості та повторюваності швидкості вітру проведено районування території України за швидкостями вітру і визначено питомий енергетичний потенціал вітру на різній висоті відповідно до зон [1]. Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру дорівнює близько 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Миколаївській областях та в районі Карпат. Слід зазначити, що окрім розвитку комерційної вітроенергетики в Україні є необхідність розвивати некомерційну, в першу чергу — «сільську», «фермерську», «для двору». Такі самостійні невеликі системи для живлення віддалених районів, що служать децентралізації енергопостачання, дозволяють диверсифікувати джерела енергії і можуть зробити Україну більш енергонезалежною.

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і електроенергетичного обладнання практично в усіх областях. На рис. 1 показані величини енергії сонячної радіації, що доходить до Землі протягом року на 1 м<sup>2</sup> горизонтальної поверхні в регіонах, пред-

ставлених п'ятьма українськими містами. За 6 місяців теплового періоду року на поверхню Землі потрапляє велика доля річної кількості сонячної енергії.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 м<sup>2</sup> поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1070 кВт × год/м<sup>2</sup> в північній частині України до 1400 кВт × год/м<sup>2</sup> у південній частині. Згідно з метеорологічними спостереженнями останніх десяти років на Україну припадає від 100 до 200 сонячних днів на рік в залежності від регіону. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні (1235 кВт · год/м<sup>2</sup>) є вищим, ніж, наприклад, у Німеччині — 1000 кВт · год/м<sup>2</sup> чи у Польщі — 1080 кВт · год/м<sup>2</sup>. Це дає великі можливості для ефективного використання теплоенергетичного обладнання. За таких умов геліоустановка працюватиме з віддачею в 60 % і більше, а це 9 місяців в південних областях України (від березня до листопада), і 7 місяців — в північних областях (від квітня до жовтня). Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися протягом усього року.

Для світової практики будівництва енергоефективних будівель з нульовим енергетичним балансом та їх систем електрозабезпечення характерне використання енергії Сонця (фотоелектричні панелі), гібридних систем вироблення електричної енергії (вітер + Сонце). Крім того, популярними є такі рішення, як максимальне використання денного освітлення, світловодів, адаптація до обмеженої кількості доступної електричної енергії, акумулювання електричної енергії. Використання вітрової енергії обмежене у районах міських забудов. Для оснащення будинків 0-енергії використовуються енергозберігаюче устаткування та енергоекономічні прилади [2, 3].

### МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження, що виконувалося в Інституті технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАНУ) згідно з інноваційним науково-технічним проектом за договором № 34 від 17

березня 2014 року з Президією Національної академії наук України, є розробка концептуальних підходів, інноваційних технічних рішень, створення на їх основі системи електропостачання експериментального будинку пасивного типу загальною площею до 300 м<sup>2</sup> на території Інституту технічної теплофізики НАН України та доведення цієї будівлі до рівня будинків типу 0-енергії. Крім того, була поставлена задача визначення енергетичної та економічної доцільності комплексу заходів з оптимізації енергоспоживання будівлі до рівня західноєвропейського будинку типу 0-енергії, а в подальшому створення «розумного» будинку і реалізація будинку як Micro Smart Grid 0-Energy системи. Для досягнення зазначеної мети дослідження були проведені такі заходи:

- ✦ проаналізовано світовий досвід будівництва енергоефективних будівель типу 0-енергії та їх систем електрозабезпечення;
- ✦ здійснено вибір необхідного та найбільш ефективного обладнання для створення системи електрозабезпечення експериментального пасивного будинку типу 0-енергії;
- ✦ розроблено числову тривимірну модель визначення оптимальних умов для розміщення вітрових енергетичних установок в межах забудови, необхідних для електрозабезпечення будинку;
- ✦ розроблено систему електрозабезпечення пасивного будинку типу 0-енергії на основі відновлюваних та альтернативних джерел енергії.

Під терміном «дім 0-енергії» (на ділянці) — «Zero net site energy use» — розуміється, що кількість енергії, яка виробляється в будинку і на прилеглій земельній ділянці з відновлюваних джерел енергії, дорівнює сумі енергії, яка використовується в будівлі. Аналіз світової практики будівництва енергоефективних будівель типу 0-енергії [4] дозволив виявити тенденції, мотивацію створення, а також методи, які використовуються для досягнення нульового енергетичного балансу. Типовим при створенні невеликих житлових будинків 0-енер-

гії є комбінація технології пасивного будинку з сонячними тепловими колекторами, використанням теплового насосу, фотоелектричними модулями, низькотемпературними системами опалення.

Створений в ІТТФ НАН України експериментальний будинок — це повномасштабний (чотири повноцінних поверхи, п'ятий поверх — горище, опалювальна площа — 266,6 м<sup>2</sup>) лабораторно-промисловий стенд для перевірки в реальних кліматичних умовах як окремих будівельних конструкцій, так і всієї будівлі в цілому, а також сучасних систем енерго- та ресурсозабезпечення головним чином на основі відновлюваних та альтернативних джерел енергії.

У будинку, як в теплофізичній лабораторії, передбачено автоматизовані безперервні цілодобові (з інтервалом від однієї хвилини до однієї доби) вимірювання полів температур, теплових потоків, вологості, тиску, витрат повітря, витрат теплоносія, витрат теплової та електричної енергії, освітленості, зовнішніх кліматичних параметрів з електронним архівуванням отриманих експериментальних даних. Є можливість проводити тепловізійні і пірометричні виміри. Передбачено також вимірювання теплофізичних властивостей будівельних матеріалів і конструкцій в реальних умовах експлуатації та їх трансформаційних змін у тривалому часі. На даний час у конструкції будинку налічується більше 400 одиниць датчиків температури, теплового потоку, вологості і т.п. Довгочасні виміри проводяться в будівельних конструкціях, в ґрунтових теплообмінниках, в приміщеннях і в повітрі. Проводяться також кліматичні вимірювання, включаючи вимірювання сонячної інсоляції. Кліматичні умови постійно вимірюються портативною автоматичною метеорологічною станцією, а сонячна інсоляція вимірюється при різних кутах нахилу і при різних сторонах світу спеціально розробленими піранометрами оригінальної конструкції.

Концепція будинку 0-енергії допускає широкий спектр підходів до способів виробницт-

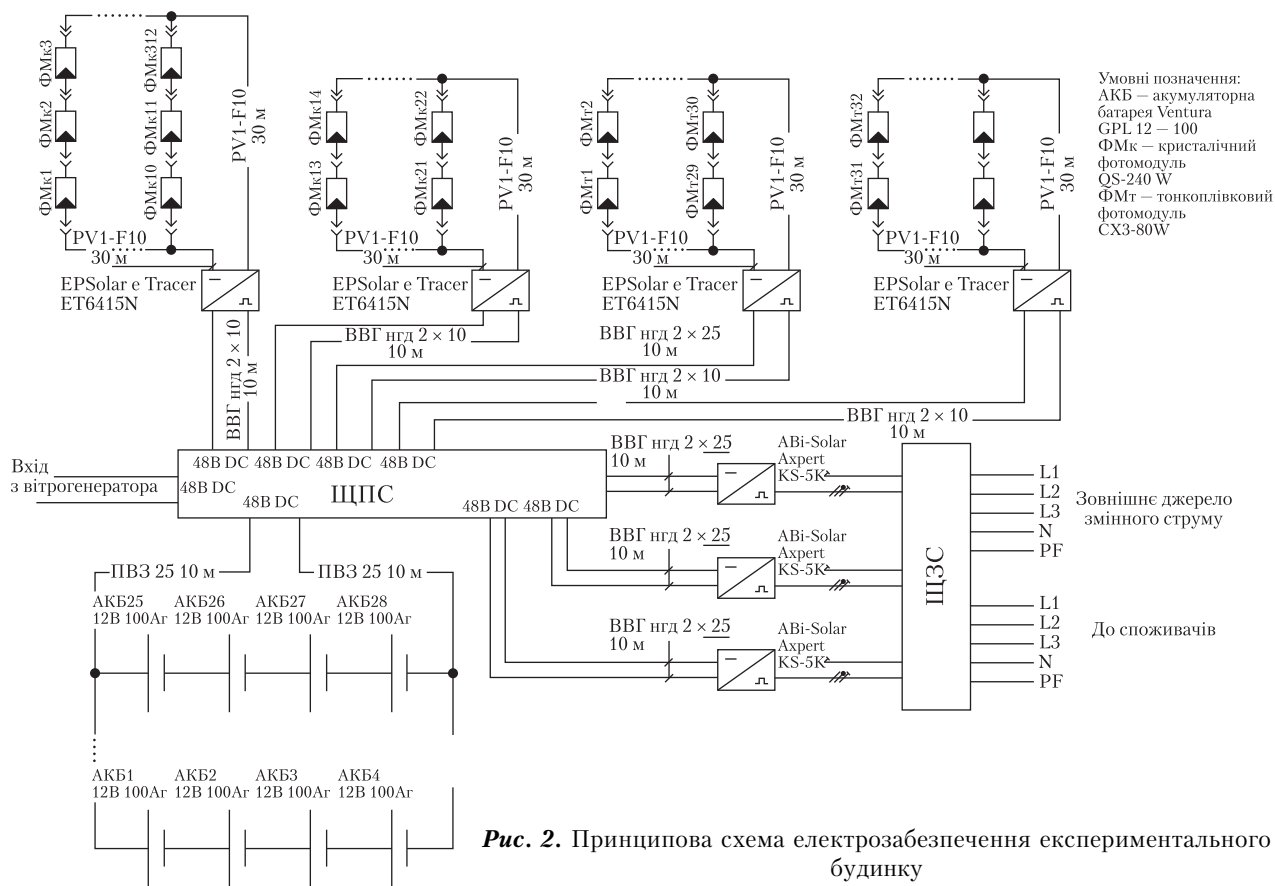


Рис. 2. Принципова схема електрозабезпечення експериментального будинку

ва, збереження та обліку енергії [2]. В експериментальному будинку 0-енергії ІТТФ НАНУ реалізована автономна полівалентна теплонасосна система теплозабезпечення [3]. У цокольному поверсі будівлі розташовано тепловий насос і сезонні об'ємні баки-акумулятори теплоти. Опалення експериментального будинку проводиться на базі акумуляційних низькотемпературних, середньотемпературних теплонасосних опалювальних систем типу: тепла водяна підлога (типова і капілярна), тепла акумуляційна електрична підлога; тепла водяна стіна, повітряні фенкойли; тепла завіса стін. Заплановано використання резервної когенераційної системи для виробництва електричної та теплової енергії на основі електрогенератора потужністю до 4 кВт електроенергії та 5 кВт теплової енергії. Для системи опалення використовується резервний автоматизований котел,

що працює на біопаливі, потужністю 5–6 кВт теплової енергії [3].

Для електропостачання використовується сонячна енергія (система фотоелектричних елементів потужністю 10,7 кВт (з системою електроакумуляування на 10 год роботи) і енергія вітру (горизонтальний вітрогенератор на висоті 30 м). Сонячні елементи розташовуються на односкатному даху з південного боку будинку. Принципова схема електрозабезпечення наведена на рис. 2.

### СХЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

Для кліматичних умов північної України доцільним є використання автономної гібридної системи *сонце–вітер*. Така система дозволяє здійснювати практично безперебійне живлення за рахунок поновлюваних джерел енер-

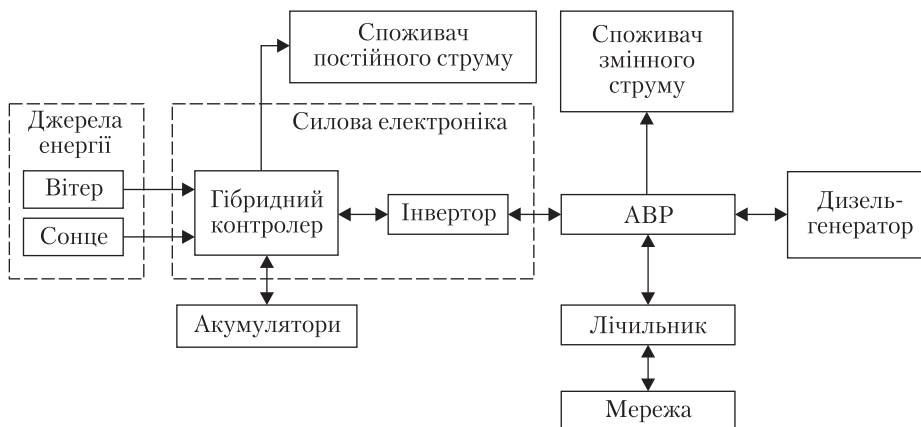


Рис. 3. Структурна схема електрозабезпечення на базі відновлюваних джерел енергії

гії. Обрана гібридна система електропостачання складається з вітрогенератора, сонячних модулів, інвертора, контролера заряду, акумуляторних батарей. Джерелами енергії є система полікристалічних та тонкоплівкових фотомодулів, які розташовані на односкатному даху з південного боку будинку, та вітровий електрогенератор Fortis Montana потужністю 5 кВт, змонтований на вищій висотою 30 м. Вироблена вітрогенератором та фотомодулями електроенергія через зарядні пристрої заряджає акумуляторну станцію, електрична енергія з блоку акумуляторних батарей надходить в інвертор, де постійний струм перетворюється в змінний (220 В / 50 Гц).

Комбінування різних джерел відновлюваної енергії дає можливість створити систему електропостачання для експериментального будинку, яка задовольняє вимогам потужності, часу безперебійної роботи та вартості. На рис. 3. наведена структурна схема поєднання вітрової та сонячної енергії для електрозабезпечення експериментального будинку типу 0-енергії.

#### ВИБІР ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ

Роботу всього комплексу визначають три основні параметри:

1) вихідну потужність комплексу забезпечує інвертор (його вибір здійснюється за піковим миттєвим навантаженням всіх енергоспоживачів, які можуть бути включені одночасно);

2) час безперервної роботи при відсутності вітру або при слабкому вітрі, при відсутності сонця або слабкому рівні сонячної інсоляції визначається ємністю акумуляторних батарей ( $A \cdot \text{год}$ ) і залежить від потужності і тривалості споживання;

3) швидкість заряду акумуляторних батарей ( $\text{кВт} \cdot \text{год}$ ) залежить від потужності вітрогенератора та сонячної електростанції. Також цей показник залежить: а) для вітроустановки — від швидкості вітру, висоти щогли і рельєфу місцевості (більш потужний генератор слід брати в тому випадку, якщо вітер в місці установки слабкий або електроенергія споживається постійно, але в невеликих кількостях); б) для сонячної станції — від рівня сонячної активності, пори року та часу дня (для збільшення потужності системи встановлюють більш потужні фотомодулі або збільшують їх кількість).

Для збільшення швидкості заряду акумуляторів використовують кілька джерел живлення одночасно і здійснюють їх підключення до однієї акумуляторної батареї.

При підборі джерел живлення і допоміжного обладнання враховувалось:

- ✦ кількість електроенергії, необхідної експериментальному будинку щомісяця;
- ✦ бажаний час автономної роботи енергосистеми в безвітряні та безсонячні періоди або періоди, коли споживання енергії з акумуляторів.

ляторів буде перевищувати швидкість зарядки акумуляторних батарей джерелом електроенергії (даний параметр визначає кількість і ємність акумуляторних батарей);

- ✦ максимальне навантаження на мережу (в пікові моменти враховувалось при підборі інвертора змінного струму).

Таблиця 1

**Технічні характеристики фотомодулів QSolar QS-240W**

Характеристика	Значення
Напруга постійного струму, В	24
Напруга при максимальній потужності, В	30,5
Напруга холостого ходу, В	37,7
Номинальна потужність сонячної батареї, Вт	240
Тип кремнію	полікристалічний
Струм короткого замикання, А	8,42
Струм при максимальній потужності, А	7,87
Коефіцієнт корисної дії, %	14,6
Вага, кг	20
Розміри (довжина, ширина, висота), мм	1655 × 992 × 45

Таблиця 2

**Технічні характеристики фотомодулів Caluxo CX3 80 Вт**

Характеристика	Значення
Номинальна потужність сонячної батареї, Вт	80
Напруга при максимальній потужності, В	47
Напруга холостого ходу, В	62,8
Струм короткого замикання, А	2,01
Струм при максимальній потужності, А	1,72
Вага, кг	12
Розміри (довжина, ширина, висота), мм	1200 × 600 × 6,9

**СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ**

За попередніми розрахунками загальне електроспоживання експериментального будинку (за умови використання енергозберігаючих технологій) не перевищуватиме 100 кВт · год на місяць. Діаграма, наведена на рис. 4 (див. кольорову вклейку), ілюструє складність забезпечення стабільного вироблення електричної енергії з використанням енергії Сонця у грудні місяці. Середня сумарна кількість сонячної інсоляції протягом грудня для м. Києва (кут нахилу приймаючої поверхні 33°) складає 1,121 кВт · год/м<sup>2</sup> в день.

У системі електропостачання експериментального будинку використані 22 полікристалічні фотомодулі QSolar QS-240W потужністю 240 Вт та 60 тонкоплівкових фотомодулів Caluxo CX3 80 Вт із телуриду кадмію потужністю 80 Вт. Характеристики модулів наведені в табл. 1 та 2 відповідно.

Розрахунок вироблення електричної енергії сонячною станцією виконано програмою PVSyst за метеорологічними даними Meteonorm. Результати розрахунку наведені в табл. 3.

Таким чином, річне виробництво електричної енергії фотомодулями складає: 11 378 кВт × год. Дана система відрізняється високою гнучкістю і масштабованістю, можливістю підключення будь-яких джерел змінного струму і ефективністю використання сонячної енергії завдяки застосуванню інвертора з високою вхідною напругою (порядку 600 В) і технологією відслідковування точки максимальної потужності в інверторі.

**ВІТРОГЕНЕРАТОР**

Частина електроенергії, необхідної для будинку протягом місяця, має бути забезпечена за рахунок вітрогенератора. При витраті електроенергії 1500 кВт · год на місяць середнє щогодинне споживання електроенергії складає 2083 Вт · год. Швидкість заряду акумуляторних батарей вітрогенератором повинна бути не меншою.

У м. Києві та Київській області середньорічна швидкість вітру невисока. Крім того, вітрогенератор встановлено в умовах міської забудови, це дозволить йому працювати з навантаженням до 70÷75 % від номінальної потужності. Для того щоб за цих умов забезпечити заряд акумуляторних батарей генератором зі швидкістю 2083 Вт · год та враховуючи використання ще одного джерела енергії (сонячних модулів) для електроживлення об'єкту доцільним буде встановлення вітрогенератора з номінальною потужністю, не меншою від розрахованого значення середнього щогодинного споживання. Для перетворення енергії вітру в електричну енергію постійного струму напругою 48 В для заряду акумуляторних батарей використовується вітрогенератор Fortis Montana з встановленою потужністю 5 кВт з вбудованим контролером заряду свинцево-кислотних акумуляторних батарей. Отже, вітрогенератор з номінальною потужністю 5 кВт в умовах міської забудови м. Києва зможе забезпечити до 3,75 кВт потужності. Характеристики вітрогенератора Fortis Montana наведені в табл. 4. Розрахунок вироблення електричної енергії вітрогенератором Fortis Montana, який

встановлено на щоглі висотою 30 м, надано Інститутом відновлювальної енергетики НАН України (табл. 5).

Таким чином, річне вироблення електроенергії вітрогенератором Fortis Montana, який встановлено на щоглі висотою 30 м, складає 3469 кВт · год, середньодобове — 9,504 кВт · год, середньомісячне — 285,12 кВт · год.

#### РОЗМІЩЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Для визначення місця оптимального розташування вітрогенератора було розроблено CFD-модель та проведено моделювання аеродинамічної обстановки на ділянці розташування експериментальної будівлі. На рис. 5 (див. кольорову вклейку) наведено розрахункову область.

Будинки і споруди моделюються прямокутниками, що зберігають їх основні геометричні розміри і конфігурацію: 1—4 — корпуси ІТТФ НАН України (20 × 60 × 11 м); 5 — дослідне виробництво — будівля складної конфігурації, в плані займає квадрат 60 × 60 м, висота будівлі 9 м, відстань між цехами 20 м; 6 — гараж (35 × 17 × 3 м); 7 — трансформаторна підстанція (8 × 15 × 4 м); 8 — експериментальний будинок 0-енергії (10 × 8 × 13 м); 9 — корпус № 5 (71 ×

Таблиця 3

Результати розрахунку вироблення електричної енергії сонячною станцією

	Інсоляція на горизонтальну поверхню, кВт · год/м <sup>2</sup>	Температура повітря, °С	Інсоляція кВт · год/м <sup>2</sup>	Енергія з фотомодулів, кВт · год
Січень	28,0	-4,20	42,4	339
Лютий	48,0	-3,70	70,4	596
Березень	88,0	1,90	109,6	947
Квітень	122,0	8,50	135,7	1163
Травень	185,0	15,20	191,6	1621
Червень	178,0	18,00	176,0	1470
Липень	176,0	19,10	175,6	1459
Серпень	156,0	18,50	170,0	1418
Вересень	101,0	14,10	119,9	999
Жовтень	67,0	8,00	95,5	802
Листопад	29,0	1,30	40,3	317
Грудень	21,0	-2,00	32,6	247

× 17 × 29 м). Розміри розрахункової області –  $x = 295$  м,  $y = 320$  м,  $z = 60$  м – визначені в залежності від висоти найвищої будівлі в комплексі.

Вихідні дані про силу й напрямки вітру в досліджуваній області відповідають даним метеорологічної станції «Жуляни», при цьому використані експериментальні вимірювання швидкості і напрямку вітру, які проводилися протягом 2-х років з інтервалом осереднення 3 години. Подальша обробка даних фахівцями ІТТФ НАНУ дала можливість побудувати відповідну розу вітрів (див. рис. 6, кольорова вклейка) і визначити середню швидкість вітру по 8 румбах (див. табл. 6).

З наведених даних видно, що в районі дослідження переважають західні і південно-західні вітри.

**Характеристики вітрогенератора**

Таблиця 4

Характеристика	Значення
Номинальна потужність, кВт	5
Вихідна напруга, В	380/220, три фази
Номинальна швидкість вітру, м/с	8
Діаметр вітроколеса, м	6,7
Орієнтація за вітром	за допомогою кіля
Навітряне положення	відносно щогли
Загальна маса, кг	200
Висота щогли, м	30

**РЕЗУЛЬТАТИ CFD-МОДЕЛЮВАННЯ**

Результати CFD-моделювання наведено графічно на рис. 7–14 (див. кольорову вклейку).

Чутливість рішення до просторової дискретизації:

коефіцієнт швидкості

$$K_s = \frac{U - U_{in}}{U_{in}}; \quad (1)$$

потужність вітрового потоку

$$P = C_p A \frac{\rho U^3}{2}; \quad (2)$$

інтенсивність турбулентності

$$I_t = \frac{\sqrt{\frac{2}{3} K}}{U}; \quad (3)$$

нормалізована кінетична енергія турбулентності

$$TKE = \frac{K}{U_{in}^2}. \quad (4)$$

Створена нами чисельна модель процесів переносу при взаємодії вітрового потоку в приземному шарі атмосфери з комплексом бу-

**Результати розрахунку виробництва електричної енергії вітрогенератором**

Таблиця 5

Місяць	Енергія, [кВт · год]
Січень	300
Лютий	247
Березень	507
Квітень	283
Травень	330
Червень	249
Липень	205
Серпень	286
Вересень	156
Жовтень	261
Листопад	255
Грудень	390

**Напрямок та швидкість вітру**

Таблиця 6

Румб	Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
Роза вітрів	4 %	6 %	13 %	10 %	17 %	14 %	21 %	8 %
Середня швидкість вітру, м/с	3,4	3,9	3,4	3,0	3,4	3,2	5,0	4,7



дівель і споруд, компактно розташованих в межах міської забудови, дала можливість отримати тривимірні поля швидкостей і тисків вітрового потоку, а також тривимірні поля параметрів вітрового потоку: коефіцієнт швидкості, потужність вітрового потоку, інтенсивність турбулентності, кінетичну енергію турбулентності, необхідних для розв'язання задачі оптимального розміщення вітроенергетичної установки в умовах міської забудови. Таким чином, було показано, що найбільш раціонально розмістити вітроенергетичну установку збоку корпусу № 5.

#### АПАРАТУРА УПРАВЛІННЯ, АКУМУЛЮВАННЯ ТА ЗАХИСТУ

Для запобігання аварійних режимів заряду акумуляторних батарей від фотоелектричних перетворювачів та збільшення ефективності використання енергії з фотомодулів застосовуються контролери заряду EPSolar eTracer ET6415N. Для безпечної роботи та обслуговування контролера заряду окремо встановлюються пристрої захисту від перевантажень з можливістю відключення від постійного струму. Сонячна станція з 22-х кристалічних фотомодулів (потужність 5280 Вт) та 60-и тонкопліткових фотомодулів (потужність 4800 Вт) потребує 4 контролери заряду. У системі використовується спеціальний кабель для сонячних батарей із додатковою ізоляцією, що дозволяє знизити втрати електричної енергії на ділянці від сонячних батарей до контролера від 5 до 40 %. Для збільшення вихідної потужності паралельно встановлені 3 інвертори Ахpert KS–5K (характеристики див. у табл. 7). Інвертор Ахpert KS–5K забезпечує постійне навантаження 4 кВт і короткочасне навантаження (до 5 с) 8 кВт. Значення гранично допустимого короткочасного навантаження при паралельному з'єднанні 3-х інверторів складає 24 кВт.

Для зменшення ризику пошкодження інвертора використовуються свинцево-кислотні акумуляторні батареї глибокого розряду. Су-

марна ємність акумуляторних батарей для системи складає 700 А · год. Для забезпечення безперебійного електропостачання встановлено систему акумуляторів Ventura GPL12-100, характеристики яких наведені в табл. 8.

Для з'єднання акумуляторів в батареї застосовано послідовно-паралельний тип з'єднання, тобто такий, що збільшує як ємність, так і напругу акумуляторів.

Таблиця 7

#### Технічні характеристики інвертора Ахpert Аbi–Solar KS–5K

Характеристика	Значення
Номінальна потужність, кВт	5 кВА/4
Форма вихідної напруги	чиста синусоїда
Вихідна напруга, В	230 ± 5 %
Вихідна частота, Гц	50
Напруга постійного струму, В	48
Споживання без навантаження, Вт	< 50
Струм, що споживає інвертор, А	20
Струм заряду (широко-імпульсна модуляція), А	50
Напруга акумуляторної батареї, В	48
Розміри, мм	120 × 295 × 468

Таблиця 8

#### Характеристики АКБ Ventura GPL12-100

Характеристики	Значення
Номінальна напруга, В	12
Ємність, А · год	100
Робочий діапазон температур, °С	-15– +50
Максимальний зарядний струм, А	19,5
Напруга циклічного заряду, В	14,5–14,9
Напруга буферного заряду, В	13,6–13,8
Вплив температури на ємність 40 °С /25 °С/0 °С/–15 °С	102 % /100 % /85 % /65 %
Максимальний розрядний струм (5 с), А	650
Габаритні розміри, мм	330 × 172 × 224
Вага, кг	29,6
Технологія виготовлення	AGM

Загальне річне вироблення електроенергії вітрогенератором та фотоелектричними модулями складає 14 874 кВт · год, середнє добове — 40,751. Діаграма розподілу загального вироблення електроенергії гібридною системою *сонце—вітер* наведена на рис. 15 (див. кольорову вклейку). Мінімальне добове значення становить 19,067 кВт · год, максимальне — 62,935.

Таким чином, у найсприятливіші місяці року можна досягти загального вироблення електричної енергії сонячною станцією та вітрогенератором близько 2000 кВт · год, чого цілком достатньо для експлуатації експериментального будинку.

### ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи здійснено:

- ✦ вибір необхідного та найбільш ефективного обладнання, що буде використано в системі електрозабезпечення пасивного будинку 0-енергії;
- ✦ розроблено систему електрозабезпечення експериментального будинку на основі відновлюваних та альтернативних джерел енергії;
- ✦ розроблено числову тривимірну модель визначення оптимальних умов для розміщення вітрових енергетичних установок в межах забудови.

В результаті проведених розрахунків і отриманих тривимірних полів параметрів вітрового потоку були вибрані можливі місця раціонального розміщення вітрогенератора в умовах міської забудови на території ІТТФ НАНУ.

При виборі оптимальної схеми електрозабезпечення експериментального будинку розглядалося декілька варіантів і визнано найбільш доцільним використання гібридної системи *сонце—вітер*. Комбінування різних джерел відновлюваної енергії дозволяє створити систему електропостачання для експериментального будинку, яка задовольняє вимогам потужності, часу безперебійної роботи та вартості.

Виконані розрахунки засвідчують, що кількості електричної енергії, отримуваної з фотомодулів (загальна встановлена потужність со-

нячної станції — 10,7 кВт) та вітрогенератора (номінальна потужність — 5 кВт), цілком достатньо для забезпечення будинку загальною площею 266,6 м<sup>2</sup>.

Кількість електричної енергії, що виробляється гібридною системою (сонячною електричною станцією і вітроелектричною установкою Fortis 5 кВт) у найбільш сприятливі періоди року, досягає 2000 кВт · год на місяць або навіть перевершує цей показник. Середнє добове виробництво електричної енергії даною системою складає близько 45 кВт · год, чого цілком достатньо для електрозабезпечення звичайного житлового будинку (не кажучи вже про енергоефективний).

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії*. — К.: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2008. — 54 с.
2. *Долінський А.А., Басок Б.І., Недбайло О.М. та ін.* Концептуальні основи створення експериментального будинку типу «нуль енергії» // 36. наук. пр. «Будівельні конструкції» — Київ, Вип.77 (2013). — С. 222—227.
3. *Басок Б.І., Божко І.К., Беляєва Т.Г. та ін.* Полівалентна система теплозабезпечення експериментального будинку пасивного типу (площею 300 м<sup>2</sup>) на основі використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії // Наука та інновації. — 2014. — Т. 10. — № 6. — С. 34—51.
4. *Басок Б.І., Хибина М.А., Беляєва Т.Г.* Энергоэффективные дома типа «ноль энергии». Принципы создания и пути развития // Промышленная теплотехника. — 2013. — Т. 35. — № 6. — С. 57—66.
5. *Басок Б.І., Недбайло А.Н., Хибина М.А., Беляєва Т.Г.* Дом «ноль энергии» на основе использования альтернативных и возобновляемых источников энергии // Материалы Международной конференции «Украина—Россия—Сколково. Единое инновационное пространство», 22—23 мая 2013 г., Киев, с. 99.

### REFERENCES

1. *Atlas energetichnogo potencialu netradicijnih ta vidnovljуваних dzherel energii*. Kyiv: Institut vidnovljуваної energetiki NANU, 2008 [in Russian].
2. Dolins'kij A.A., Basok B.I., Nedbajlo O.M. ta in. Konceptual'ni osnovi stvorennja eksperimental'nogo budinku tipu «nul' energii». *3b. nauk. pr. «Budivel'ni konstrukcii»*. Kyiv, Vip.77 (2013). S. 222—227 [in Russian].

3. Basok B.I., Bozhko I.K., Beljaeva T.G. та in. Polivalentna sistema teplozabezpechennja eksperimental'nogo budinku pasivnogo tipu (ploshheju 300 m<sup>2</sup>) na osnovi vikoristannja vidnovljuvanih ta al'ternativnih dzherel energii. *Nauka ta innovacii*. 2014, 10(6): 34–51 [in Russian].
4. Basok B.I., Hibina M.A., Beljaeva T.G. Jenergojeffektivnye doma tipa «nol' jenergii». Principy sozdaniya i puti razvitiya. *Promyshlennaja teplotehnika*. 2013, 35(6): 57–66 [in Russian].
5. Basok B.I., Nedbaylo A.N., Hibina M.A., Beljaeva T.G. Dom «nol' jenergii» na osnovе ispol'zovanija al'ternativnyh i vozobnovljaemyh istochnikov jenergii. *Materialy Mezhdunarodnoj konferencii «Ukraina—Rossija—Skolkovo. Edinoe innovacionnoe prostranstvo»*, 2013, Kyiv [in Russian].

*Б.И. Басок., Т.Г. Беляева, И.К. Божко,  
А.Н. Недбайло, В.Г. Новиков, М.А. Хибина*

Институт технической теплофизики  
НАН Украины, Киев

СИСТЕМА ЭЛЕКТРООБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОМА ТИПА  
0-ЭНЕРГИИ (ПЛОЩАДЬЮ 300 м<sup>2</sup>) НА ОСНОВЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И  
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Представлены результаты разработки и реализации системы электроснабжения экспериментального дома типа

0-энергии на основе возобновляемых и альтернативных источников энергии. Разработана CDF-модель для определения оптимальных условий для размещения ветровых энергетических установок в пределах застройки.

*Ключевые слова:* пассивный дом, дом 0-энергии, энергоэффективный дом, ветроэнергетическая установка, солнечная электрическая панель.

*B.I. Basok, T.G. Belyaeva, I.K. Bozhko,  
A.N. Nedbaylo, V.G. Novikov, M.A. Khybyna*  
Institute of Engineering Thermophysics,  
NAS of Ukraine, Kyiv

THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM  
FOR THE EXPERIMENTAL ZERO-ENERGY  
BUILDING (of 300 m<sup>2</sup>) BASED ON RENEWABLE  
AND ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

The results of the development and implementation of the power supply system of the experimental zero-energy building based on renewable and alternative energy sources are presented. CDF-model to determine the optimal conditions for the deployment of wind energy installations within the building limits is developed.

*Keywords:* passive house, zero-energy building, energy efficient building, wind power facility, solar electrical panel.

Стаття надійшла до редакції 11.06.15