

**Кірсанова В.В.**

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

**Биковець Н.П.**

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

**Чиж С.Г.**

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

## ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ І МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

*Декарбонізація атмосфери є глобальною екологічною проблемою, для вирішення якої необхідно розробити дешеву та доступну технологію накопичення та зберігання альтернативної енергетики до моменту її подачі в потрібній кількості та у потрібний час.*

*У наш час ведуться численні дослідження, спрямовані на вдосконалення літій-іонних акумуляторів. Обмежена кількість і зростаюча вартість Li і Co створюють проблеми в першу чергу для великомасштабних додатків.*

*Акумулятори з електролітами на водній основі є альтернативою для економічно ефективного та масштабованого зберігання енергії з високою питомою потужністю та стійкістю до механічного впливу. Незважаючи на те, що в цій галузі були досягнуті певні успіхи, потрібні значні зусилля щодо підвищення густини енергії/потужності та довготривалої стабільності.*

*Дослідниками розроблено технології нового покоління з використанням електрохімічних осередків метал-повітря – анод із чистого цинку або заліза та зовнішній катод з повітря. В означеній технології використовується водний або апротонний електроліт. Також розроблена рідинно-повітряна система CRYObattery, технологія зберігання теплової енергії ETES від Siemens Gamesa, теплосховище гарячих порід GridScale та інші технології.*

*З усієї сукупності запропонованих технологій, які можуть забезпечити тривале зберігання енергії у великих обсягах, для південних регіонів найбільш оптимальною є рідинно-повітряна система накопичення та зберігання енергії Highview Power, відома як CRYObattery. Висока щільність енергії, простота розгортання та відсутність прив'язаності до географічної місцевості є перевагою порівняно з існуючими технологіями збереження альтернативної енергетики. При масовому будівництві сховищ в Україні можливе накопичення великої кількості сонячної та вітрової електроенергії. Накопичена альтернативна енергетика може постачати енергію у будь-який технологічний процес та може бути використана для отримання зеленого водню внаслідок електролізу води. Водень може забезпечувати енергією будь-який технологічний процес, але особливий інтерес він представляє для забезпечення транспорту енергією з нульовим карбоном.*

**Ключові слова:** викиди парникових газів, діоксиду карбону, альтернативна енергетика, літій-іонних акумуляторі, акумулятори з електролітами на водній основі, батареї Form Energy, батареї цинк-повітряні, система CRYObattery.

**Постановка проблеми.** Останнім часом спостерігається зростання середньої температури на планеті на 1,1°C. Очікується, що протягом найближчих 20 років цей рівень у середньому досягне або перевищить 1,5 градуси. Згідно з прогнозами вчених, у найближчі десятиліття зміни кліматичної системи Землі відбуватимуться у всіх регіонах планети. Вже сьогодні спостерігається прискорення кругообігу води. У той час, коли в одних регіонах спостерігаються інтенсивні опади та пов'язані з цим повені, в інших відзначаються екстремальні посухи.

У прибережних районах у XXI столітті продовжуватиметься тенденція підвищення рівня моря, що, у свою чергу, сприятиме більш частим та сильним повеням у низинних районах. Прогнозується подовження періодів спеки та скорочення періоду холодних сезонів. При глобальному потеплінні на два градуси за шкалою Цельсія постраждає насамперед сільське господарство та посиляться навантаження на систему охорони здоров'я [1].

Збільшення вмісту двооксиду карбону (CO<sub>2</sub>) в атмосфері є основною рушійною силою зміни

клімату. Для його стабілізації необхідне скорочення викидів CO<sub>2</sub> до обсягів, які може абсорбувати біосфера. Нині спостерігається істотне зрушення у бік використання відновлюваних джерел енергії, як екологічно стійкої та сприятливої для клімату альтернативної енергетики. Шляхи декарбонізації енергетичних систем значною мірою залежать від накопичення та забезпечення високого рівня гнучкості енергосистем майбутнього [2].

**Актуальність дослідження.** При впровадженні альтернативної енергетики обмеженими є можливості її акумуляції та зберігання у потрібній кількості, що призводить до необхідності вдосконалення означених методів. Ведуться дослідження, спрямовані на покращення електрохімічних процесів акумуляторів енергії, запропоновано використання нових електродних та більш доступних матеріалів, електролітів та нові технології зберігання, які можуть виробляти акумулятори нового покоління, що дають більший запас енергії, тривалий термін служби та менші матеріальні витрати [3].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Одним з провідних елементів політики поступового переходу до низьковуглецевого розвитку є Енергетична стратегія України до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. Внаслідок реалізації завдань, передбачених Енергетичною стратегією до 2035 р., планується досягти зменшення енергоемності ВВП більш ніж удвічі, збільшити використання відновлювальних джерел енергії до 25 % від обсягів загального первинного постачання енергії. Означена стратегія передбачає реформування енергетичного сектора, оптимізацію та інноваційний розвиток інфраструктури та забезпечення сталого розвитку [4].

**Новизна.** Сонячна та вітрова енергія можуть стати фактично невичерпним джерелом, якщо будуть впроваджені нові технології її акумуляції.

**Методологічне або загальнонаукове значення** полягає в узагальненні енергетичного потенціалу відновлювальних ресурсів сонячного випромінювання та вітрової енергії в Україні, у разі запровадження новітніх технологій їх акумуляції на території нашої держави.

**Викладення основного матеріалу.** При аномаліях кліматичної системи Землі, відновлювальні джерела енергії, такі як вітер та сонячна енергія, є надією для людства у вирішенні проблеми глобального потепління. Останнім часом спостеріга-

ється інтенсивніша інтеграція відновлюваної енергії в електричні мережі. Однак, при впровадженні альтернативної енергетики обмеженими є можливості її акумуляції та зберігання в потрібній кількості саме до її подачі, що призводить до необхідності вдосконалення означених методів.

Останнім часом ведуться численні дослідження, спрямовані на вдосконалення літій-іонних акумуляторів (ЛІА), адже обмеження акумуляції відновлюваної енергії пов'язане з недостатньою кількістю саме літію та кобальту в земній корі. Недостатня кількість і зростаюча вартість Li і Co створюють проблеми в першу чергу для великомасштабних додатків [5], [6]. Дослідниками запропоновано використання нових матеріалів для електродів та електролітів, що дозволяють виробляти акумулятори з більшим запасом енергії, тривалишим терміном служби та меншими витратами. Вивчаються можливості використання найпоширеніших матеріалів та нові технології зберігання. Зауважимо, що кальцій є двовалентним і може вивільняти і приймати два електрони на один атом, на відміну від літію, та подає напругу, аналогічну літійовому акумулятору. Саме кальцій, рівномірно розподілений в земній корі, є безпечним, нетоксичним та недорогим матеріалом для виробництва акумуляторів. Дослідникам вдалося синтезувати клас нових електролітів з урахуванням спеціальних органічних солей кальцію, що заряджаються за кімнатної температури [5].

Акумулятори з електролітами на водній основі (АВ) є альтернативою для економічно ефективного і масштабованого зберігання енергії з високою питомою потужністю і стійкістю до механічного впливу. Хімічні особливості води зумовлюють нешкідливість для навколишнього середовища, можливість швидкого заряду та потужності високої густини за рахунок іонної провідності водних розчинів.

Однак воді властивий термодинамічний потенціал окиснення [реакція виділення кисню (OER)] та потенціал відновлення [реакція виділення водню (HER)], які відрізняються вузьким діапазоном напруги 1,23 В, що призводить до недостатньої енергоемності АВ [7].

Дослідниками було продемонстровано безліч АВ з іонами таких металів як Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> та Al<sup>3+</sup>. АВ на основі Li<sup>+</sup> (LiAB) вперше широко розроблялися завдяки міцній дослідній базі звичайних неводних літій-іонних акумуляторів. Натрію і калію більше у природі, ніж літію, АВ з урахуванням Na<sup>+</sup> (NaAB) і K<sup>+</sup> АВ вважаються привабливими джерелами енергії,

для великомасштабного її зберігання. Однак радіуси  $\text{Na}^+$  (0,95 Å) і  $\text{K}^+$  (1,33 Å) набагато більші, ніж у  $\text{Li}^+$  (0,60 Å), тому критерій вибору був спеціалізований тільки для кількох з'єднань, що демонструють здатність деінтеркаляції/інтеркаляції  $\text{Na}^+$  або  $\text{K}^+$  у водному середовищі. Через менший гідратний радіус сольватований  $\text{K}^+$  (3,31 Å) електроліт на основі КАВ демонструє набагато більш високу іонну провідність, яка має більш високу швидкість зберігання  $\text{K}^+$ , ніж  $\text{Li}^+$  і  $\text{Na}^+$  [8].

Нові можливості з'являються в багатовалентних іонно-металевих АВ на основі носіїв заряду, таких як  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{Al}^{3+}$ , при цьому використовуються поширені в землі метали, завдяки їхній підвищеній безпеці та високій об'ємній щільності густини енергії. Однак, розробка Mg, Ca та Al-AB призупинилася через жорсткі критерії розміщення їх сольватованих катіонів великого розміру та поганої оборотності при нанесенні/видаленні Mg, Ca та Al [9]. Серед багатоатомних металів найперспективнішим є  $\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}$ , для якого оборотність і його окисно-відновний потенціал становить -0,763 В [10]. Означені переваги забезпечили швидкий розвиток АВ на основі цинку за останні 5 років і є потенційним кандидатом для великомасштабного зберігання електроенергії.

Неметалічні носії заряду включають аніони, зокрема гідроксил ( $\text{OH}^-$ ) і галогеніди ( $\text{F}^-$  і  $\text{Cl}^-$ ) та катіони, такі як протон ( $\text{H}^+$ ) і амоній ( $\text{NH}_4^+$ ) [11], [12]. Привабливість перезаряджуваних АВ на основі іонів неметалів полягає у використанні стійких та поширених носіїв заряду в навколишньому середовищі. Порівняно з носіями заряду на основі іонів металів, іони неметалів забезпечують меншу молярну масу (всього 17 г моль<sup>-1</sup> для  $\text{OH}^-$ , 18 г моль<sup>-1</sup> для  $\text{NH}_4^+$  та 19 г моль<sup>-1</sup> для  $\text{F}^-$  і  $\text{H}_3\text{O}^+$ ), і мають менший розмір гідратованого іона (2,82 Å для  $\text{H}_3\text{O}^+$ , 3,00 Å для  $\text{OH}^-$ , 3,31 Å для  $\text{NH}_4^+$ , 3,32 Å для  $\text{Cl}^-$  і 3,52 Å для  $\text{F}^-$ ), в результаті чого при швидкій дифузії у водних електролітах [13] галогенні АВ використовують переваги сольового електроліту, такого як розчин NaCl [14]. У порівнянні з протоном або гідроксонієм  $\text{NH}_4^+$  менш корозійно-активний і менш схильний до HER, що може забезпечити чудові циклічні характеристики [15].

АВ стають перспективними системами зберігання енергії для стійких великомасштабних програм. Вони є дешевшими, екологічнішими та безпечнішими. Передові АВ акумулятори потенційно можуть замінити звичайні літій-іонні, нікель-металогідридні та свинцево-кислотні та можуть бути використані у майбутніх автомо-

більних, авіаційних та масштабованих додатків для зберігання мережної енергії. Незважаючи на те, що в цій галузі були досягнуті певні успіхи, потрібні значні зусилля щодо підвищення густини енергії/потужності та довготривалої стабільності.

Технології нового покоління орієнтовані на можливості дешевого і довгострокового зберігання альтернативної енергетики, що дозволить організувати подачу невеликої порції енергії саме тоді й там, де вона найбільше потрібна. З цією метою використовуються електрохімічні осередки метал-повітря, в яких використовується анод із чистого металу та зовнішній катод із повітря. В означеній технології використовується водний або апротонний електроліт. До кінця 2023 року в Міннесоті заплановано завершення будівництва демонстраційного проекту із зберігання електроенергії потужністю 1 МВт/150 МВт-год (150 годин) з використанням нової акумуляторної технології секретного стартапу Form Energy із Массачусетсу. Іншими словами, він може забезпечувати безперервну потужність 1 МВт протягом 150 годин. З цією метою використовується залізно-повітряна батарея, здатна постачати електрику протягом 100 годин при системних витратах, конкурентоспроможних зі звичайними електростанціями і в 10 разів дешевше літій-іонних. Це дешева та безпечна батарея, здатна зберігати енергію протягом тривалого часу [16].

Але батарея Form Energy – не єдина технологія, яка може забезпечити тривале зберігання енергії. Цікавим є повітряно-цинкова батарея канадської компанії Zinc<sup>8</sup>. Так, цинк-повітряні перевершують літій-іонні батареї за ціною і не потребують наявності дорогого літію. Ємність системи Zinc<sup>8</sup> можна збільшити, збільшивши розмір резервуара для зберігання і обсяг електроліту, що міститься в ньому. Батарея Zinc<sup>8</sup> використовує електроенергію з мережі для розщеплення хімічного цинку ( $\text{ZnOH}_4$ ) на цинк, воду та кисень, у результаті чого утворюються заряджені частинки цинку, які можуть накопичувати електрику протягом кількох тижнів. Коли потрібна енергія, заряджений цинк з'єднується з киснем повітря (і води), вивільняючи накопичену електрику і виробляючи цинкат, який потім повертається в цикл, щоб знову почати процес. Сам акумулятор складається з трьох частин – «цинкового регенератора», що виробляє заряджені частинки цинку, резервуару для зберігання, який містить електроліт гідроксиду калію (KOH) та заряджений цинк; і блоку живлення, свого роду паливний елемент, який перетворює цинк на цинкат і повертає заряд

назад на мережу [17]. До кінця 2022 року планується запуск чотирьох комерційних пілотних проєктів:

- рідинно-повітряна система зберігання Highview Power, відома як CRYObattery, яка вже запущена в комерційну експлуатацію;
- технологія зберігання теплової енергії ETES від Siemens Gamesa, яка в даний час проходить випробування в Гамбурзі;
- теплосховище гарячих порід GridScale компанії Stiesdal Storage Technologies, яке все ще знаходиться на стадії пілотного проєкту;
- Мальтійська система розплавленої солі, дочірня компанія Google X також досі перебуває на стадії пілотного проєкту. У цій електросистемі електроенергію можна зберігати нескінченно. Можливе її перетворення на зелений водень за допомогою електролізу, а потім назад в електроенергію за допомогою паливного елемента [18].

**Головні висновки.** Сукупність вищезазначених розробок з акумуляції та зберігання альтернативної енергетики дозволить забезпечити 100% відновлюване електропостачання. При масовому будівництві сховищ сонячної та вітрової енергії у всіх регіонах України можливе накопичення великої кількості електроенергії. Особливий інтерес становить можливість накопичення сонячної енергії у південних регіонах країни. Так, південь Одеської та Херсонської областей є найсонячнішою континентальною територією України. У цих регіонах зосереджена потенційна можливість максимального накопичення сонячної електроенергії.

З усієї сукупності запропонованих технологій, які можуть забезпечити тривале зберігання енергії у великих обсягах, для південних регіонів України найбільш оптимальною є рідинно-повітряна система накопичення та зберігання енергії Highview Power, відома як CRYObattery.

Так, система CRYObattery вже запущена у комерційну експлуатацію, що призвело до появи двох установок накопичувачів енергії на

рідкому повітрі (НЕРП) потужністю 50 МВт у Великій Британії та США, нещодавно представлених тією ж компанією [19], [20]; це будуть перші у світі станції НЕРП, підключені до мережі. Поряд з комерційними розробками було створено низку міжнародних проєктів. Наприклад, проєкт CryoHub [21] і Програма технологічного співробітництва яка підтримує роботу незалежних міжнародних груп експертів, для зберігання енергії (МЭА) [22] для подальшого дослідження, характеристики та розробки технології НЕРП. У цьому контексті рідинно-повітряні накопичувачі енергії НЕРП нещодавно стали можливим рішенням для забезпечення вихідної потужності 10-100 МВт та ємності зберігання ГВтч. Висока щільність енергії, простота розгортання та відсутність прив'язаності до географічної місцевості є перевагою порівняно з існуючими технологіями збереження альтернативної енергетики. Накопичена альтернативна енергетика може постачати енергію у будь-який технологічний процес.

Відзначимо, що особливий інтерес для нашої країни становлять можливості переробки сільгосппродукції, оскільки у літній період можливо інтенсивніше накопичення енергії. Можлива, також організація мікроводоростей та їх переробка, що забезпечить швидкий синтез білків та жирів. Енергетика з нульовим карбоном може бути використана для отримання зеленого водню внаслідок електролізу води. Зелений водень може забезпечити енергією будь-який технологічний процес, але особливий інтерес представляє для забезпечення транспорту енергією.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Проведене дослідження може забезпечити теоретичну основу для аналізу можливостей використання альтернативної енергетики в Україні, запровадженню нових технологій електрохімічного перетворення та зберігання енергії сонця та вітру.

#### Список літератури:

1. Глобальное потепление связано с деятельностью человека и происходит с беспрецедентной скоростью, Новости ООН. Available at: <<https://news.un.org/ru/story/2021/08/1407862>> (дата звернення: 10.06.2022).
2. Renewable Energy: The Clean Facts. Available at: <<https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>> (дата звернення: 12.06.2022).
3. B. Dunn, H. Kamath, J.-M. Tarascon, Electrical energy storage for the grid: A battery of choices. *Science* 2011. №.334, p.928–935 Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22096188/> (дата звернення: 10.06.2022).
4. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року Available at: <[https://mepr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS\\_ua\\_last.pdf](https://mepr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf)>(дата звернення: 20.06.2022).
5. O. Schmidt, A. Hawkes, A. Gambhir, I. Staffell, The future cost of electrical energy storage based on experience rates. *Nature Energy* 2017. № 2, Article number: 17110 Available at: <<https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.110>> (дата звернення: 12.05.2022).

6. D. Larcher, J.-M. Tarascon, Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. *Nature Chemist* 2015. №7. p19–29 Available at: <<https://doi.org/10.1038/nchem.2085>>(дата звернення: 12.05.2022).
7. H. Kim, J. Hong, K. Y. Park, H. Kim, S. W. Kim, K. Kang, Aqueous rechargeable Li and Na ion batteries. *Chemical Reviews*. 2014, Vol.114 №23 p.11788–11827 Available at: <<https://doi.org/10.1021/cr500192f>>(дата звернення: 12.05.2022).
8. L. Jiang, Y. Lu, C. Zhao, L. Liu, J. Zhang, Q. Zhang, X. Shen, J. Zhao, X. Yu, H. Li, X. Huang, L. Chen, Y.-S. Hu, Building aqueous K-ion batteries for energy storage. *Nature Energy* 2019 № 4, p. 495–503 Available at: <<https://doi.org/10.1038/s41560-019-0388-0>>(дата звернення: 12.05.2022).
9. J. Ming, J. Guo, C. Xia, W. Wang, H. N. Alshareef, Zinc-ion batteries. *Materials Science and Engineering: R: Reports*. 2019. Vol.135, P. 58-84 Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mser.2018.10.002> (дата звернення: 12.05.2022).
10. M. Song, H. Tan, D. Chao, H. J. Fan, Recent advances in Zn-ion batteries. *Advanced Functional Materials*. 2018. Vol. 28, №41 article №1802564 Available at: <<https://doi.org/10.1002/adfm.201802564>>(дата звернення: 12.05.2022).
11. W. Chen, G. Li, A. Pei, Y. Li, L. Liao, H. Wang, J. Wan, Z. Liang, G. Chen, H. Zhang, J. Wang, Y. Cui, A manganese–hydrogen battery with potential for grid-scale energy storage. *Nature Energy*. 2018. № 3, p. 428–435 Available at: <<https://doi.org/10.1038/s41560-018-0147-7>>(дата звернення: 12.05.2022).
12. Raymond Horia, Dan-Thien Nguyen, More by Dan-Thien Nguyen, Alex Yong Sheng Eng, and Zhi Wei Seh, Using a Chloride-Free Magnesium Battery Electrolyte to Form a Robust Anode–Electrolyte Nanointerface. *Nano Letter*. 2021, Vol.21, №19, pp.8220–8228, Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.1c02655>(дата звернення: 12.05.2022).
13. D. Chao, H. J. Fan, Intercalation pseudocapacitive behavior powers aqueous batteries. *Chem* 2019. Vol. 5, №6 pp1359–1361 Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.chempr.2019.05.020>>(дата звернення: 10.06.2022).
14. F. Chen, Z. Y. Leong, H. Y. Yang, An aqueous rechargeable chloride ion battery. *Energy Storage Mater.* 2017. Vol. 7, pp189–194 Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ensm.2017.02.001>>(дата звернення: 10.06.2022).
15. C. D. Wessells, S. V. Peddada, M. T. McDowell, R. A. Huggins, Y. Cui, The effect of insertion species on nanostructured open framework hexacyanoferrate battery electrodes. *The Electrochemical Society Journal of The Electrochemical Society*, 2011. Vol. 159, № 2 Available at: [/iopscience.iop.org/article/10.1149/2.060202jes](http://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.060202jes)(дата звернення: 10.07.2022).
16. The mysterious 150-hour battery that can guarantee renewables output during extreme weather Available at: <https://www.rechargenews.com/transition/the-mysterious-150-hour-battery-that-can-guarantee-renewables-output-during-extreme-weather/2-1-808340> (дата звернення: 10.07.2022).
17. New zinc-air battery is 'cheaper, safer and far longer-lasting than lithium-ion' Available at: <https://www.rechargenews.com/transition/new-zinc-air-battery-is-cheaper-safer-and-far-longer-lasting-than-lithium-ion/2-1-812068> (дата звернення: 10.07.2022).
18. Liquid-air storage offers cheapest route to 24-hour wind and solar. Available at: <https://www.rechargenews.com/transition/liquid-air-storage-offers-cheapest-route-to-24-hour-wind-and-solar/2-1-635666> (дата звернення: 10.06.2022).
19. X Peng, X She, C Li, Y Luo, T Zhang, Y Li, *et al.* Liquid air energy storage flexibly coupled with LNG regasification for improving air liquefaction *Applied Energy* .2019, Vol. 250 , № 15 pp. 1190-1201 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.040> (дата звернення: 10.06.2022 ).
20. Andrea Vecchi<sup>a</sup>Yongliang Li<sup>a</sup>Yulong Ding<sup>a</sup>Pierluigi Mancarella<sup>bc</sup>Adriano Sciacovelli<sup>a</sup>Liquid air energy storage (LAES): A review on technology state-of-the-art integration pathways and future perspectives *Advances in Applied Energy*. 2021. Vol. 3, № 25 article № 100047 Available at: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100047> (дата звернення: 10.06.2022).
21. CryoHub was an EU-funded project to develop and investigate the potential of large scale cryogenic energy storage at refrigerated warehouses and food factories. Available at: <https://ior.org.uk/cryohub> (дата звернення: 10.07.2022).
22. Technology collaboration. Advancing the research, development and commercialisation of energy technologies. <https://www.iea.org/areas-of-work/technology-collaboration> (дата звернення: 10.06.2022)

### **Kirsanova V.V., Bykovets N.P., Chszh S.H. ELECTROCHEMICAL PROCESSES AND POSSIBILITIES OF ALTERNATIVE ENERGY IN UKRAINE**

*Atmospheric decarbonization is a global environmental problem, which requires a cheap and affordable technology to store alternative energy until it is supplied in the required quantities and at the required time.*

*Numerous studies are made nowadays to improve lithium-ion batteries. The limited quantity and rising cost of Li and Co create problems especially for large-scale applications.*

*Water-electrolyte batteries are an alternative to cost-effective and scalable energy storage with high specific power and resistance to mechanical impact. Although significant progress has been made in this area, great efforts are needed to increase energy/power density and long-term stability.*

*Researchers have developed a new generation of technologies using metal-air electrochemical cells - an anode made of pure zinc or iron and an external cathode made of air. This technology uses an aqueous or aprotic electrolyte. The CRYObattery liquid-air system, Siemens Gamesa's ETES thermal energy storage technology, the GridScale hot rock heat storage and other technologies have also been developed.*

*Of all the proposed technologies that can provide long-term storage of energy in large quantities, the most optimal for the southern regions is the liquid-air storage and energy storage system Highview Power, known as CRYObattery. High energy density, ease of deployment and lack of geography are an advantage over existing alternative energy conservation technologies. During the mass construction of storage facilities in Ukraine, a large amount of solar and wind electricity may be accumulated. Accumulated alternative energy can supply energy to any process and can be used to produce green hydrogen due to water electrolysis. Hydrogen can supply energy to any process, but it is of particular interest to provide transport with zero carbon energy.*

**Key words:** *Emissions of greenhouse gases, carbon dioxide, alternative energy, Batteries with water-based electrolytes, Form Energy battery, zinc-coated battery, CRYOBattery system.*