

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**



**Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець**

# **АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА В УКРАЇНІ**

**Монографія**

**Дніпропетровськ  
НГУ  
2013**

**УДК 620.92: 621.319.38**

**ББК 31.279**

**П64**

Рекомендовано до видання вченою радою  
Державного ВНЗ «Національний гірничий університет»  
(протокол № 11 від 49 листопада 2013 р.).

**Рецензенти:**

В.Г. Сиченко, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електропостачання залізниць (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна);

Ю.Т. Разумний, д-р техн. наук, професор кафедри систем електропостачання (Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»).

**Півняк Г.Г.**

Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, П64 Ф.П. Шкрабець; Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с.

ISBN 978-966-350-445-2

Наведено результати аналізу і виконано оцінку енергетичного потенціалу всіх видів нетрадиційної енергії в регіонах України, а також розглянуто можливості перетворення, використання та акумуляції енергії альтернативних джерел. Показано, що для успішного впровадження різних нетрадиційних джерел енергії необхідно посилити, а в окремих випадках переглянути, комплексне забезпечення зацікавленості підприємств і організацій у використанні таких джерел, а саме: юридичне, економічне, технічне забезпечення.

Розрахована на фахівців, які займаються розробкою та експлуатацією відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії, а також аспірантів і студентів електротехнічних спеціальностей.

УДК 620.92: 621.319.38

ББК 31.279

ISBN 978-966-350-445-2

© Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець, 2013

© Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013

## ВСТУП

Найголовнішим джерелом енергії є Сонце (30% сонячної енергії, яка досягаючи Землі, відбивається назад у космос, 47% витрачається на нагрівання земної поверхні, 22% – на кругообіг води у природі, 0,1% – на утворення вітру, хвиль, океанічних течій і лише 0,03% поглинається під час фотосинтезу). Завдяки фотосинтезу ми маємо головні форми енергії – горючі копалини і біомасу. Щорічно земна поверхня одержує від сонця енергію в кількості  $3 \cdot 10^{24}$  Дж. Якщо співставити цю величину з оцінками енергії, що міститься у розвіданих запасах природного газу, вугілля, нафти, урану, то стане зрозуміло, що за один тиждень Земля одержує від Сонця таку кількість енергії, яка більше ніж удвічі перевищує усі відомі запаси енергії на Землі.

Усі джерела енергії можна поділити на відновлювальні і невідновлювальні. Відновлювальні джерела енергії характеризуються природним поповненням за порівняно короткі проміжки часу. Завдяки цьому вони мають постійну потужність. Невідновлювальні джерела енергії характеризуються неможливістю їхнього поповнення після використання.

З початку XIX ст., у період швидкого розвитку техніки, головними джерелами енергії стали природні копалини – вугілля, нафта, природний газ та енергія великих річок, які нині відносять до традиційних джерел енергії. Крім того, згодом до традиційних джерел енергії так само стали відносити енергію атома.

Основними недоліками використання більшості традиційних джерел енергії є:

- невідновлюванність традиційних ресурсів, отже термін їх використання обмежений, і вже зараз існує необхідність пошуку нових методів виробництва енергії;
- використання традиційних ресурсів для отримання корисної енергії призводить до серйозних екологічних наслідків – забруднення навколишнього середовища.

На основі результатів аналізу публікацій визначено тенденції, які будуть притаманні енергетиці сьогодення та в майбутньому [12]:

- переваги будуть надаватися високоякісним видам палива та ефективному використанню розгалуженої інфраструктури (нафто- та газопроводи, потужні та локальні енергосистеми);

- інфраструктура залишатиметься основою енергетичної системи, а потреби в її розширенні будуть зростати;

- переваги в технологічному плані будуть надані комплексам, оснащеним механізмами гнучкого розвитку;

- буде здійснюватися відхід від використання нафти та газу за рахунок кам'яного вугілля, зростання частки якого у світовому ринку енергоносіїв очікується до 40 %;

- зросте роль децентралізованих технологій отримання енергії місцевого значення, особливо в урбанізованих регіонах з розвитком сільського господарства;

- виробництво синтетичних палив, газу та в перспективі водню із природного газу, вугілля та біомаси стане найважливішим на ринку нових технологій;

- найменш ризикованою стратегією буде звернення до "родових технологій": газові турбіни, паливні елементи (паливні та фотобатареї), які з часом стануть не менш важливими, ніж дизельні двигуни та електромотори.

Суттєве підвищення енергоефективності національної економіки України є одним із основних шляхів забезпечення національної безпеки, наповнення бюджету, підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції як на внутрішньому, так і на зовнішніх ринках, вирішення соціальних питань. Таким чином, впровадження енергозберігаючих технологій може скоротити імпорт енергоресурсів і нівелювати політичний тиск на нашу країну з боку експортерів нафти і газу. Крім того, зменшення енергетичної складової собівартості продукції дає змогу Україні стати конкурентоспроможною на зовнішніх ринках.

Один з шляхів вирішення вказаної проблеми - необхідно особливу увагу приділити подальшому розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. Їх беззастережною перевагою є невичерпність і екологічна чистота. Невипадково країни Європейського Союзу поступово переходять на використання енергії біомаси, вітру, сонця і води. В енергетичному балансі деяких країн питома вага нетрадиційних джерел сягає 40%.

В разі виконання прийнятої в Україні Енергетичної Стратегії, частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) буде складати 18,33 млн. т. у. п. (6 % від загального споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у 2030 р. Для порівняння, країни ЄС у цілому досягли приблизно 12 % внеску ВДЕ вже до 2010 р. Частка ВДЕ в деяких країнах світу, досягнута ще в 2001 р., складала: Норвегія – 45%, Швеція – 29,1%, Нова Зеландія – 25,8%, Фінляндія – 23%, Австрія – 21,5%, Канада – 15,6%, Данія – 10,4%. Практично всі країни світу ставлять за мету значний ріст використання ВДЕ на найближчі десятиліття. Наведені дані дозволяють вважати, що Енергетична Стратегія передбачає катастрофічне відставання України від розвинутих країн щодо розвитку ВДЕ.

Соціально-економічна необхідність забезпечення України енергоносіями власного видобутку гостро ставить проблему пошуку альтернативних видів палива. Як відомо, до альтернативних джерел енергії відносять енергію сонця, вітру, морів і океанів, тепла землі, біомаси, малих річок та вторинні ресурси, що існують постійно або періодично виникають у навколишньому середовищі. Безперечною перевагою ВДЕ є також те, що їх потенціал постійно відновлюється, а отже, термін використання необмежений.

# **1. ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОЇ МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У РЕГІОНАХ УКРАЇНИ**

## **1.1 Види паливо-енергетичних ресурсів та енергоносіїв**

Невідновлювані енергоресурси (джерела енергії) це природні запаси речовин і матеріалів, які можуть бути використані людиною для виробництва електричної, теплової або механічної енергії. Наприклад: вугілля, нафта, газ, сланці, ядерне паливо. Енергія в цих джерелах знаходиться у зв'язаному вигляді і вивільняється в результаті цілеспрямованої діяльності людини.

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) це джерела на основі постійно існуючих або періодично виникаючих процесів в природі, а також життєвому циклі рослинного і тваринного світу та життєдіяльності людського суспільства. Приклад відновлюваних джерел на основі процесів у природі: сонячне випромінювання, енергія вітру, гідроенергія, геотермальна енергія, енергія припливів, біомаса, низькопотенційне тепло різних середовищ (води, повітря, ґрунту) та ін. Приклади відновлюваних джерел на основі рослинного і тваринного світу, а також життєдіяльності людського суспільства: ліси і чагарники, відходи рослинництва і тваринництва, відходи деревообробки та інших переробних галузей промисловості, рідкі промислові та побутові стоки, а також тверді побутові відходи. Згідно класичним уявленням про відновлювану енергетику первинних відновлюваних джерел енергії всього три: енергія сонця, тепла енергія Землі та енергія орбітального руху планет сонячної системи [3,31].

Використовуються наступні визначення потенціалу (ресурсів) відновлюваних джерел енергії:

– валовий (теоретичний) потенціал ВДЕ – річний обсяг енергії, що міститься в даному виді ВДЕ при повному її перетворенні на корисно використовувану енергію;

– технічний ресурс (потенціал) ВДЕ – частина валового потенціала-

лу, перетворення якого в корисну енергію можлива при існуючому рівні розвитку технічних засобів, при дотриманні вимог з охорони природного середовища. Технічний потенціал становить від частки відсотка (сонячна енергія) до десятків відсотків (гідроенергія) від валового потенціалу. Він постійно збільшується у міру розвитку виробництва і вдосконалення технологій;

– економічний потенціал ВДЕ – частина технічного потенціалу, перетворення якого в корисну використовувану енергію економічно доцільно при даному рівні цін на викопне паливо, теплову та електричну енергію, обладнання, матеріали, транспортні послуги, оплату праці і т. д. Економічний потенціал становить від часток відсотка до десятків відсотків від технічного потенціалу. Може змінюватися в будь-яку сторону в залежності від коливання співвідношення цін на зазначені компоненти.

Для відновлюваних джерел енергії загальна тенденція – збільшення економічного потенціалу, для невідновлюваних – зменшення. На відміну від вичерпаного органічного палива, відновлювані джерела енергії – невичерпні, а процеси отримання електричної та теплової енергії від ВДЕ значно безпечніше з точки зору екології, ніж від електростанцій на органічному паливі. Тільки одна цифра, яка характеризує гостроту і масштаб екологічних проблем традиційної теплової енергетики. У Росії до наявних 1,32 млрд. т. золошлакових відходів на площі 22000 га щорічно додається ще 35-36 млн. т. Також всім сьогодні зрозуміло, що органічне спалюване паливо вичерпне і цей термін триватиме за різними оцінками від 25 до 45 років. Тому сьогодні у світі спостерігається справжній бум енергетики на відновлюваних джерелах.

За даними Міжнародного енергетичного агентства за період з 1990 по 2004 р.р. світове виробництво первинної енергії зросло в середньому на 1,6% у рік, а на основі ВДЕ – на 1,8%. Одночасно, вітроенергетика зростає із середньорічним темпом 23,9%. Тому в деяких країнах сьогодні саме вітроенергетика, стала «новою» енергетикою, забезпечуючи в окремі моменти до 60...70% загального вироблення електричної енергії в національних енергосистемах.

За прогнозом Європейської ради з відновлюваних джерел енергії частка ВДЕ в загальному виробництві первинної енергії буде зростати такими темпами: 2010 р. – 16%, 2020 р. – 23,6%, 2030 р. – 34,7%, 2040 р. – 47,7%, за умови, що середньорічні темпи виробництва первинної енергії становитимуть 1%, тобто споживання первинної енергії збільшиться з 10 млрд. т у нафтовому еквіваленті в 2000 р. до 14 млрд т в 2040 р.

Успішний розвиток відновлюваної енергетики за кордоном обумовлено багатьма причинами. Але головним, на наш погляд, є стабільна і різноманітна підтримка держави. Форми підтримки різні в різних країнах і зводяться до наступного переліку: податкові знижки, податкові канікули, фіксований тариф на електроенергію, що виробляється на базі ВДЕ, державне фінансування НДДКР і пілотних проектів, часткове фінансування проектів, безвідсоткові кредити, вільний доступ приватних власників електростанцій на базі ВДЕ до мереж загального користування і т. д. Ці різноманітні заходи підтримки в економіках країн різного типу і різного рівня розвитку, різного типу і структури електроенергетичних ринків дають помітний позитивний результат.

Питомі витрати на 1 кВт встановленої потужності мережевих вітроустановок в Європі складають близько \$ 1200 на суші і близько \$ 1800 – у морі. Будівництво ГЕС обходиться у світі від \$ 800 до \$ 2500 за 1 кВт встановленої потужності в залежності від складності пристрою водосховища. Найбільш дорогими – \$ 8. . . 10 тис. за 1 кВт встановленої потужності є фотоелектричні установки. Парадоксально, але саме ця галузь енергетики розвивається найбільш швидкими темпами. За період з 2000 по 2005 р.р. середньорічні темпи зростання виробництва фотоелектричних модулів склали 79%.

Але головне не це, а те, що собівартість виробництва енергії на фото– і вітроустановках неухильно знижується, а на електростанціях на органічному паливі та АЕС – зростає. Так за 20 років, з 1980 по 2000 рік, собівартість виробництва електроенергії від вітроелектростанцій знизилася з 30 до 4 центів за кВт·год. Екологічні переваги відновлюваної ене-



енергетики ще не знайшли загально визнаної вартісної оцінки. Якщо врахувати шкоду сільському господарству від кислотних дощів, витрати на лікування захворювань через забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами, витрати на створення золовідвалів і сховищ відпрацьованого ядерного палива, то вартість електроенергії від ВДЕ у багатьох випадках стане дешевше, ніж від паливної енергетики. Якісні оцінки вичерпних (невідновлюваних) та відновлюваних енергетичних ресурсів наведені в таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1

Якісна оцінка вичерпних паливних ресурсів

<i>Переваги</i>	<i>Недоліки</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Висока густина енергії;</li> <li>▪ Високий ступінь освоєння технологій від розвідки запасів до споживання;</li> <li>▪ Орієнтація світового господарства на використання ресурсів в якості палива і сировини;</li> <li>▪ Розвинена інфраструктура на всіх стадіях: видобуток, транспортування, переробка і використання;</li> <li>▪ Розвинена структура підготовки наукових і експлуатаційних кадрів;</li> <li>▪ Розвинена структура виробництва обладнання та приладів;</li> <li>▪ Розвинена інфраструктура наукових установ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Вичерпність ресурсів;</li> <li>▪ Глобальний вплив на зміну клімату внаслідок емісії CO<sub>2</sub> і теплового забруднення;</li> <li>▪ Забруднення середовища проживання людини відходами виробництва (рідкі, газоподібні, тверді);</li> <li>▪ Нерівномірність розподілу по земній кулі – джерело нестабільності;</li> <li>▪ Загроза забруднень середовища проживання людини і пожеж при транспортуванні і зберіганні;</li> <li>▪ Потенційна загроза аварій на АЕС з викидом радіоактивних речовин;</li> <li>▪ Зміна структури земної кори внаслідок видобутку газу, нафти та вугілля з непередбачуваними наслідками;</li> <li>▪ Велика потреба у воді.</li> </ul>

## Якісна оцінка відновлюваних енергетичних ресурсів

<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Невичерпність;</li> <li>▪ Відсутність додаткової емісії вуглекислого газу;</li> <li>▪ Відсутність шкідливих викидів;</li> <li>▪ Збереження теплового балансу планети;</li> <li>▪ Доступність використання (сонце, вітер);</li> <li>▪ Можливість одночасного використання землі для господарських та енергетичних цілей (електростанції, теплові насоси, безплотинні ГЕС);</li> <li>▪ Можливість використання земель, не пристосованих для господарських цілей (сонячні, вітрові установки та станції);</li> <li>▪ Відсутність потреби у воді (сонячні, вітрові електростанції).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Низька щільність енергії;</li> <li>▪ Необхідність використання концентраторів;</li> <li>▪ Непостійний, імовірнісний характер надходження енергії (сонце, вітер, меншою мірою ГЕС)</li> <li>▪ Необхідність акумулювання;</li> <li>▪ Необхідність резервування (сонячна, вітрова);</li> <li>▪ Нерозвиненість промисловості та відсутність інфраструктури (для Росії);</li> <li>▪ Заповнення родючих земель (великі ГЕС);</li> <li>▪ Локальна зміна клімату (великі ГЕС).</li> </ul>

Виробництво електроенергії і тепла в Україні традиційно базується на таких викопних енергоносіях як вугілля і газ та на атомній енергетиці. З огляду на це генерація є дуже вуглецеємною, що у поєднанні з неефективним виробництвом енергії та наявною галузевою структурою економіки призводить до надмірно високих викидів.

У нинішній офіційній Енергетичній стратегії Україна робить ставку на подальшу розбудову використання вугільної та атомної енергетики. Необхідне постачання первинних енергоносіїв для цих технологій генерації електроенергії (вугілля і уран) Україна в майбутньому значною мірою може забезпечити своїми силами. Таким чином, її власні поклади

вугілля та урану можуть допомогти їй і надалі зменшувати залежність від імпорту російського природного газу та гарантувати цінову стабільність. Частка вугілля у виробництві електроенергії становить біля 44% і до 2030 року має стабілізуватись на цьому рівні або трохи збільшитися. Природний газ більше не відіграє у виробництві електроенергії жодної ролі, а у виробництві тепла його частка до 2030 року має знизитися до приблизно третини від нинішніх обсягів. Частка ядерної енергії у виробництві електроенергії складає сьогодні біля 48%. Спорудження наступних одинадцяти реакторів збільшить цю частку – на тлі зростання загального споживання – до 52% (2030 р.).

В Україні основним джерелом енергозабезпечення є невиправдано дорогий російський газ: понад 40% потреби в електроенергії задовольняється за рахунок його використання і більше половини витрачається на виробництво тепла. У 2012 році, взявши курс на підвищення енергоефективності та економію енергоресурсів, Україна планує скоротити використання традиційних видів палива і в 5 разів збільшити виробництво електроенергії з використанням ВДЕ - до 1,017 млрд. кВт·год. За прогнозами Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження до 2016 року завдяки «зеленій» енергетиці в Україні буде вироблятися 9 млрд. кВт · год. щорічно.

Україна має значний технічний потенціал для використання відновлюваних джерел енергії. Завдяки її значному сільськогосподарському сектору існують дуже добрі передумови для використання біоенергії. Що стосується помірною потенціалу великої гідроенергетики, то він уже майже повністю вичерпаний. Проте її частка може бути збільшена за рахунок підвищення ефективності гідроелектростанцій.

Помірний технічний потенціал вітрової енергії може у середньостроковій перспективі – зокрема на півдні країни, у Криму та в Карпатах – бути використаний з відповідною економічною рентабельністю. Крім того, існує цілком непоганий технічний потенціал для сонячної та геотермальної енергії, але в середньостроковій перспективі їхнє використання не видається економічно доцільним. Освоєння цього технічного потен-

ціалу визначатиметься економічними передумовами, а також рамковими умовами енергетичної політики.

Відновлювані джерела енергії відіграють в енергетичній політиці України лише другорядну роль. Та частка відновлюваних джерел енергії, яка запланована в Енергетичній стратегії країни, а саме приблизно 6% станом на 2030 р., означає помітне відставання темпів їхньої розбудови від можливостей економічного потенціалу. Ці можливості уже сьогодні існують у таких сегментах як біомаса та гідроенергія, а в середньостроковій перспективі – у використанні вітрової енергії.

Слід відзначити, що фокусування виробництва енергії, головним чином, на викопних джерелах, зокрема, зростаюче значення вугілля, ховає у собі загрозу того, що у поєднанні з економічним зростанням і підвищенням попиту на енергоносії буде спостерігатися повторне збільшення викидів парникових газів. Тим самим, тривалий період використання новостворених викопних генеруючих потужностей призведе до залежності від вибраного шляху і визначить баланс викидів аж до середини цього століття. Внаслідок цього Україна була б погано підготовлена до можливих майбутніх зобов'язань щодо захисту клімату, які, зокрема, видаються вірогідними у разі подальшої європейської інтеграції енергоринків. До цих пір енергетична політика країни робила ставку на субсидування внутрішніх цін на електроенергію і тепло. Це додатково підвищує і без того вже високий поріг для появи на ринку відновлюваних джерел енергії та знижує економічність цих екологічно сприятливих технологій. У цій сфері спостерігається процес переосмислення енергетичної політики. Після зростання цін на енергоносії влітку 2010 р. та анонсу подальшого підвищення у квітні 2011 р. наразі здійснюється поступове скорочення субсидій. Це створює мікроекономічні стимули для ефективного використання енергії та покращення рамок умов для розвитку відновлюваних джерел енергії.

Сектор відновлюваних джерел енергії в Україні за західноєвропейськими мірками недостатньо розвинений. Частка відновлюваної енергії в загальному енергоспоживанні становить приблизно 3%. Винятком є ви-

користання великих гідроелектростанцій з істотною часткою в енергоспоживанні (в електроенергетичному секторі), яка сягає 7% від виробництва електроенергії.

Державне планування – на основі Енергетичної стратегії – передбачало розбудову до 2010 р. загальних потужностей вітрової енергетики до приблизно 2000 МВт, малих і мікрогідроелектростанцій – до 590 МВт, сонячних батарей – до 96,5 МВт, малих біомасових теплових електростанцій – до 410 МВт. Станом на кінець 2009 р. потужності вітрової енергетики склали 181,5 МВт (9% від запланованого), а виробництва біогазу – менше 1% від запланованого рівня. Отже, поставлені цілі не були досягнуті навіть наближено.

Потенційні можливості джерел відновлюваної енергії можна наближено оцінити припускаючи, що при раціональному її використанні для створення комфортних умов життя потрібно в середньому 2 кВт на людину. З кожного квадратного метра земної поверхні можна одержувати, використовуючи різні ВДЕ, в середньому 500 Вт потужності. Якщо вважати, що ефективність перетворення цієї енергії в зручну для споживання форму усього 4%, то для потужності 2 кВт потрібна площа 100 м<sup>2</sup>. Середня щільність населення в містах з урахуванням приміської зони приблизно 500 чоловік на 1 км. Для забезпечення їх енергією з розрахунку 2 кВт на людину необхідно з 1 км знімати 1000 кВт, тобто достатньо зайняти всього 5% площі. Таким чином, ВДЕ можуть цілком забезпечити задовільний рівень життя, якщо будуть знайдені прийнятні за вартістю методи її перетворювання, з урахуванням ресурсного потенціалу. Загальні ресурси ВДЕ в світі наведені в таблиці 1.3. Однак, внесок цих джерел в світовий енергетичний баланс в даний час досить скромний [6-8].

Підвищення енергетичної ефективності установок, що використовують ВДЕ, є досить актуальною проблемою, що вирішується різними шляхами, які передбачають як поліпшення техніко-економічних характеристик власно енергетичного обладнання, так і оптимізацію його енергетичних балансів і режимів з урахуванням навантаження, що зміню-

ється і енергії відновлюваного джерела. З точки зору процесу енергоперетворення первинного енергоносія в електроенергію і її споживання, відновлювану енергетику слід розділяти на автономну і пов'язану з електроенергетичною системою щодо великої потужності. У першому випадку енергобаланс децентралізованої системи електропостачання визначається співвідношенням графіка електричних навантажень системи і зміною енергетичного потенціалу відновлюваного енергоресурсу.

Таблиця 1.3

Ресурси відновлюваних джерел енергії у світі

<i>Вид енергії</i>	<i>Теоретичні ресурси, млн., т.у.п.</i>	<i>Технічні ресурси, млн., т.у.п.</i>
Енергія сонця	1,3·10 <sup>8</sup>	5,3·10 <sup>4</sup>
Енергія вітру	2,0·10 <sup>5</sup>	2,2·10 <sup>4</sup>
Геотермальна енергія (до глибини 10 км)	4,8·10 <sup>9</sup>	1,7·10 <sup>5</sup>
Енергія світового океану	2,5·10 <sup>5</sup>	-
Енергія біомаси	9,9·10 <sup>4</sup>	9,5·10 <sup>3</sup>
Гідроенергія	5,0·10 <sup>3</sup>	1,7·10 <sup>3</sup>

Зазначені обставини викликають необхідність узгодження енергоустановок відновлюваної енергетики зі споживачем. У процесі узгодження повинні вирішуватися наступні завдання:

1. Забезпечення максимально ефективного використання відновлюваного енергоресурсу.
2. Узгодження виробленої і споживаної електроенергії, що у більшості випадків, вимагає включення в енергосистему накопичувачів енергії.
3. Керування режимами роботи перетворювачів енергії, регулювання параметрів електроенергії, що генерується.

Для вирішення зазначених завдань використовуються різні схемні рішення енергоустановок.

1. Система зі скиданням надлишків енергії (рис. 1.1). Даний спосіб узгодження потужностей відновлюваних енергоджерел і споживачів відрізняється максимальною простотою і полягає у використанні частини потенціалу первинного енергоносія, необхідною для енергозабезпечення поточного значення навантаження споживача. Енергія відновлюваного джерела не використовується. Системи енергозабезпечення такого типу широко застосовуються в конструкціях гідроелектростанцій, вітроелектростанцій із змінним кроком вітротурбін, в системах сонячного обігріву з керованими заслінками та ін.

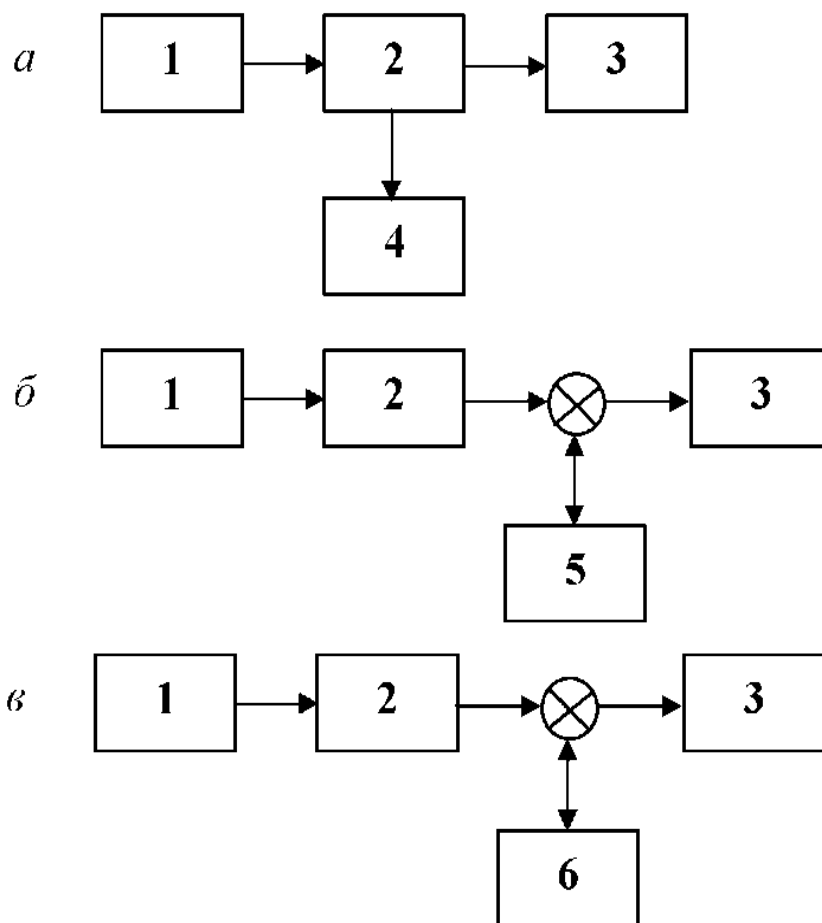


Рис. 1.1. Схеми узгодження відновлюваних джерел енергії зі споживачами:

*a* – система зі скиданням енергії; *б* – система з накопичувачем енергії; *в* – система з регульованим навантаженням: 1 – ВДЕ; 2 – перетворювач енергії; 3 – споживач; 4 - скидання в навколишнє середовище; 5 – накопичувач, 6 – регулятор

2. *Системи з накопичувачами енергії.* Надлишки енергії первинного енергоносія, по відношенню до поточного значення корисного навантаження, можуть акумулюватися і, в свою чергу, жити навантаження в періоди нестачі потенціалу відновлюваного енергоресурсу. В якості накопичувачів енергії можуть використовуватися різні пристрої: гідроакумулюючі системи, маховики, акумуляторні батареї та ін. Дані системи більш ефективно використовують первинний енергоресурс і широко застосовуються практично у всіх типах енергоустановок відновлюваної енергетики.

3. *Системи з регулюванням навантаження.* Такі системи забезпечують повне використання первинного енергоресурсу за рахунок керування поточною потужністю навантаження. Регулювання навантажень зазвичай здійснюється автоматично за допомогою напівпровідникових автобаластних систем. В якості баластних навантажень низького пріоритету застосовуються нагрівальні пристрої.

Слід зазначити, що крім максимального використання первинного енергоресурсу подібні системи дозволяють ефективно керувати режимом первинного перетворювача енергії і, в ряді випадків, параметрами вихідної напруги.

Мережеві електростанції, що використовують відновлені енергоресурси, не потребують пристроїв акумулювання та резервування електроенергії. Потужна електрична система здатна повністю прийняти всю енергію, що виробляється електростанцією. Крім того, енергосистема здатна ефективно впливати на режим станції, що працює синхронно з мережею. Відзначені особливості декілька спрощують і здешевлюють конструкцію мережевих установок відновлюваної енергетики в порівнянні з автономними електростанціями. Збільшення сумарної потужності установок відновлюваної енергетики по відношенню до потужності енергосистеми призводить до необхідності вирішення деяких проблем, характерних для енергобалансів автономних систем. Зокрема, доводиться вирішувати проблему перерозподілу потужностей між паливними електростанціями і електростанціями на ВДЕ з метою енергозабезпечен-



ня споживачів при мінімальній витраті палива. Такі проблеми успішно вирішуються в деяких країнах – лідерах в практичному використанні відновлюваної енергетики, наприклад у Німеччині.

## **1.2 Потенціал відновлюваних джерел енергії**

За даними Київського інституту відновлюваної енергетики технічний потенціал використання відновлюваних джерел енергії становить 81 млн еквівалентних тонн. Це приблизно у 2,5 рази більше, ніж сьогоднішні обсяги виробництва електроенергії. Найбільшу частку при цьому мають біомаса та геотермальна енергія – приблизно 30%. У прогнозі Національного агентства з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів (Forecast of the Renewable Energy Agency) представлено траєкторію розвитку відновлюваних джерел енергії, яка, виходячи з технічного потенціалу в 15 ТВт·год, ставить за мету 150 ТВт·год на 2030 р. і 250 ТВт·год на 2050 р [5-8].

*Біоенергія.* За оцінками фахівців, з усіх можливих джерел альтернативної енергії, найбільш прогресивними та перспективними для розвитку в світі та в Україні, зокрема, є біогазові технології, оскільки вони дозволяють одночасно утилізувати відходи, отримувати біодобрива та виробляти електроенергію. Крім того, широке застосування подібних технологій дозволяє, підвищуючи надійність енергопостачання, скорочувати кількість викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу. Як країна з досить великим обсягом сільськогосподарського виробництва і тваринництва, Україна має значні енергетичні ресурси для виробництва біогазу, які здатні замінити 2,6 млрд. м<sup>3</sup> природного газу/рік. При подальшому розвитку сільськогосподарського виробництва, відповідно, будуть збільшуватися й обсяги накопичуваних органічних відходів. Передбачається, що біопотенціал може досягти 7,7 млрд. м<sup>3</sup>/рік, в перерахунку на природний газ використання таких обсягів могло б забезпечити близько 10% загального енергоспоживання країни. Таким чином, Україна володіє величезними ресурсами для повсюдного впровадження біогазових технологій, а

кількість потенційних виробників біогазу, тільки на сьогоднішній день, складає більше 3 тисяч.

У світовій практиці біотехнології активно використовуються для виробництва біогазу і біопалива, для забезпечення автономного та незалежного електро- і теплопостачання. Крім того, біогазові установки можуть використовуватися в якості очисних споруд: на фермах, птахофабриках, цукрових заводах і м'ясокомбінатах, для знезараження органічних відходів і для отримання цінних органічних добрив. На біогазових установках, можна переробляти спеціально вирощені енергетичні культури і отримувати біопаливо. Серед переваг біогазового виробництва, є ще одна немаловажна – біогаз можна виробляти скрізь, де доступні біовідходи, і тут же використовувати для інших виробничих або побутових потреб, а надлишки після збагачення, використовувати як транспортне паливо. Це тим більш актуально для районів, в яких часто відбуваються збої в енергопостачанні, пов'язані з технічними проблемами транспортування, обривами і втратами в електромережах, при передачі на великі відстані або з причини повної відсутності центрального енергопостачання у віддалених районах. У таких випадках виділяти державні кошти, як це найчастіше відбувається, для того, щоб прокласти електро- і газотранспортні мережі коштовно і недоцільно, якщо для виробництва енергії є можливість використовувати біовідходи. Ще однією складовою економічної рентабельності біогазового виробництва є, відсутність необхідності в організації та управлінні поставками сировини так, в цьому випадку можна заздалегідь прогнозувати, скільки і коли буде отримано відходів для переробки.

Необхідно відзначити, що в даний час Україна є лідером в Європі з експорту ріпаку, проте близько 30% прибутку втрачається через те, що в країні немає достатньої кількості потужностей для переробки сировини і виробництва дорогого дизельного палива.

У 2009 р. завдяки використанню різних видів біомаси було вироблено енергоресурсів, які приблизно відповідають 0,7 % національного попиту на первинну енергію. В оновленій енергетичній стратегії Украї-

ни до 2030 р. частка біомаси в загальному енергоспоживанні України в 2015 році повинна скласти 1,5%, а в 2030 році – 10%. Біоенергія виробляється в даний час, головним чином, в результаті спалювання деревини, соломи та торфу і використовується в децентралізованому режимі для виробництва тепла та/або гарячої води.

Технічний потенціал використання біомаси згідно з відповідними даними становить від 126 до 162 ТВт·год або 195 ТВт·год. Найбільші частки припадають на солому (45 ТВт·год.) і енергетичні культури (41 ТВт·год).

*Спалювання біомаси.* Зважаючи на вже досягнутий рівень використання відновлюваних джерел енергії, слід зазначити, що багаторічні традиції використання біопалива, насамперед, деревини в лісистих місцевостях, наприклад, в Карпатах, збереглися і по сьогоднішній день. Деревина є там одним із основних енергоносіїв для життя в сільській місцевості, однак енергоефективність у порівнянні з сучасними установками для спалювання деревини є дуже низькою, при цьому на короткострокову перспективу вихід часто вбачається у модернізації на основі установок для спалювання газу.

Нинішнє використання твердої біомаси, такої як деревина, солома або торф, у домогосподарствах і промислових об'єктах складає близько 11 МВт. Потенціал цих ресурсів оцінюється на рівні 9200 МВт. Природний газ можна було б зекономити в обсязі 5,2 млрд. кубометрів (приблизно 52 ТВт·год електроенергії). Для цього були б необхідними інвестиції у розмірі 0,53 млрд. доларів США. Технологія не вимагає великих інвестицій на одиницю потужностей і для неї характерні короткі терміни амортизації та наявність національного технологічного потенціалу. Отже, швидка розбудова була б можливою. У 2009 р. в Україні було вироблено приблизно 300000 тонн (близько 1,3 ТВт·год електроенергії) pellet і брикетів, з яких приблизно дві третини було експортовано в Польщу і Німеччину. Для їхнього виробництва використовується тверда біомаса, наприклад, деревина або солома. Є близько 200 виробників, і для цього ринку – саме з огляду на великі обсяги експорту – вбачаються не-

погані шанси зростання. 20% фірм працюють з німецькою або польською участю. Ринок в Україні все ще незначний, оскільки відповідні установки для спалення майже відсутні. Крім того, субсидування цін на природний газ заважає швидшому освоєнню ринку для приватного використання.

*Біогаз.* В Україні в даний час є лише декілька установок з виробництва біогазу. Один із сучасних заводів розташований у Дніпропетровську і у 2003 р. був підключений до мережі, у Луганську є демонстраційна установка. Структура тваринництва дозволила виробити у 2008 р. від 1,39 до 2,78 ТВт·год електроенергії з тваринницьких відходів.

Біогазовий потенціал енергетичних культур, таких як кукурудза, оцінюється на рівні приблизно від 6,28 до 12,57 ТВт·год, причому цей показник відповідає обсягам експорту зерна в 2008 р. Тим самим, технічний потенціал виробництва біогазу складає наразі біля 4 – 8% від нинішнього виробництва електроенергії в Україні. Згідно з наявними даними, у 2020 р. економічний біогазовий потенціал мають утворювати 2990 установок зі встановленою потужністю 731 МВт або 405 МВт. Вирішальне значення матимуть структура і розмір сільськогосподарських підприємств. У 2009 р. лише 3% господарств були спроможними самостійно зібрати органічну сировину для біогазової установки потужністю в 500 кВт. Отже, розвиток сільськогосподарського сектору також буде визначати, для яких підприємств експлуатація такої установки буде ефективною.

Таким чином, можна говорити про те, що подальший розвиток і повсюдне впровадження біогазових технологій в Україні сприятиме створенню альтернативного енергетичного ресурсу, підвищення енергетичної безпеки держави, створенню нових робочих місць і, тим самим, сприяти розвитку національної економіки. Стимулюючи виробництво біогазу і біопалива, Україна зможе одночасно підвищити і рівень екологічної безпеки, утилізуючи органічні відходи, а також скоротити кількість шкідливих викидів, відповідно до вимог Кіотського протоколу.

*Сонячна енергія.* Енергія Сонця не тільки невичерпна і безкоштовна, але й беззастережно найбільш екологічна будь-якого з доступних людині видів енергії. Кожні 8 хвилин від Сонця надходить стільки енергії, скільки людство витрачає за рік. Вся потреба людства в енергії на 180 років вперед може бути забезпечена сонячною енергією, яка досягає Землі тільки за один день. У чисельному вираженні Сонце посилає нашій планеті щодня 960 000 000 000 кіловат енергії. Це означає, що в майбутньому ні один із способів отримання енергії не пройде повз використання енергії Сонця.

Кількість сонячної енергії, що припадає на одиницю площі земної поверхні впродовж року, становить 1000-1350 кВт·год/м<sup>2</sup>. За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання країну можна поділити на чотири регіони – Західний, Центральний, Південно–Східний і Південний. Середня інтенсивність сонячного випромінювання тут становить близько 1200 кВт·год/м<sup>2</sup>.

У зв'язку з актуальними екологічними проблемами і усвідомленою необхідністю енергозбереження, у всьому світі все більше уваги приділяється використанню відновлюваної енергії, наприклад сонячної енергії, для отримання тепла. Значні можливості енергозабезпечення будівель відкриваються завдяки впровадженню сонячних колекторів для систем гарячого водопостачання та опалення. За допомогою сонячних колекторів можна отримувати енергію без шкідливого навантаження на навколишнє середовище. Правильно розрахована геліосистема може покрити до 50 - 60% енергетичних витрат, що витрачаються зазвичай на гаряче водопостачання.

В цілому територія України належить до зони середньої інтенсивності сонячної радіації. У реальних умовах величина густини прямої та дифузної сонячної радіації залежить від широти місцевості, прозорості атмосфери, характеристик земної поверхні, а також від часу доби і пори року.

Реалізовані впродовж останніх років експериментальні проекти засвідчили, що річне виробництво теплової енергії в умовах України ста-

новить 500–600 кВт·год/м<sup>2</sup>. Враховуючи загальноприйнятий на Заході потенціал використання сонячних колекторів для розвинених країн, що дорівнює 1 м<sup>2</sup> на одну людину, а також ККД сонячних установок для умов України, щорічні ресурси сонячного гарячого водопостачання та опалення можуть становити 28 кВт·год/м<sup>2</sup> теплової енергії. Реалізація цього потенціалу дозволила б заощадити 3,4 млн. т умовного палива (т.у.п.) на рік.

Експлуатація фотогальванічних установок для виробництва електроенергії здійснюється в даний час в Україні у незначних обсягах. Незважаючи на високі пільгові тарифи на рівні приблизно 0,3 євро/кВт·год., ця технологія не може пробити собі дорогу через велику потребу в інвестиціях. Разом з тим, ще в цьому році в Україні планується введення в експлуатацію однієї з найбільших сонячних електростанцій у Європі. За даними Інституту відновлюваної енергетики технічний потенціал сонячної енергії становить 28,8 ТВт·год. Агентство з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів оцінює цей потенціал втричі вище: 91 ТВт/год.

Україна має власне виробництво PV-панелей. Річний обсяг їхнього виробництва становить приблизно 150 МВт, причому близько двох третин продукції експортується. Для підвищення якості виробів і тим самим скорочення витрат необхідні інвестиції в дослідження і розробку.

*Гібридні сонячні станції.* Розгляд основних методів перетворення сонячної енергії показує, що кожний з них має певні достоїнства, однак жоден не може забезпечити надійне виробництво енергії.

Фотоелектричні системи дають можливість робити електрику у світлий час доби, при цьому радіація може бути прямою або розсіяною. Для їхньої роботи не потрібний високий ступінь концентрації. Однак у темний час доби виробництво енергії за допомогою таких станцій неможливе.

Сонячні станції, що використовують термодинамічний цикл, можуть перетворювати тільки пряму сонячну радіацію, оскільки для їхньої роботи потрібен високий ступінь концентрації сонячного випроміню-

вання. Перевага сонячно - термальних станцій в. тому, що вони пристосовані до високотемпературного акумулювання тепла в межах доби, що дозволяє робити електрику в темний час доби або в умовах короткочасної відсутності прямої сонячної радіації. Високотемпературне акумулювання тепла в цей час потенційно більш економічне, ніж батареї або інше непаливне акумулювання, особливо коли рідина - теплоносіє також і акумулює тепло. Однак при тривалій відсутності прямої сонячної радіації такі станції працювати не можуть, оскільки сонячна енергія акумулюється ненадовго.

Довгострокову акумуляцію дає біоконверсія. Спеціальне вирощування біомаси з наступним її бродінням у спирт або метан дозволяє створити штучні аналогії процесу утворення органічного палива, у багато разів переважаючи по швидкості природні процеси. Недоліком системи біоконверсії є низький ККД перетворення сонячної енергії. Він обумовлений низькою ефективністю фотосинтезу, у результаті якого виходить органічне паливо, що вимагає додаткового перетворення, що ще більше зменшує ККД системи.

Один з можливих шляхів підвищення надійності сонячних станцій – підключення до Сонячної системи недорогої системи на викопному паливі, енергія від якої може компенсувати коливання "сонячного постачання". Однак гібридні системи такого типу вже не є сонячними станціями в повному розумінні слова.

Разом з тим завдання надійного виробництва енергії з використанням тільки сонячної радіації можна вирішити, якщо побудувати гібридну станцію, що сполучає в собі всі три методи перетворення сонячної енергії: фотоелектричний, сонячно - термальний і біоконверсію. Дійсно, у такій станції фотоелектрична система прямо перетворить сонячну радіацію в електрику, що може споживатися відразу в момент його виробництва. Термодинамічна система акумулює сонячну енергію для роботи станції в години пік і в темний час доби. Система біоконверсії забезпечує роботу станції в періоди тривалої відсутності сонячної радіації за рахунок акумулювання біопалива.

Необхідна кількість акумульованої енергії залежить від розташування станцій і може бути невеликою. Звичайно потреба в електроенергії має добові піки в середині дня й сезонні на початку літа, тобто тоді, коли можливе максимальне вироблення енергії від сонячних установок. Тому для задоволення потреб досить широкого кола споживачів цілком достатньо помірної кількості акумульованої енергії.

*Енергія вітру.* Згідно з наявними даними нинішня встановлена потужність становить приблизно 300 МВт. Експлуатовані установки здебільше невеликі і мають потужність на рівні 110 кВт. Потенціал вітрової енергії, який може бути використаний до 2030 р., оцінюється в 16 ГВт, причому щорічно можна виробляти від 25 до 30 ТВт·год електроенергії [20,21]. Крім того, Агентство з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів вважає, що до 2050 р. може використовуватись до 30 ТВт·год. вітрової енергії, тоді як загальний технічний потенціал вітрової енергії складе 42 ТВт·год. В українській Енергетичній стратегії планується, що до 2030 р. в Україні 2 ТВт·год. електроенергії будуть вироблятися вітровими установками. Це означає, що здійснене у 2005 р. державне планування задає показник, який приблизно на 90% менший від потенціалу, оцінюваного Агентством з питань забезпечення ефективного використання.

Переваги вітрової енергетики:

- низька собівартість – вітроенергетика може конкурувати з ядерною, вугільною та газовою енергетикою;
- нульова вартість паливної складової, джерело енергії невичерпне і присутнє в необмеженій кількості;
- екологічно прийнятна енергетика – виробництво енергії не супроводжується викидами двоокису вуглецю;
- вітроенергетика не має ризиків, пов'язаних із нестабільністю цін на викопне паливо;
- надійність поставок – вітроенергетика дозволяє уникнути залежності від імпорту енергоресурсів;
- модульний дизайн, швидкий монтаж;



- електропостачання за обсягами порівнянне з традиційними способами генерації;
- вітроенергетика не заважає веденню сільського господарства і промислової діяльності поблизу вітростанцій.

У світі було зроблено кілька досліджень з оцінки ресурсів вітрової енергетики та найдетальніше з них – для Європи. Ці дослідження підтверджують, що вітрові ресурси величезні і рівномірно розподілені практично по всіх регіонах і країнах. Недостатня сила вітру навряд чи може стати стримуючим чинником розвитку вітрової енергетики в світі. Аналізи ресурсів, зроблені для окремих країн і регіонів, часто вказували на більш високий потенціал, ніж той, що давали глобальні дослідження.

Згідно з доповіддю «Відновлювані джерела енергії: отримання палива та електроенергії» (Michael Grubb and Neils Meyer, “Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity”, 1994), світовий потенціал вітрової енергетики достатній для виробництва 53 000 ТВт·год електроенергії на рік. Це в три рази перевищує світовий вжиток електроенергії – 13663 ТВт·год на рік (за даними Міжнародного енергетичного агентства, 2003 р.). У доповіді Консультативної ради Німеччини з глобальних проблем (WBGU) «Світ в перехідний період – на шляху до стійких енергетичних систем» («World in Transition – Towards Sustainable Energy Systems», 2003), підраховано, що світовий технічний потенціал вітрової енергетики на суші і в прибережних акваторіях складає  $1000 \times 10^{18}$  Дж на рік. Автори доповіді роблять припущення, що 10-15% цього потенціалу можна реалізовувати на стійкій основі. Відповідно до доповіді, цей обсяг енергії становить 35% всієї первинної енергії, виробленої у світі в 1998 році.

Вітрова енергетика часто характеризується як «стрибкоподібна» і з цієї причини ненадійне джерело енергії. Насправді, зупинки та включення вітрових турбін не є хаотичними. Їх потужність змінна, як у будь-якій іншій енергетичній системі. Потоки енергії – як при споживанні, так і при виробництві – знаходяться під впливом ряду прогнозованих і непрогнозованих чинників. Наприклад, зміни в погоді змушують людей

вимикати і вимикати опалення та освітлення. З іншого боку, в системі енергопостачання, коли велика електростанція через аварію або планову зупину відключається від мережі, це відбувається миттєво і веде до негайних втрат у мережі сотень мегават. Вітрова енергетика не дає таких несподіваних збоїв. Коливання сприймаються м'якше завдяки сотням або тисячам генераторів (що переважніше декількох великих електростанцій), що спрощують прогнозування та управління цими коливаннями. Загальний ефект від припинення вітру в одному певному місці незначний, тому що вітер завжди десь ще є.

Енергосистемам доводиться мати справу з несподіваними коливаннями потужностей великих електростанцій. Заходи щодо регулювання коливань необхідні і при роботі з вітровими станціями. Питання тут не стільки в самих коливаннях, скільки в тому, як їх прогнозувати і справлятися з ними, якими способами підвищувати ефективність.

Вітрова енергетика завжди буде впливати на резерви енергетичної системи, величина яких залежатиме від розміру енергосистеми, виду генерації, коливань, управління попитом і ступенем інтеграції з іншими системами. При цьому великі енергосистеми можуть використовувати перевагу, що полягає у різноманітності джерел генерації. У таких системах є гнучкі механізми для супроводу змін навантаження і зупинки станцій, які не завжди можна точно прогнозувати.

При цьому постійно удосконалюються технології прогнозування спираючись на все більш точні прогнози погоди, аналіз статистичних даних, використовуючи вдосконалені моделі вітроустановок, можна заздалегідь передбачати обсяг виробленої енергії на період від 5 хвилин до 72 годин, а також оцінювати генерацію по сезонам і річним циклам. При використанні сучасних засобів розрахунків похибка оцінки генерації для одного вітропарку становить 10-20% при прогнозуванні на 36 годин. Для групи вітропарків похибка становить 10% на одну добу та 5% на 1-4 години.

Ефект від розширення площі, займаної вітроустановками, також може бути значним. Моніторинг Німецького дослідницького інституту

ISET показав, що в той час як окрема турбіна може відчувати коливання потужності до 60% протягом години, максимальне коливання групи об'єднаних вітропарків із встановленою потужністю 350 МВт не перевищує 20%. На великих просторах для таких систем, як Nordel, яка розташована на території 4 країн (Фінляндія, Швеція, Норвегія і Данія), найбільше коливання протягом години не перевищує 10%.

Одна з серйозних помилок, що часто допускаються під час обговорення інтеграції вітрової енергетики в енергетичні мережі, полягає в тому, що це питання розглядається ізольовано, у відриві від всієї енергосистеми. Сучасний рівень інтеграції вітростанцій в електричних мережах демонструє, що підключення вітрової енергетики до великих систем реально. Досвід інтеграції вітростанцій потужністю більше 40 ГВт, встановлених в Європі, показує, яким чином відбувається інтеграція високого, середнього та низького рівнів у різних умовах, а також вузькі місця і проблеми такої інтеграції.

Низький рівень інтеграції не чинить на роботу системи значного впливу. В даний час виробництво електроенергії за рахунок вітроенергетики становить 3-4% від загальної потреби ЄС у електроенергії, хоча існує велике варіювання по регіонам і країнам. Сучасні методи контролю та резервні потужності дозволяють без проблем інтегрувати до 20% електроенергії, одержуваної від вітростанцій.

Незважаючи на успішний досвід, досі залишається ряд питань щодо можливості інтегрування великих потужностей вітрової енергетики в об'єднану енергосистему. Ці питання стосуються системи управління, підключення до мережі, стабільності її роботи та вдосконалення інфраструктури. Вітрова енергетика виглядає як серйозний виклик енергосистемі. Поширена думка про необхідність великих витрат на обслуговування такої інтеграції і її підтримки з боку традиційної енергетики. Однак при цих оцінках часто не враховуються такі ключові фактори:

- енергосистеми мають справу з регулярними коливаннями, нестабільністю попиту, а також з непрогнозованими збоями при передачі і генерації енергії;

– вітрова енергетика може впроваджуватися на системному рівні, що створює згладжувальний ефект, зростаючий з розширенням площі, що займають вітрові станції;

– можливе прогнозування генерації на вітростанціях як в погодинному, так і добовому режимі.

За прогнозами аналітиків, у найближчі роки вітроенергетика в Україні буде розвиватися швидше, в порівнянні з іншими видами відновлювальної енергетики, а загальна потужність вітропарків перевищить потужність сонячних станцій в 10 разів. На думку експертів, це зумовлено тим, що в порівнянні з фотоелектричними модулями, при однаковій потужності, вітроустановки займають меншу площу і коштують набагато дешевше.

Територія України знаходиться у вигідному положенні для використання вітрових ресурсів. Швидкість вітру у регіонах країни має різне значення і є основним показником для визначення місця розташування вітрових парків та окремих вітрових електроустановок. Розрахункове річне виробництво електроенергії вітроустановкою при встановленні її на територіях різних регіонів показано на рис. 1.2, з якого можна зробити висновок, що найбільша кількість електроенергії може вироблятися у районах міст Керч, Феодосія, Дніпропетровськ, Донецьк і складає 7-8 МВт·год. Це обумовлено географічним розташуванням даних міст, відкритістю території, та наявністю помірних та сильних вітрів. Даної потужності достатньо для електропостачання середнього чи великого власного будинку [19].

Україна має власне виробництво вітряних установок. Проте продуктивність виробленого в країні обладнання значно нижча, ніж у західноєвропейських виробників і не є конкурентоспроможною. Існують власні потужності технологічних конструкторських розробок, але вони обмежені. Однак у середньостроковій перспективі цей сектор у співпраці з іноземними виробниками обладнання і комплектуючих може створити виробництво сучасних установок. Це було б ефективним варіантом, оскільки, зокрема, транспортування башт є дорогим, і тому їхнє вироб-

ництво в регіонах у довгостроковій перспективі допомогло б зменшити необхідні інвестиції в розрахунку на одиницю потужності.

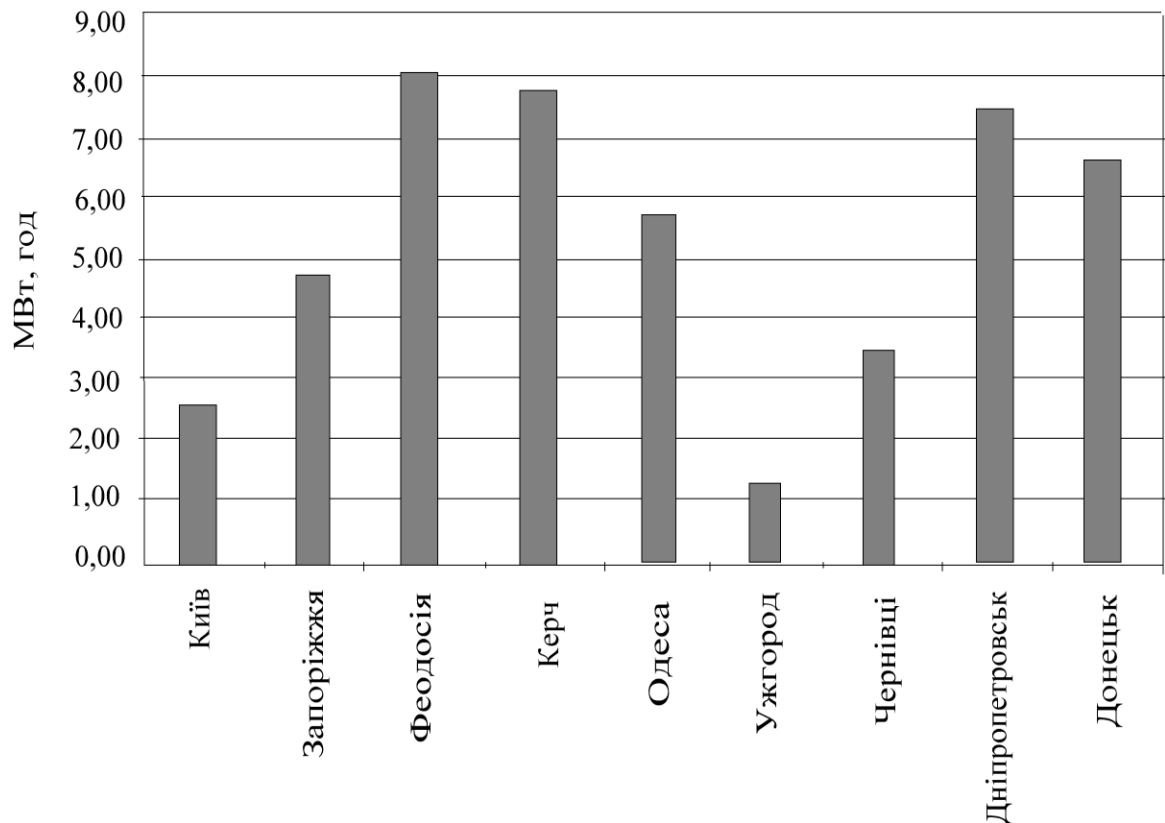


Рис. 1.2. Розрахункове річне виробництво електроенергії в містах України

Найпростіші автономні ВЕУ без накопичувачів енергії можуть застосовуватися тільки для споживачів, що не вимагають безперервності і високої якості електроенергії [11]. Мобільні збірно-розбірні швидкокомпонтуємі ВЕУ потужністю до 1 кВт, що виробляють постійний струм при напрузі 12 або 24 В і забезпечені накопичувачем енергії у вигляді акумуляторної батареї, можуть широко використовуватися для електропостачання навігаційних пристроїв, маяків, ретрансляторів і тому подібне. При потужностях від одиниць до десятків кіловат можуть використовуватися стаціонарні автономні ВЕУ з акумуляторними накопичувачами. Проте вживаний при таких потужностях змінний струм напругою 220 або 380 В і підвищені вимоги до якості електроенергії, змушують вико-

ристовувати різного ступеню складності механічні, електричні або електронні системи регулювання, спеціальні пристрої для перемикання, узгодження, перетворювання, випрямлення та інвертування, що значно здорожує ВЕУ. У поєднанні з потужною акумуляторною батареєю, вартість якої істотно залежить від розрахункової тривалості штільової паузи, такі ВЕУ стають економічно неконкурентоспроможними в порівнянні з традиційними джерелами енергії. Не знімається для таких ВЕУ і проблема забезпечення надійності електропостачання.

Необхідно відмітити, що ВЕУ екологічно не бездоганні. Новітні дослідження в США і Німеччині показали, що вітроагрегати з діаметром вітроколеса більше 10 м генерують інфразвукові коливання, що мають шкідливу дію на організм людини і тварин (у тому числі пригноблюючим психіку). При цьому птахи, дрібні тварини і навіть комахи й черв'яки покидають цю зону, що може негативно вплинути на загальний стан фауни і флори в місці розташування вітроагрегатів. Усі ВЕУ досить шумні. Вітроколеса створюють перешкоди при прийомі сигналів теле- і радіопередавальних станцій. У зв'язку з цим виникають проблеми розташування ВЕУ на певному видаленні від будинків, аеропортів, доріг та інших об'єктів.

*Геотермальна енергія.* Вираз "геотермальна енергія" буквально означає, що це енергія тепла землі (гео – земля, термальна – теплова). Підраховано, що температура ядра Землі складає близько 5000 °С. У середньому температура підвищується на 3 °С через кожні 100 метрів у глибину. Так, на глибині 20 км вона складає близько 500 °С, на глибині 50 км - порядку 700...800 °С. Основним джерелом геотермальної енергії є постійний потік тепла з розжарених надр, направлений до поверхні землі. Цього тепла достатньо, щоб розплавляти гірські породи під земною корою, перетворюючи їх на магму. Велика частина магми залишається під землею і, подібно до печі, нагріває навколишню породу. Коли підземні води стикаються із цим теплом, вони теж дуже нагріваються – іноді до температури 371 °С. У деяких місцях, особливо по краях тектонічних плит материків, а також у так званих "гарячих точках" теплота підходить

так близько до поверхні, що її можливо видобувати за допомогою геотермальних свердловин.

Технічно досяжні ресурси геотермальної енергії обмежені загальним тепловим вмістом верхніх 10 км земної кори в межах суші, що в паливному еквіваленті дорівнює 13 660 трлн. т у. п. Придатні для використання геотермальні ресурси визначені в 137 трлн. т у. п., це складає близько 1 % загальної тепломісткості верхньої 10-кілометрової товщі земної кори. Основну їхню частину складає енергія гарячих гірських порід. Відповідно до цих даних на природну пару, воду і розсоли перших 10 км земної кори приходиться лише сота частина ресурсів (1,4 трлн. т у.п.).

Україна має у своєму розпорядженні значні ресурси геотермальної енергії, потенційні запаси яких оцінюються величиною  $10^{22}$  Дж. Це еквівалентно запасам палива  $3,4 \cdot 10^{11}$  т.у.п. За різними оцінками ресурси геотермальної теплоти з урахуванням розвіданих запасів і ККД перетворення геотермальної енергії зможуть забезпечити роботу ГеоТЕС загальною потужністю до 200 - 250 млн. кВт (при глибинах буріння свердловин до 7 км та періодах роботи станцій до 50 років) та систем геотермального теплопостачання загальною потужністю до 1,2 - 1,5 млрд. кВт (при глибинах буріння свердловин до 4 км та періодах роботи систем до 50 років).

В Україні найбільш перспективним для розвитку геотермальної енергетики регіоном є Закарпаття, де за геологічними та геофізичними даними, на глибинах до 6 км температури гірських порід досягають 230 - 275 °С. Тут легко доступними є геотермальні свердловини глибиною від 550 до 1500 м, у яких температура води на гирлі свердловини складає 40 - 60 °С, а при глибинах до 2000 м температура зростає до 90 - 100 °С. Значні ресурси геотермальної енергії має Крим, для якого найбільш перспективними є Тарханкутський і Керченський півострови, де спостерігаються невеликі геотермальні градієнти, а температура гірських порід на глибинах 3,5 - 4 км може досягати 160 - 180 °С.

Доцільність розвитку геотермальної енергетики в Україні визначається наявністю значних ресурсів геотермальної енергії на її території,

які за своїм тепловим еквівалентом переважають запаси традиційного енергетичного палива. В Україні на даний час експлуатуються теплонасосні системи теплопостачання загальною тепловою потужністю 8 МВт, які укомплектовані імпорнтними тепловими насосами або вітчизняними холодильними установками, що експлуатуються в режимі теплового насосу. Потенціал геотермальної енергетики в Україні представлений у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Потенціал геотермальної енергетики в Україні

<i>Загальний потенціал</i>		<i>Технічний потенціал</i>		<i>Доцільно економічний потенціал</i>	
кВт·год/рік	т у.п./рік	кВт·год/рік	т у.п./рік	кВт·год/рік	т у.п./рік
438·10 <sup>9</sup>	50·10 <sup>6</sup>	262,8·10 <sup>9</sup>	30·10 <sup>6</sup>	180·10 <sup>9</sup>	21·10 <sup>6</sup>

Виходячи з технічних можливостей ГеоТЕС та обмежень з екологічних та економічних причин, розвиток геотермальної електроенергетики вбачається оптимальним за такими пріоритетними напрямками:

- створення достатньо великих ГеоТЕС на базі високотемпературних геотермальних родовищ із температурою більше 150 °С та з одиничною потужністю блоків 10 - 50 МВт;

- розвиток мережі малих ГеоТЕС з одиничною потужністю 50 - 5000 кВт;

- створення комбінованих електростанцій з використанням як теплоти геотермальних вод, так і теплоти, отриманої внаслідок спалювання органічних видів палива (нафти, газу, вугілля);

- створення комбінованих електротехнологічних вузлів для отримання електроенергії, теплоти та цінних компонентів, які містяться в геотермальних теплоносіях.

Технічні особливості геотермальної електроенергетики (обмежені значення верхніх температур циклів і висока мінералізація геотермаль-



них теплоносіїв) дуже специфічні, тому спочатку, як вважають фахівці, особливу увагу необхідно сконцентрувати на введенні в дію декількох дослідно–експериментальних ТЕС невеликої потужності для відпрацювання технології й устаткування. Так, обмежені значення верхніх температур термодинамічних циклів ГеоТЕС приводять до необхідності використання спеціального устаткування, спеціальних робочих тіл і збільшення кількості низькопотенціальної теплоти. Висока мінералізація геотермальних теплоносіїв обумовлює необхідність використання корозійностійких матеріалів, а наявність розчинених у геотермальних водах газів - допоміжного устаткування, тобто систем газовиділення й утилізації відпрацьованого теплоносія, що приводить до значного збільшення витрат потужності на власні потреби (до 50 % і більше).

Для розвитку й освоєння геотермальних родовищ в Україні немає потреби створювати нову виробничу базу, варто лише частково переорієнтувати існуючі геологорозвідувальні та нафтовидобувні організації, завантаження яких з кожним роком знижується внаслідок виснаження в Україні запасів нафти і газу. Устаткування для геотермальних установок та систем теплопостачання можна виготовляти на діючих машинобудівних підприємствах.

*Гідроенергія.* В даний час гідроенергія є єдиним відновлюваним енергоресурсом, який використовується у більш значних обсягах. Згідно з оцінками, її технічний потенціал складає близько 30 ТВт/год [14, 40].

*Мала гідроенергетика.* Малі та мікроГЕС – об'єкти малої гідроенергетики. Ця частина енерговиробництва займається використанням енергії водних ресурсів та гідравлічних систем за допомогою гідроенергетичних установок малої потужності (від 1 до 3000 кВт). Мала енергетика отримала розвиток у світі в останні десятиліття, в основному через прагнення уникнути екологічного збитку, що наноситься водоймищами великих ГЕС, через можливість забезпечити енергопостачання у важкодоступних та ізольованих районах, а також, через невеликі капітальні витрати при будівництві станцій і швидкого повернення вкладених коштів (в межах 5 років).

Гідроагрегат малої ГЕС (МГЕС) складається з турбіни, генератора і системи автоматичного керування. За характером використовуваних гідроресурсів МГЕС можна розділити на наступні категорії: нові руслові або приплотинні станції з невеликими водосховищами; станції, що використовують швидкісну енергію вільної течії річок; станції, що використовують існуючі перепади рівнів води в самих різних об'єктах водного господарства – від судноплавних споруд до водоочисних комплексів (а зараз вже існує досвід використання питних водогонів, а також промислових і каналізаційних стоків). Використання енергії невеликих водотоків за допомогою малих ГЕС є одним з найбільш ефективних напрямків розвитку відновлюваних джерел енергії і в нашій країні.

МікроГЕС (потужністю до 100 кВт) можна встановити практично в будь-якому місці. Гідроагрегат складається з енергоблоку, водозабірної пристрою і пристрою автоматичного регулювання. Використовуються мікроГЕС як джерела електроенергії для дачних селищ, фермерських господарств, хуторів, а також для невеликих виробництв у важкодоступних районах - там, де прокласти мережі невігідно.

Однією з основних переваг об'єктів малої гідроенергетики є екологічна безпека. У процесі їх спорудження та подальшої експлуатації шкідливих впливів на властивості і якість води немає. Водойми можна використовувати і для рибогосподарської діяльності, і як джерела водопостачання населення. Однак і крім цього у мікро– і малих ГЕС чимало переваг. Сучасні станції прості в конструкції і повністю автоматизовані, тобто не вимагають присутності людини при експлуатації. Вироблюваний ними електричний струм відповідає вимогам Держстандарту по частоті і напрузі, причому станції можуть працювати як в автономному режимі, тобто поза електромережі енергосистеми краю або області, так і в складі цієї електромережі. А повний ресурс роботи станції - не менше 40 років (не менше 5 років до капітального ремонту). Ну а головне – об'єкти малої енергетики не вимагають організації великих водосховищ з відповідним затопленням території і колосальним матеріальним збитком.

Рівень освоєння гідропотенціалу великих річок в Україні практично вичерпаний. В останні роки використання технічного гідропотенціалу великих річок в Україні перевищувало 60 %. До використання потенціалу р. Дністер вимагає серйозних екологічних досліджень та обґрунтування (крім верхів'я). Ускладнює цю роботу нове міждержавне значення річки.

Як показують дослідження Інституту відновлюваної енергетики НАН України, значні енергетичні ресурси малих річок (загальні – 2300...2400 МВт, технічні – 1600...1700 МВт, першочергові – 600...700 МВт) практично не використовуються. Розвиток малої гідроенергетики в Україні забезпечить надійне енергопостачання споживачів промислового і житлово–комунального господарства сіл та районних центрів, інтенсивний розвиток сільського господарства поліпшить стан соціальної сфери та екології. Для регіонів Західної України впровадження МГЕС призведе до значного енергозабезпечення.

В Україні нараховується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95%) – дуже малі (довжина менше ніж 10 км), їхня сумарна довжина – 112 тис. км, тобто середня довжина такого водотоку – 1,9 км. Більшість малих річок довжиною менш ніж 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км<sup>2</sup> (87% всієї кількості і 72% всієї довжини малих річок України). Малих річок з площею водозбору від 50,1 до 100 км<sup>2</sup> нараховується 890 (28% всієї кількості), а 797 річок (25%) мають площу водозбору 20,1 – 50 км<sup>2</sup> [40]

При використанні енергетичних ресурсів малих річок велике значення має стан льодоставу на річках взимку. Це особливо важливо для мікро – ГЕС, які використовують кінетичну енергію потоку річок. Енергетичний потенціал малих річок України наведено в табл. 1.5, а його розподіл по областях України – у таблиці 1.6.

Використання енергії невеликих водотоків за допомогою малих ГЕС є одним з найбільш ефективних напрямів розвитку відновлюваних джерел енергії. Сучасні станції прості в конструкції і повністю автома-

тизовані, тобто не вимагають присутності людини під час експлуатації. Електроенергія, що виробляється ними відповідає вимогам по частоті і напрузі, причому станції можуть працювати, як в автономному режимі, тобто поза електромережею енергосистеми регіону, так і у складі цієї електромережі. Повний ресурс роботи таких станції – не менше 40 років (не менше 5 років до капітального ремонту).

Таблиця 1.5

Гідроенергетичний потенціал малих річок України

<i>Загальний потенціал</i>		<i>Технічний потенціал</i>		<i>Доцільно економічний потенціал</i>	
млрд. кВт·год / рік	млн. т. у.п./рік	млрд. кВт·год / рік	млн. т. у.п. / рік	млрд. кВт·год / рік	млн. т. у.п. / рік
12,5	4,5	8,3	3,0	3,7	1,3

Таблиця 1.6

Розподіл загального гідроенергетичного потенціалу малих річок по областях України

<i>Область</i>	<i>Потенціал, млн. Вт·год / рік</i>
1	2
Автономна Республіка Крим	211,0
Київська	200,0
Вінницька	360,0
Волинська	115,2
Дніпропетровська	101,2
Донецька	189,0
Житомирська	336,0
Закарпатська	4532,0
Запорізька	50,5
Івано – Франківська	399,0

1	2
Кіровоградська	170,0
Луганська	436,0
Львівська	1814,0
Миколаївська	156,8
Одеська	37,5
Полтавська	396,0
Рівненська	304,0
Сумська	298,0
Тернопільська	427,2
Харківська	268,0
Херсонська	2,2
Хмельницька	303,5
Черкаська	331,0
Чернівецька	883,7
Чернігівська	178,2
<b>Всього по Україні</b>	<b>12500,0</b>

Відбір потужності водного потоку природним чином без будівництва гребель, каналів і напірних труб виявляється найбільш вигідним з екологічного погляду, оскільки абсолютно не порушує природного русла річки, не перешкоджаючи вільному переміщенню річкової фауни і флори на відміну від існуючих ГЕС. Такий спосіб дозволяє використовувати не лише енергію річок і морів, але і рух повітряних мас. При використанні вітрогенераторів перенесення вітродвигуна з повітряного середовища у водне обумовлює перевагу для нього гідравлічного середовища перед повітряним з огляду на те, що щільність води більш ніж у 840 разів більше щільності повітря. У стільки ж разів площа вертикальної проекції водного ротора може бути менше, чим та ж площа рівнове-

ликого по потужності повітряного ротора при одній і тій же швидкості водного і повітряного потоків. Для гідросилових установок малої потужності, якими є вільнопотоківі, цей факт має дуже велике значення [40].

Існує чотири основні типи вільнопотоківих гідротурбін, - це водяне колесо, гірлянда ГЕС, ротор Дар'є і пропелер. Потужність вільнопотоківі гідроустановки залежить від трьох величин: 1) витрати води, тобто кількості води, що протікає через робочий переріз турбіни за кожну секунду часу; 2) динамічного натиску, визначаючого діючу силу потоку, що рухається; 3) технічної якості гідротурбіни, що характеризується значенням ККД.

### **1.3 Законодавчі і тарифні умови в Україні для відновлюваних джерел енергії**

Законодавчу основу для виробництва відновлюваної енергії утворюють Закон "Про альтернативні види рідкого та газоподібного палива" від 14 січня 2000 р., № 1391-XIV, з доповненнями від 21 травня 2009 р., № 1391-IV, і Закон "Про альтернативні джерела енергії" від 20 лютого 2003 р. № 555-IV, з доповненнями від 25 вересня 2008 року, № 601-VI. Перший закон визначає принципи політики сприяння, другий – державні механізми регулювання. Щоправда, у зазначених документах, як і раніше, відсутні конкретні заходи підтримки.

Оскільки відновлювані джерела енергії сьогодні ще не конкурентоспроможні, інвестиційні рішення приватних підприємств суттєвою мірою залежать від форм державної підтримки. Перші заходи сприяння були ухвалені у законі про запровадження так званих "зелених тарифів" від 25 вересня 2008 р. (№601-VI). Закон містить доповнення до законів "Про електроенергетику" та "Про альтернативні джерела енергії". Закон "Про електроенергетику" визначає спеціальні тарифи для тієї електроенергії, яка виробляється із альтернативних джерел. Закон зобов'язує операторів мереж (обленерго) купувати електроенергію у генеруючих компаній і подавати її в мережі, якщо виробництво здійснюється із визначених у Законі відновлюваних джерел.

Точний розмір тарифів, що сплачуються генеруючим компаніям, визначається через "зелений оптовий тариф" та через розроблені національним регулюючим органом (Національною комісією регулювання електроенергетики - НКРЕ) коефіцієнти для відповідних генеруючих технологій. Чинний в даний час "зелений оптовий тариф" на електроенергію був уперше визначений НКРЕ 15 січня 2009 р. у розмірі 0,6624 грн./кВт·год до сплати податку на додану вартість (за сьогоднішнім обмінним курсом близько 0,07 євро/ кВт·год.). Потім на цій основі визначаються ціни на окремі енерготехнології шляхом множення "зеленого тарифу" на відповідний коефіцієнт. Коефіцієнти для різних видів генерації є такими:

- 1,2 для електроенергії з вітряних установок потужністю до 600 кВт;
- 1,4 для електроенергії з вітряних установок потужністю від 600 до 2000 кВт;
- 2,1 для електроенергії з вітряних установок потужністю понад 2000 кВт;
- 2,3 для електроенергії з біомаси;
- 4,8 для електроенергії із наземних об'єктів сонячної енергетики;
- 4,4 для електроенергії із встановлених на дахах електроенергетичних об'єктів потужністю до 100 кВт;
- 4,6 для електроенергії із встановлених на дахах електроенергетичних об'єктів потужністю понад 100 кВт;
- 0,8 для електроенергії, виробленої малими гідроелектростанціями.

Генеруючі компанії, які використовують відновлювані джерела енергії, мають також право на безпосереднє постачання кінцевому споживачу, якщо він готовий платити "зелений тариф", що з огляду на субсидування ціни на електроенергію для приватного використання (0,024 євро) не видається імовірним. Закон передбачає поступове скорочення коефіцієнтів при сплаті тарифів для новоспоруджених енергоустановок. Відповідно до цього, після 2014 р. коефіцієнт зменшується на 10%, після 2019 р. – на 20%, після 2024 р. – на 30%. "Зелений тариф" діятиме до 2030 р. Закон також передбачає захист інвесторів від девальва-

ції, прив'язуючи "зелений тариф" до обмінного курсу євро станом на 1 січня 2009 р.

Враховуючи світовий досвід і усвідомлюючи вигоду і переваги розвитку відновлюваної енергетики, в Україні ця галузь отримала суттєву державну підтримку. Так, Податковий кодекс України, прийнятий в 2010 р., звільняє від оподаткування прибуток підприємств від продажу електричної енергії, виробленої відновлюваними джерелами енергії до 01.01.2021 р. (розділ XX підрозділ 4 пункт 17), за умови, що зекономлені таким чином кошти підприємство використовує на збільшення потужності електростанції. Така пільга забезпечує істотне збільшення доходів відповідних інвестиційних проектів шляхом поступового збільшення встановленої потужності за рахунок використання податку на прибуток від продажу електроенергії. В той же час, введена податкова політика є ефективною не лише для інвесторів, але і для держави. Недоотримані державою впродовж пільгового періоду кошти можуть бути компенсовані і навіть перевищені за рахунок податку на прибуток, отриманий від продажу електроенергії, виробленої на додаткових потужностях, введених впродовж пільгового періоду. Введення ж додаткових потужностей, у свою чергу, дозволяє за рахунок недержавних інвестицій здійснити додаткову реновацію основних фондів в електроенергетиці.



## **2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ І ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОГЕННИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ЕНЕРГОЄМНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

### **2.1 Основні види вторинних енергоресурсів**

Прогресивним напрямком і розвитком промисловості є створення безвідходних виробництв, за технологією яких використовуються всі елементи виробничого процесу, а також енергія реакції технологічних процесів для отримання корисної продукції. Отримана ззовні енергія необхідна лише для запуску і резервування, тобто безаварійної зупинки технологічного процесу. Так, в даний час, використовуються технологічні процеси виробництва аміаку, метанолу, вищих спиртів і деяких інших хімічних продуктів, що засновані на принципі енерготехнологічного комбінування з максимальним використанням енергії, що виділяється при різних реакціях.

В даний час і в найближчій перспективі ще існуватимуть технологічні процеси з матеріальними і енергетичними відходами. На технологічний процес витрачається певна кількість палива, електричної і теплової енергії. Крім того, самі технологічні процеси протікають з виділенням різних енергетичних ресурсів – теплоносіїв, горючих продуктів, газів і рідин з надлишковим тиском. Однак не вся кількість цієї енергії використовується в технологічному процесі або агрегаті; такі невикористовувані у процесі (агрегаті) енергетичні відходи називають вторинними енергетичними ресурсами (ВтЕР). Раціональне їх використання є одним з найбільших резервів економії палива, що сприяє зниженню палива та енергоємності промислової продукції. ВтЕР можуть бути затребувані безпосередньо без зміни виду енергоносія (для задоволення потреби в паливі та теплоті) або зі зміною виду енергоносія шляхом вироблення тепла, електроенергії, холоду або механічної роботи в утилізаційних установках [2, 9, 13, 28, 36].

Багато галузей промисловості розташовують значним резервом паливних і теплових ВтЕР, що займають значне місце в їх паливно-

енергетичному балансі. Найбільшими тепловими ВТЕР в Україні володіють підприємства Придніпровського регіону, а саме чорна та кольорова металургія, хімічна промисловість, важке машинобудування, промисловість будівельних матеріалів.

Саме в цих галузях широко використовується теплота високого, середнього та низького потенціалів. З майже 90% теплоти високого потенціалу: близько 33% йде на плавку, 40% на нагрівання і близько 20% на випал руд і мінеральної сировини. Велика частина теплоти високого потенціалу забезпечується за рахунок спалювання різних видів палива безпосередньо в технологічних установках.

Теплота середнього і низького потенціалу застосовується для теплостачання споживачів, що вимагають підвищених значень температури і тиску. Понад 90% його корисного споживання витрачається в промисловості (~45%) і на підприємствах ЖКГ (~48,5%). Основними енергоносіями, що забезпечують енергією середньо і низько температурних процесів, є пара і гаряча вода [28].

Одним з найважливіших завдань вдосконалення будь-якої галузі є виявлення резервів ВТЕР, економічно та екологічно обґрунтоване їх використання для цілей виробництва та задоволення потреб побутового споживання.

Завдання максимального використання ВТЕР має не тільки економічне, але й соціальне значення, оскільки зниження витрат палива, що забезпечується використанням ВТЕР, зменшує шкідливі викиди і знижує забруднення навколишнього середовища.

ВТЕР не можна розглядати як дарові додаткові джерела енергії. Вони є результатом енергетичної недосконалості технологічних виробництв, тому необхідно прагнути до зниження їх виходу за рахунок більш повного використання палива в самому технологічному агрегаті. Вихід вторинних енергоресурсів залежить від цілого ряду чинників: параметрів, при яких протікає процес, його режиму, конструктивного виконання технологічного обладнання та ін. У цьому полягає основне завдання підвищення ефективності теплотехнічних виробництв, найбільш повного

використання ВтЕР, як неминучого супутника цих процесів. Межею ідеальної організації виробництв є створення безвідходної за матеріалами і енергії технології.

Кожна технологічна установка характеризується певним енергетичним ККД, який показує, яка величина підведеної до процесу енергії втрачається. На практиці відбувається постійна боротьба з втратами, використовуються найрізноманітніші способи їх скорочення, у тому числі організаційно-технічні, пов'язані з налагодженням технологічних процесів і режимів роботи агрегатів, поліпшенням ізоляції технологічного обладнання, трубопроводів гарячої води, пари та ін.

Один із шляхів зниження втрат – використання можливості повернення частини втрат енергії безпосередньо в той процес, в якому вони утворюються.

Численні дослідження підтверджують енергетичну та економічну ефективність регенерації та рекуперації енергії. Після цього залишаються лише втрати, які за даною технологією при існуючому рівні розвитку техніки зменшити і уникнути неможливо. Цю частину енергетичних втрат прийнято вважати вторинними енергоресурсами, які діляться на горючі (паливні), теплові та надлишкового тиску.

Горючі ВтЕР – побічні газоподібні продукти технологічних процесів, які можуть бути використані в якості енергетичного або технологічного палива, а саме це:

- побічні горючі гази плавильних печей (доменний газ, колошниковий, шахтних печей і вагранок, конверторний і т.д.);
- горючі відходи процесів хімічної і термохімічної переробки вуглецевої сировини (синтез, відходи електродного виробництва, горючі гази при отриманні початкової сировини для пластмас, каучуку і т.д.);
- тверді і рідкі паливні відходи, які не використовуються (не придатні) для подальшої технологічної переробки;
- відходи деревообробки, лугу целюлозно-паперового виробництва.

Горючі ВтЕР використовуються в основному як паливо й небагато (5%) на непаливні потреби (переважно в якості сировини).

Теплові ВтЕР – це тепло газів, що відходять при спалюванні палива, тепло води або повітря, що використовують для охолодження технологічних агрегатів і установок, теплових відходів виробництва, наприклад, гарячих металургійних шлаків. Доцільність і ефективність використання теплових ВтЕР визначається тепловою потужністю енергоджерела, безперервністю видачі теплоти і температурним рівнем теплового відходу (викидів), тобто відношенням

$$Y_T = (T - T_0)(T - T_0)/T,$$

де  $T$  - абсолютна температура теплового відходу;  $T_0$  - абсолютна температура навколишнього середовища.

Чим ближче температурний рівень теплового відходу до одиниці, тим доцільніше використання теплових ВтЕР. Безперервність видачі теплового відходу (безперервність технологічного процесу) визначає економічну ефективність використання вторинного тепла. Найбільшою мірою цим вимогам задовольняє теплота газів, що відпрацювали.

Одним з дуже перспективних напрямів використання тепла слабо нагрітих вод є застосування так званих теплових насосів, що працюють за тим же принципом, що і компресорний агрегат в домашньому холодильнику. Тепловий насос відбирає тепло від скидної води й акумулює теплову енергію при температурі близько 90° С, іншими словами, ця енергія стає придатною для використання в системах опалення та вентиляції.

Слід зазначити, що поки ще велика кількість теплової енергії втрачається при так званому "скиданні" промислових стічних вод, що мають температуру 40-60° С і більше, при відведенні димових газів з температурою 200–300° С, а також у вентиляційних системах промислових і

громадських будівель, тваринницьких комплексів (температура видаляється з цих приміщень повітря не менше  $20\div 25^{\circ}\text{C}$ ).

ВтЕР надлишкового тиску (напору) – це потенційна енергія газів, рідин і сипучих тіл, що покидають технологічні агрегати з надлишковим тиском (напором), який необхідно знижувати перед наступним ступінем використання цих рідин, газів, сипучих тіл або при викиді їх в атмосферу, водойми, ємності та у інші приймачі. Сюди ж відноситься надлишкова кінетична енергія. Вторинні енергетичні ресурси надлишкового тиску перетворюються на механічну енергію, яка або безпосередньо використовується для приводу механізмів і машин або перетворюється в електричну енергію. Прикладом застосування цих ресурсів може слугувати використання надлишкового тиску доменного газу в утилізаційних безкомпресорних турбінах для вироблення електричної енергії.

Залежно від виду і параметрів, вторинні енергоресурси використовуються в одному з наступних напрямків:

- паливний – безпосереднє використання горючих ВтЕР в якості котельно-пічного палива;

- тепловий – використання енергоносіїв, що виробляються за рахунок ВтЕР в утилізаційних установках або одержуваних безпосередньо як ВтЕР, для забезпечення потреби в тепловій енергії. До цього напрямку відноситься також отримання штучного холоду за рахунок ВтЕР в абсорбційних холодильних установках;

- електроенергетичний – використання ВтЕР з перетворенням енергоносія для отримання електроенергії в газових або парових конденсаційних турбоагрегатах;

- комбінований – перетворення потенціалу теплових ВтЕР для вироблення в утилізаційних установках (утилізаційних ТЕЦ) за теплофікаційним циклом електро- і теплоенергії.

## 2.2 Способи використання вторинних енергоресурсів

Види ВтЕР і способи їх використання наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Види і способи їх використання ВтЕР

<i>Види ВтЕР</i>	<i>Носії ВтЕР</i>	<i>Енергетичний потенціал</i>	<i>Спосіб використання</i>
Горючі	Газоподібні відходи	Низька теплота згорання	Спалювання в паливо в установках, що використовують
Теплові	Гази, що відходять, готова продукція та відходи виробництва, теплоносії охолодження відпрацьований і попутний пар	Ентальпія	Вироблення в теплоутилізаційних установках водяної пари, гарячої води покриття теплової потреби, вироблення електроенергії в конденсаційному або теплофікаційному турбоагрегаті
Надлишковий тиск	Гази з надлишковим тиском	Робота ізоентропного розширення	Вироблення електроенергії в газовому утилізаційному турбоагрегаті

Вихід ВтЕР – кількість ВтЕР, що утворюються в технологічному агрегаті.

Вихід ВтЕР:

– для горючих видів:

$$q^{zop} = mQ^p,$$

– для теплових видів:

$$q^m = mi \epsilon$$

– для надлишкового тиску:

$$q^u = ml,$$

де  $q$  – вихід відповідних ВтЕР,  $m$  – питома або годинна кількість енергоносія,  $Q^p$  – найнижча теплота згорання,  $i$  – ентальпія енергоносія,  $l$  – робота ізоентропійного розширення газів.

### *Характеристика горючих ВтЕР чорної металургії*

Горючі ВтЕР чорної металургії – це коксовий, доменний, конвертерний і феросплавний газ [2, 28].

Доменний газ утворюється при виплавці чавуну в доменних печах. Його вихід і хімічний склад залежать від властивостей шихти та палива, режиму роботи печі, способів інтенсифікації процесу. Частка негорючих компонентів азоту та вуглекислого газу в доменному газі становить 70%. При спалюванні доменного газу максимальна температура продуктів згоряння дорівнює 1487° С. На виході з печі газ забруднений колосниковим пилом. Використовувати доменний газ як паливо можна тільки після його очищення.

Феросплавний газ утворюється при виплавці феросплавів в рудо відновлювальних печах. Сумарний вміст сірководню та оксиду сірки в перерахунку на оксид сірки не повинен перевищувати 1 г\м<sup>3</sup>.

Конвертерний газ утворюється при виплавці сталі в кисневих конвертерах. Газ в основному складається з оксиду вуглецю. У якості паливних ВтЕР конвертерний газ використовується при відведенні без допалювання.

Доменний і коксовий газ використовується практично повністю. Використання феросплавного газу можливе для технологічних (підігрів матеріалів, часткове попереднє відновлення сировини) і теплофікаційних цілей, спалюванням в котельні.

Конвертерний газ частково використовують у охолоджувачах, але повне використання його ще не вирішено. При спалюванні його в печах після газоочистки втрачається до 900 кг у.п. на тону конвертерної сталі.

Річний вихід горючих ВтЕР в цілому по даній галузі оцінюється в десятки млн. т.у.п., а ступінь їх використання сягає 93%. При цьому використання доменного газу становить 96,6%, феросплавного – 38,0%. Подальше підвищення ступеня їх використання пов'язане з рішенням цілого ряду науково-технічних завдань: розробкою і впровадженням установок для очищення газів феросплавних печей, розробкою системи очищення і вловлювання конвертерного газу без допалювання та ін.

Основні труднощі при використанні горючих ВтЕР пов'язані з їх збиранням, транспортуванням, а також необхідністю вдосконалення існуючих та розробки нових методів і пристроїв для їх спалювання.

#### *Характеристика теплових ВтЕР*

Найбільші труднощі виникають при вирішенні питань, пов'язаних з утилізацією теплових ВтЕР промисловості, які обумовлені великою різноманітністю останніх за температурою, режимом видачі, видом і фізико-хімічними властивостями їх носія та іншим чинникам. Деякі з них не використовуються, оскільки немає існуючих технічних рішень та обладнання для їх утилізації (або встановлення обладнання занадто дороге).

До числа галузей, що визначають вихід теплових ВтЕР в промисловості, в першу чергу, відноситься чорна та кольорова металургія. Фізична теплота готового продукту із шлаків. З печей і агрегатів металургійного виробництва готовий продукт і шлак виходять з високою температурою, у деяких випадках ця теплота ВтЕР. Теплота рідкого чавуну використовується в наступних переділах (мартенівські печі, кисневі конвертери).

*Теплота рідкої сталі* використовується в прокатному виробництві за рахунок гарячого посаду злитків.

*Фізична теплота вторинних газів.* Використання фізичної теплоти коксового газу можливе після сухої очистки. Найбільшу температуру мають конверторні гази.

*Теплота продуктів згоряння печей:* У мартенівських печах теплота продуктів згоряння дорівнює 12,5 ГДж/т сталі, у нагрівальних печах 0,8 ГДж/т прокату. Використання цієї теплоти можливо в котлах-утилізаторах за умови оснащення їх віброочищенням та дробоочищенням, так як запиленість газів досягає  $5 \text{ гр/м} \cdot \text{м}^3$ . Можливе використання цієї теплоти для нагріву шихти в шахтних підігрівачах. Нагрівання шихти газами економить 12% палива, підвищує продуктивність печі на 15%, порівняно швидко окупає капітальні витрати.

*Теплота матеріалів.* Втрати складають: 1 ГДж/т рідкого чавуну, 1,2 ГДж/т рідкої сталі, 0,8 ГДж/т рідкого шлаку, 12 ГДж/т коксу,



0,6 ГДж/т агломерату. Вирішено тільки використання теплоти коксу. В установках сухого гасіння отримують 0,3-0,4 т пари коксу. Використання теплоти чавуну, сталі, шлаку не налагоджено. Використання теплоти агломерату повторним використанням охолоджуючого повітря для нагріву шихти на 25 ÷ 30% знижує вміст вуглецю в шихті, що вигідно для основного технологічного процесу. Використання теплоти шлаку можливо при створенні нових типів грануляторів.

*Теплота охолоджуючої води.* В установках випарного охолодження вихід пари 0,1 т/т чавуну і 0,2 т/т мартенівської сталі. Всі технологічні питання випарного охолодження печей вирішені і тому потрібно максимально широке впровадження способу у виробництво. Необхідно поліпшити технічні рішення по уніфікації охолоджуваних елементів, підвищенню тиску пари, поліпшити контроль за щільністю схем охолодження, вдосконалити автоматику утилізують установок. Необхідно поширення досвіду чорної металургії в хімічну промисловість, машинобудування та ін.

Сумарний вихід теплових ВтЕР галузі еквівалентний 20 млн. т.у.п./рік. Проте фактично в даний час вироблення тепла утилізаційними установками становить близько 3 млн. т.у.п./рік. Що дозволяє покрити 34% загальної потреби галузі. Невисокий ступінь використання ВтЕР в значній мірі пояснюється недоліком вже освоєного промисловістю утилізаційного обладнання. До теплових ВтЕР відносяться енергоносії у вигляді водяної пари, гарячої води та вентиляційних викидів.

Ефективним у кольоровій металургії є використання тепла відхідних димових газів для підігріву повітря, що надходить в печі для спалювання палива. Це економить паливо, покращує процес його горіння і, крім того, підвищує продуктивність печі. Однак з димовими газами виноситься значна кількість теплової енергії, яка може використовуватися в котлах–утилізаторах для вироблення пари. Коротка характеристика розглянутих домішок наведена в таблиці 2.2.

## Характеристика та якісні параметри ВтЕР

<i>Первинні енергетичні ресурси</i>	<i>ВтЕР</i>	
	<i>Різновиди енергоресурсів</i>	<i>Характеристика, якісні параметри</i>
Тверде рідке, газоподібне паливо або електроенергія для обслуговування технологічних високо температурних процесів (промислові печі) і охолоджуюча вода.	Горючі гази коксових і доменних печей, що відходять: а) коксовий газ – продукт випалу коксу в коксових печах.	а) Теплота згорання: $Q_H^p = 1760 \div 1800 \text{ кДж/м}^3$ Склад газу: $\text{CO}_2 = 2 \div 4\%$ ; $\text{CO} = 6 \div 8\%$ ; $\text{H}_2 = 55 \div 62\%$ ; $\text{CH}_4 = 24 \div 28\%$ ; етилен, пропілен і др. = $2 \div 3\%$ ; $\text{N}_2 = 3 \div 2\%$ ; $\text{O}_2 = 0,4 \div 0,8\%$ , густина $0,4 - 0,55 \text{ кг/м}^3$ Вибухонебезпечний.
	б) доменний газ – побічний продукт доменного виробництва, виходить в результаті неповного згорання коксу.	б) $Q_H^p = 3350 \div 4610 \text{ кДж/м}^3$ Склад газу: $\text{CO}_2 = 10 \div 12,5\%$ ; $\text{CO} = 28,5 \div 30,5\%$ ; $\text{H}_2 = 1,5 \div 3,8\%$ ; $\text{N}_2 = 58 \div 59,5\%$ ; $\text{O}_2 = 0,1 \div 0,2\%$ , густина $1,28 \div 1,3 \text{ кг/м}^3$ , теоретична температура горіння $1430 - 1500 \text{ }^\circ\text{C}$ , для спалювання $1 \text{ МДж}$ газу потрібно теоретично необхідна кількість кисню $0,19 \text{ м}^3$ .
	в) феросплавний газ – виплавка феросплавів в електропечах.	в) $Q_H^p = 11300 \text{ кДж/м}^3$ Склад: $\text{CO} = 85\%$ ; $\text{H}_2 = 4\%$ ; $\text{N}_2 = 5,6\%$ ; $\text{O}_2 = 1\%$ ; $\text{CO}_2 = 3\%$ ; сірководень $= 0,4\%$ . Високотоксичний, вибухонебезпечний газ.

<i>Первинні енергетичні ресурси</i>	<i>ВтЕР</i>	
	<i>Різновиди енергоресурсів</i>	<i>Характеристика, якісні параметри</i>
Газ і рідке паливо для обслуговування технологічних силових процесів (з двигунами внутрішнього згорання повітродувних, компресорних та інших агрегатів) і охолоджуюча вода.	Гарячі гази, що відходять з двигунів внутрішнього згорання. Нагріта охолоджуюча вода, що відходить з двигунів внутрішнього згорання.	$t_{o,r} = 350 \div 600 \text{ }^\circ\text{C}$  $t_{o,b} < 100 \text{ }^\circ\text{C}$ .
Горюча і технологічна сировина (в підприємствах металургійної, деревообробної, текстильної, харчової та інших галузях промисловості).	Горючі тверді і рідкі відходи виробництва.	$Q_H^p = 10000 \text{ ккал/кг}$ .
Пара для обслуговування технологічних силових (в молотових, пресових і штампувальних агрегатах) і нагрівальних процесів.	Відпрацьований виробничий пар. Вторинний виробничий пар. Конденсат пари, що використовується для нагрівальних цілей (гаряча зливна вода). Внутрішні тепловиділення у виробничих приміщеннях.	$P_{o,p} = 1,3 \div 1,5 \text{ атм}$ .  $P_{в.п} = 1 \text{ атм}$ .  $t < 100 \text{ }^\circ\text{C}$  $t < 100 \text{ }^\circ\text{C}$
Гаряча вода для побутового споживання тепла. Електроенергія, що обслуговує силові, термічні та освітлювальні процеси.	Зливна забруднена вода.  Внутрішні тепловиділення у виробничих приміщеннях.  Зливна нагріта вода виробничих агрегатів.	$t < 50 \text{ }^\circ\text{C}$  $t < 100 \text{ }^\circ\text{C}$  $t < 100 \text{ }^\circ\text{C}$

*Низькопотенційне тепло.* До низькопотенційних теплових (НПТ) відходів відносяться ентальпія газів, що відходять з технологічних і енергетичних установок з температурою нижче 400° С; води, що охолоджують елементи конструкцій технологічного обладнання; вентиляційних викидів; шахтних вод; пара вторинного закипання і т.п. Утилізації їх до останнього часу не приділялося належної уваги, оскільки вважалося, що це економічно не обґрунтовано. Тепер ситуація різко змінилася, і в різних енергозберігаючих програмах утилізація низькопотенційного тепла виділена в самостійний напрям робіт з економії ЕР.

Насправді, утилізація НПТ є важливим народногосподарським завданням, оскільки його вихід становить близько половини від сумарного виходу всіх видів ВтЕР. Актуальність цієї задачі буде зростати, так як удосконалення технологічних процесів, як правило, супроводжується скороченням втрат тепла високого потенціалу. Крім того, не можна забувати, що утилізація НПТ, як і всіх ВтЕР, сприяє охороні навколишнього середовища від теплового і хімічного забруднення.

Носіями низькопотенційного тепла звичайно є корозійно-активні, забруднені, запилені рідини і гази, від яких його практично неможливо відвести, використовуючи стандартну теплообмінну апаратуру. Інакше кажучи, для виконання завдання по використанню НПТ необхідне створення спеціального утилізаційного обладнання.

Досвід зарубіжної і відносно невеликої вітчизняної практики з утилізації низькопотенційних теплових відходів дозволяє назвати необхідні для цього основні технічні засоби:

- контактні апарати з різними насадками для використання тепла димових газових та інших парогазових потоків;
- багатоступінчасті установки з апаратами миттєвого скипання для забруднених гарячих стоків;
- багатоступінчасті установки з апаратами типу «теплова труба» для утилізації тепла агресивних рідин (сірчаної, фосфорної, азотної кислот);
- скрубберно-сольові установки для димових газів;

– випарні апарати з обертовими елементами (роторно-плівковими) для забруднення газів з метою отримання тепла і концентрування стічних вод;

– теплові насоси (пароструминні, абсорбційні і компресійні) для виробництва холоду і теплопостачання;

– абсорбційні холодильні установки (на водних розчинах аміаку, броміду літію, хлориду кальцію та інші);

– установки, що працюють по водо-фреоновому циклу;

– регенеративні теплообмінники, що обертаються, пластинчасті рекуператори, теплообмінники з проміжним теплоносієм, з «тепловими трубами» для використання тепла вентиляційних викидів.

Створення перерахованого обладнання пов'язане з додатковими витратами, які істотно більше необхідних для утилізації високотемпературних ВтЕР. Рішення завдання ефективного використання НПТ ускладнюється ще й тим, що зазвичай постає проблема відповідного споживача для енергоносія, що вироблений утилізаційними установками.

Дійсно, тепло, вироблене в утилізаційних установках НПТ, дуже важко вписати в графік традиційних споживачів. У таких випадках виникає завдання пошуку нових, споживачів низькопотенційного енергоносія, які раніше з будь-яких причин не обліковувалися. Потрібно вивчити можливість його використання як всередині розглянутого підприємства: для очищення стоків і конденсату, деаерації та знесолення поживної води, виробництва холоду і т.п., так і на стороні: для опалення теплиць та парникових господарств, опріснення морської води та інших комунальних потреб. У випадках, коли вироблення низькопотенційної енергії значно перевищує потребу в ній підприємства та прилеглих до нього споживачів, може виявитися економічно доцільним її використання для виробництва електроенергії в енергоустановках з низькокиплячими робочими тілами (фреонами).

*ВтЕР надлишкового тиску.* Значна економія природних енергоресурсів може бути отримана за рахунок утилізації цього виду ВтЕР в чорній металургії та системах газопостачання.

На даний час в Україні близько  $\frac{3}{4}$  всіх доменних печей працюють під тиском 0,2 МПа і більше. Сумарний вихід доменного газу при цьому тиску досягає сотень тис. м<sup>3</sup>/год. До останнього часу перед подачею очищеного доменного газу в заводську розподільну мережу його надлишковий тиск скидався в спеціальних дросельних пристроях. При цьому втрачалася значна кількість потенційної енергії газу.

Розрахунки показують, що при тиску газів, що перевищує атмосферний на 0,09 МПа і більше, при існуючому рівні цін на паливо, економічно доцільно утилізувати цю енергію. Зокрема, спрацьовувати надлишковий тиск доменного газу на газорозширювальних станціях, обладнаних спеціальними газовими утилізаційними безкомпресорними турбінами з генераторами для виробництва електроенергії.

Великі резерви потенційної енергії надлишкового тиску мають газорозширювальні станції природного газу, на яких здійснюється його дроселювання перед подачею в розподільчу мережу, тобто використання потенційної енергії природного газу високого тиску магістральних газопроводів із застосуванням детандер-генераторів (ДГА) [9]. Ці агрегати знижують тиск газу до потрібного споживачеві, виконуючи функцію газорозподільних пунктів і станцій, і одночасно виробляють електроенергію. В Україні, де масштаби газифікації промислового і енергетичного виробництв вище за європейські, ця технологія використання вторинної енергії практично не використовується.

### **2.3 Вторинні енергетичні ресурси паливно-енергетичного комплексу**

Нерентабельність більшості шахт, пов'язана з високою собівартістю видобутку вугілля, великі непродуктивні витрати і складна екологічна ситуація в цих регіонах – ось основні проблеми вугледобувних підприємств України.

Світовий видобуток вугілля складає 2025 млн. т в рік (4033 шахти). При цьому утворюється близько 6 млрд. т твердих, рідких та газоподібних відходів, що складає близько 3 т відходів на 1 т вугілля (з них відва-

льної породи 2,5 т). При підземному видобутку вугілля питомий вихід породи, що видається з шахт на поверхню становить близько 0,3 т на 1 т вугілля. Власне горюча маса у вугільній промисловості становить всього 20% гірської маси.

*Метан вугільних родовищ.* Метан, що виділяється з вугільних пластів при видобутку вугілля, може використовуватися, як паливо для виробництва енергії. Потенціал цього джерела енергії величезний. Екологічну ефективність спалювання метану висока. Але тільки мінімальна частина виділяемого метану використовується в даний час. Метан, як основна складова природного газу, що виділяється при утворенні вугілля, – є вибухонебезпечним газом. Для забезпечення утримання концентрації метану в шахтах нижче вибухонебезпечного рівня персонал повинен проводити вентиляцію шахти або відводити метан на поверхню землі. Шахтний вугільний метан (ВМ), відноситься до метану, що виділяється при розробці вугільних пластів. Зараз ВМ – це потенційне енергетичне джерело, яке може забезпечити виробництво електроенергії і тепла, таке корисне використання запобігає надходженню його в атмосферу і зменшує парниковий ефект, тому, що парникова активність вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), що виходить при спалюванні метану в 20 разів менше, ніж парниковий ефект самого газу.

Метан шахтних розробок складає всього 8% від усього обсягу метану, що виділяється у зв'язку з людською діяльністю. Варіанти використання шахтного метану включають: електрогенерації, використання в котельнях, у т.ч. для опалення житлового сектора, транспорту на газу і використання його іншими споживачами; а також використання метану як моторного палива, у промислових процесах. Метан в основному використовується для виробництва електроенергії і тепла для самих шахт. На багатьох шахтах недостатньо тільки вентилявання, тому перед розробкою шахт і під час експлуатації проводиться спеціальна дегазація. Дегазація проводиться, як з поверхні землі через вертикальні стволи, так і через стовбури, просвердлені у вугільних пластах. Вміст метану в дегазаційних стовбурах може перевищувати 90%.

Зважаючи на масштаби ресурсів цих енергоносіїв в Україні, на пропорції паливно-енергетичного балансу країни може відчутно вплинути використання метану вугільних родовищ, горючих газів малих газових, газоконденсатних та нафтогазоконденсатних родовищ, попутного нафтового газу, а також горючих газів антропогенного (промислового) походження. Окрім того, зміни в законодавчому полі України, зокрема пряме чи побічне стимулювання використання місцевих ПЕР може доповнити цей перелік позабалансових джерел енергії.

Ресурси метану вугільних родовищ в кам'яновугільних басейнах України оцінюються у 2,5-3,0 трлн. м<sup>3</sup>. Згідно з оцінками американських фахівців ці ресурси тільки в Донбасі досягають 25 трлн м<sup>3</sup>. Основна маса метану надходить в атмосферу через системи дегазації (т. зв. «каптований метан»), вентиляції, десорбується з вугілля і вугільної породи після видобутку і збагачення. За оцінками при видобуванні 1 т вугілля виділяється в середньому 10-12 м<sup>3</sup> метану. В окремих родовищах на Донбасі питомий вміст метану у вугіллі досягає 500 м<sup>3</sup>/т.

Обмежене використання в котельнях шахт та шахтарських селищ має лише каптований метан. При видобуванні вугілля на рівні 100 млн. т/рік річні ресурси метану вугільних родовищ, що вивільняються з вугілля і викидаються в атмосферу, можна оцінити у 1,0-1,2 млрд. м<sup>3</sup>. За 50 % – вого використання цих ресурсів можна генерувати до 1,5–1,8 млрд. кВт·год електроенергії на рік, що відповідає 300-400 МВт встановленої електричної потужності. Для генерування електричної енергії можуть використовуватися ГТУ серійного виробництва ВО «Заря», «Мотор-Січ» або дизельні електростанції серійного виробництва Первомайського дизельного заводу та заводу ім. Малишева, м. Харків, які доопрацьовані для використання вугільного метану і пройшли відповідні випробування. Найбільш ефективним напрямом використання вугільного метану є створення енергогенеруючих об'єктів безпосередньо на шахтах (об'єднаннях), коли енергоресурс (метан) та генерована енергія не будуть товаром. Одночасно, окрім електроенергії, яка буде повністю споживатися шахтою, або її структурними підрозділами, необхідно ути-



лізувати скидне тепло, тобто енергогенеруючий об'єкт буде являти собою ТЕЦ. Електрична потужність таких ТЕЦ залежно від місцевих умов може становити від 25 кВт до 2,5 МВт або навіть 6 МВт. Метан відноситься до парникових газів. Окрім того, метан ще й озоноруйнівний газ, а тому використання метану вугільних родовищ матиме важливе значення щодо поліпшення екологічного стану в Україні, а за налагодження «торгівлі викидами» у відповідності з Кіотським протоколом може стати джерелом надходження валюти та іноземних інвестицій.

Капітальні вкладення в спорудження ТЕЦ на вугільному метані в залежності від потужності становлять 800-1200 дол. США/кВт, а термін їх окупності не перевищує 5 років. При спорудженні ТЕЦ, які будуть власністю шахт і шахтоуправлінь (енергія не є товаром), окупність капіталовкладень не виходитиме за межі 4 років. Актуальність прискореного будівництва і експлуатації ТЕЦ на вугільному метані впливає одночасно із необхідності поліпшення стану безпеки у вуглевидобуванні. Високий рівень смертності від аварій на шахтах майже виключно пов'язаний з вибухами десорбованого метану, що у шахтному просторі створює з повітрям вибухонебезпечні суміші. Зважаючи на плани Президента України щодо поліпшення безпеки вуглевидобування та враховуючи наявність обладнання для ТЕЦ (стаціонарних і навіть мобільних), працюючих на вугільному метані, необхідно інтенсифікувати спорудження таких ТЕЦ з тим, щоб до 2010 року ввести їх в експлуатацію загальною потужністю не менше 300 МВт. Такі ТЕЦ спочатку будуть базуватися на існуючих системах дегазації шахт. В подальшому необхідно перейти на упереджувальну дегазацію вугільних полів з поверхні і лише після цього розпочинати розробку вугільних лав, або спорудження шахт. За прогнозованого зростання обсягів вуглевидобування в Україні загальна потужність ТЕЦ, працюючих на метані вугільних родовищ, може бути доведена в межах до 2020 року до 1000 МВт.

*Горючі гази малих газових, газоконденсатних та нафтогазоконденсатних родовищ і попутний нафтовий газ.* Зазначені енергоносії, на даний час, практично не використовуються через малі перетини сверд-

ловин, труднощі з їх розконсервацією, відсутність необхідного обладнання, низькі тиски, невеликі запаси, нерентабельність подачі в загальну систему транспорту газу, тощо. Для забезпечення використання цього енергоресурсу необхідно при складанні програм передбачити випуск спеціального обладнання для переробки сировини на місці з метою вилучення корисних рідких нафтопродуктів, а горючий газ, що лишиться після переробки, має використовуватися за технологіями генерування енергії для місцевих потреб за допомогою стаціонарних, або мобільних ТЕЦ. Обладнання для таких ТЕЦ (дизельні електростанції та ГТУ) є, і воно апробовано для роботи на таких газах. Зазначені ресурси розсерджені у восьми областях України та АР Крим. Запаси газу по усіх цих регіонах становлять близько 30,0 млрд. м<sup>3</sup>. Майже половина цих запасів зосереджена в Харківській області. Серед інших регіонів, де запаси цього газу значні, слід відзначити Львівську область та АР Крим. Загалом нараховується 39 малих родовищ, на яких пробурені і законсервовані 70 свердловин. Поступово з розширенням геологорозвідувальних робіт на нафту і газ будуть з'являтися нові родовища та свердловини.

Спорудження ТЕЦ на газі малих родовищ має здійснюватись переважно на базі дизельних електростанцій. Питомі капітальні вкладення в спорудження ТЕЦ становитимуть 800-1200 дол. США/кВт. Комплексне освоєння ресурсів газів малих родовищ (мається на увазі спорудження ТЕЦ та обладнання для вилучення рідких фракцій нафтопродуктів) підвищить рентабельність і прибутковість відповідних підприємств. Окупність капітальних витрат залежно від конкретних умов може становити 4-7 років.

Враховуючи наявні ресурси газів малих родовищ та попутних газів нафтопереробки, перспективи їх (ресурсів) зростання, недостатність досвіду створення і експлуатації підприємств з їх комплексного використання та ряд інших обставин, доцільно поставити за мету і спорудити в межах до 2010 року ТЕЦ на зазначених енергоносіях загальною електричною потужністю не менше 100 МВт, а в межах до 2020 року довести загальну їх потужність до 400–500 МВт.

*Горючі гази промислового походження.* У технологічних процесах металургійних, коксохімічних та хімічних підприємств такі гази виникають як побічні продукти виробництва. Серед таких вторинних енергоносіїв найбільші ресурси мають коксовий газ, річний вихід якого оцінюється у 5,2 млн. т у.п., доменний – 4,8 млн. т у.п., феросплавний – 0,15 млн. т у.п. та горючі гази хімічної промисловості – 0,75 млн. т у.п. Загальний річний вихід цих енергоносіїв оцінюється приблизно в 11 млн т у.п. Основна частина цих енергоносіїв, особливо коксового і доменного газу, використовується як паливо в технологічних процесах металургійних та коксохімічних підприємств. Однак є ресурси цих газів, що не знаходять використання в межах території підприємств, а транспортування їх за межі підприємств економічно недоцільне, а технічно – складне. За цієї ситуації економічно доцільним, рентабельним є варіант використання існуючих надлишків цих газів на місцях їх утворення для роботи ТЕЦ на базі ГТУ.

Хоча створення таких об'єктів має відбуватися за оригінальними проектними рішеннями з розробкою і виготовленням спеціального обладнання, однак економічна ефективність їх буде високою. Зокрема, в ряді випадків питомі капітальні вкладення у спорудження ТЕЦ на базі ГТУ при використанні коксового газу можуть не перевищувати 500 дол. США/кВт, а терміни окупності капітальних вкладень можуть становити близько одного року. Враховуючи такі сприятливі економічні показники, необхідно передбачити освоєння цих вторинних енергоресурсів в межах не пізніше 2015 року. Зважаючи на обсяги тієї частини промислових газів, що нині не використовується підприємствами, можна запланувати спорудження на таких підприємствах ТЕЦ загальною потужністю 700-800 МВт. При цьому відповідним рішенням уряду варто передбачити виділення коштів із бюджету, фондів енергозбереження та/або пільгових кредитів банків. Реалізації зазначених завдань може сприяти встановлення податку на імпортоване паливо та запровадження «торгівлі викидами» парникових газів.

Основне завдання при проектуванні енергоустановок – це визначення обсягів виділення метану, тривалості і стабільності емісій. Також, як і в енергетиці, – для приводу електрогенераторів можуть використовуватися, як газопоршневі двигуни (ГПД), так і газові турбіни (ГТ). Діапазон той же: при потужностях вище 10 МВт застосування турбіни більш доцільне. Перевага ГПД – більш високий ККД при вмісті метану не менше 25%, а турбіни можуть використовувати метан більш низьких концентрацій.

Метан менших концентрацій (менше 1%) з вентиляційних стовбурів також використовується в енергоустановках, як повітря для горіння, що підвищує ККД.

*Детандер-генераторні установки* – використання потенційної енергії природного газу високого тиску магістральних газопроводів. На території України розташована мережа магістральних газопроводів. Газ перекачується під тиском, створюваним компресорними станціями. До 7% перекачаного газу витрачається приводними установками компресорів. Для перекачування природного газу по трубопроводах на великій відстані його стискають компресорами, збільшуючи тиск в транспортній магістралі. Тиск в магістральних газопроводах підтримується в межах 50-70 атмосфер. Для споживачів такий великий тиск неприйнятний. Тому в місцях споживання газу від магістралі зроблені відведення на станції розподілу, де тиск газу скидається спочатку до 6-12 атмосфер, а далі - на газорозподільних пунктах (належать великим споживачам і муніципальним підприємствам збуту) - він знижується до однієї, максимум трьох атмосфер. Цей перепад тиску може використовуватися газотурбінними установками (детандерами), що дозволяють повернути частину енергії, витраченої на привод компресорів. При цьому використовується екологічно чисте джерело енергії - перепад тиску природного газу.

Ефективність виробництва електроенергії за технологією із застосуванням детандерів у 4 - 5 разів вище, ніж на сучасних теплових електростанціях. Розроблені детандер-генераторні установки потужністю від 1 до 30 МВт. Нині турбодетандери оцінюються фахівцями, як один з пе-

спективних видів турбінної продукції з великим ринком збуту. Причому, ринком найбільш затребуваний потужностний ряд 1,5 - 6,0 МВт.

Таблиця 2.3

Основні параметри детандер-генераторних агрегатів

Потужність, МВт	Тиск перед ГРП, кг/см <sup>2</sup>	Тиск за ГРП, кг/см <sup>2</sup>	Витрати газу, тис. м <sup>3</sup> /год	Потужність, МВт	Тиск перед ГРП, кг/см <sup>2</sup>	Тиск за ГРП, кг/см <sup>2</sup>	Витрати газу, тис. м <sup>3</sup> /год
12	5	1	368	4,0	5	1	123
12	10	1	253	4,0	10	1	84
12	50	12	305	4,0	50	12	102
6	5	1	184	2,5	5	1	77
6	10	1	126	2,5	10	1	53
6	50	12	152	2,5	50	12	64

*Використання енергії шахтних вод.* Вугільна промисловість характеризується наявністю поновлюваних джерел енергії, до яких відносяться теплота шахтних вод, вентиляційних викидів, господарчих стоків і породних відвалів. Досліджено, що на підприємствах галузі близько половини шахтних вод, що скидаються, є нейтральними з середньою температурою до 20°C. Відведення ґрунтових вод для запобігання затоплення шахт при видобутку вугілля є звичайною практикою. З цією водою у навколишнє середовище розсіюється величезна кількість низькопотенційної енергії, яка може бути утилізована.

З іншого боку, на багатьох шахтах існують і з кожним роком загострюються проблеми забезпечення теплом. Старе котельне обладнання зношується, внаслідок чого ряд підприємств відчуває великий недолік теплової енергії. При роботі такого обладнання в зимових умовах весь обсяг подаваного в шахту повітря не підігрівається до необхідної температури, виникають аварійні зупинки вентиляторів головного провітрювання, які приводять до простою шахти, втрат видобутку вугілля. Для

реконструкції існуючої котельні і придбання необхідного котельного обладнання немає достатніх фінансових коштів. При цьому отримання теплової енергії традиційним способом (спалюванням твердого палива) завдає непоправної шкоди навколишньому середовищу і створює несприятливу екологічну обстановку.

*Газові викиди промислових підприємств як ВтЕР.* Розвиток енергетики, металургії, транспорту, хімії та нафтохімії призводить до швидко зростаючого споживання повітря, що використовується в якості сировини в процесі окислення. Підприємства хімічної, нафтохімічної, харчової, фармацевтичної та інших галузей промисловості споживають великі кількості чистого повітря і викидають величезні обсяги відпрацьованих кисневмісних газів і забрудненого вентиляційного повітря.

Перспективним є метод очищення повітря від мікродомішок – об'єднання енергетичних та хімічних комплексів. Можливістю об'єднання цих процесів є використання відпрацьованого повітря промислових підприємств в якості окиснювача, наприклад в топках котлів. У цьому випадку забезпечується дешеве очищення забрудненого повітря від токсичних домішок і відпадає необхідність у споживанні чистого повітря для окислення палива.

*Вторинні теплові енергоресурси.* В існуючому стані теплові ВтЕР використовуються, як правило, в промисловості. Найбільша їх частка зосереджена в таких галузях народного господарства, як металургійна, хімічна, нафтохімічна, в деякій мірі машинобудівна. Теплові ВтЕР утилізуються в системах випарувального охолодження великих промислових агрегатів, в котлах–утилізаторах, в системах утилізації випару чи конденсату, системах припливно–витяжної вентиляції та багатьох інших. Утилізація теплових ВтЕР дозволяє значно скоротити потребу в паливі та покращує економічні показники виробництва взагалі і кінцевої продукції зокрема. Найбільша частка систем утилізації територіально тяжіє до районів зосередження важкої промисловості країни. В останні роки показники рівнів утилізації теплових ВтЕР кілька знизилися за причин загального спаду промислового виробництва, що призвело до

недовантаження чи зупинці багатьох потужних технологічних агрегатів – первісних джерел ВтЕР. Обладнання систем утилізації теплових ВтЕР потребує істотного оновлення і модернізації. За допомогою теплових ВтЕР забезпечується приблизно 8 млн. Гкал/р кінцевого теплоспоживання, що становить біля 3,0 % від загальної теплопотреби та біля 65,5 % від рівня забезпечення 1990 р. Завдяки тому, що теплові ВтЕР споживаються, як правило, недалеко від місця їх утворення, відсутні протяжні теплові мережі і втрати тепла не перевищують 3 %.

## 2.4 Показники використання вторинних енергоресурсів

Для оцінки виходу і використання ВтЕР застосовуються такі показники:

1) Вихід ВтЕР ( $Q_{\text{вх}}$ ) – кількість ВтЕР, що утворюються в процесі виробництва в даному технологічному агрегаті в одиницю часу;

2) Вироблення енергії за рахунок ВтЕР ( $Q$ ) – кількість енергії, що отримується при використанні ВтЕР в утилізаційній установці. Вироблення енергії відрізняється від її виходу на величину втрат тепла утилізаційної установки. Розрізняють можливе, економічно доцільне, плановане і фактичне вироблення енергії;

3) Використання ВтЕР – кількість використовуваної у споживачів енергії, що виробляється за рахунок ВтЕР в утилізаційних установках;

4) Економія палива ( $B$ ) за рахунок ВтЕР – кількість первинного палива, яке економиться в результаті використання ВтЕР.

*Ступінь використання ВтЕР* – показник представляє відношення фактичного (планованого) вироблення до виходу ВтЕР,

$$K_1^y = \frac{Q_y}{Q_{\text{вх}}}.$$

Показник використовується, якщо немає обмежень по кінцевому температурному потенціалу, наприклад при охолодженні нагрівальних печей.

*Коефіцієнт утилізації* – відношення кількості теплоти, сприйнятої котлом-утилізатором, до тепла палива, спаленого в печі. Наприклад, для мартенівської печі:

$$K_2^y = 0,143 \left( \frac{\alpha_{num}}{q_{eux}} \right) \cdot 1,16,$$

де  $\alpha$  – питома виробка пару котлом утилізатором на 1 т виплавленої сталі, [МВт/т],  $q$  – питома витрата умовного палива на 1 т виплавленої сталі, (т у.п./т).

Коефіцієнт можна застосовувати для порівняння використання ВтЕР однотипних за конструкцією і технологією агрегатів. Складні і різноманітні процеси (наприклад, кольорової металургії) не можна характеризувати таким показником.

*Показник використання ВтЕР* – відношення фактичної виробки тепла на базі ВЕР до можливої:

$$K_3^y = \frac{Q_y}{Q_e}.$$

При плануванні паливоспоживання застосовують *коефіцієнт утилізації* – відношення фактичної (планованої) економії палива  $B_y$  за рахунок ВтЕР до можливої (або економічно доцільної)  $B_e$ :

$$K_4^y = \frac{B_y}{B_e}.$$

Коефіцієнт виробки енергії на одиницю матеріалу, що переробляється:

$$K_4^y = \frac{Q_y}{\alpha_{num} N},$$

де  $N$  – продуктивність агрегату, т/рік.



### *Розрахунок ВтЕР на економічну ефективність*

Вихідною інформацією для розрахунку виходу і можливого використання ВтЕР служать: теплові і матеріальні баланси основного технологічного обладнання; обсяг випуску продукції в аналізованому періоді; звітний енергетичний баланс підприємства; техніко-економічні характеристики технологічних агрегатів, енергетичних і утилізаційних установок; плани впровадження нової технології та нового обладнання на перспективу.

У результаті аналізу всіх цих матеріалів встановлюють види ВтЕР та їх потенціал; виявляють агрегати, ВтЕР які можуть бути включені в енергетичний баланс підприємства або використані поза даного підприємства; визначають по кожному агрегату вихід ВтЕР; розраховують на величину можливої, економічно доцільної і планованої виробки енергії з кожного виду ВтЕР; визначають величини фактичного вироблення і фактичного використання ВтЕР, а також можливого і планованого використання всіх видів ВтЕР.

Вихід ВтЕР залежить від факторів та режиму роботи технологічної установки (агрегату). У загальному випадку добовий (і сезонний) вихід ВтЕР характеризується значною нерівномірністю. Тому розрізняють показники питомого і загального виходу ВтЕР – максимальний, середній і мінімальний (гарантований), як у добовому, так і сезонному розрізі. У кожному разі утилізації ВтЕР ефективність їх використання визначається економією первинного палива, що досягається та забезпечується за рахунок цього економією витрат на видобуток, транспортування і розподіл палива (енергії). Тому важлива умова економічної ефективності ВтЕР – правильне визначення виду і кількості палива, яке економиться при їх утилізації.

Економія палива залежить від напрямку використання ВтЕР і схем паливо- і енергопостачання підприємства. При тепловому напрямку використання ВтЕР економія палива визначається шляхом порівняння кількості тепла, отриманого від використання ВтЕР, з техніко-економічними показниками виробки тієї ж кількості і тих же параметрів

тепла в основних енергетичних установках. При силовому напрямку використання ВтЕР виробка електроенергії (або механічної енергії) порівнюється з витратами палива на вироблення електроенергії (або механічної енергії) в основних енергоустановках.

При визначенні економічної ефективності використання ВтЕР порівнюють варіанти енергопостачання, які забезпечують потреби даного виробництва в усіх видах енергії з урахуванням використання ВтЕР та без обліку використання ВтЕР. Основними показниками сумісності цих варіантів є: створення оптимальних (для кожного з варіантів) умов їх реалізації, забезпечення однакової надійності енергозбереження; досягнення необхідних санітарно-гігієнічних умов і безпеки праці; найменше забруднення навколишнього середовища.

Один з основних напрямків підвищення ефективності виробництва і використання енергетичних ресурсів в промисловості – збільшення одиничної потужності агрегатів, концентрація виробництва і створення укрупнених комбінованих технологічних процесів. Особливо це ефективно для технологічних процесів з великим виходом теплових ВтЕР, тобто для підприємств хімічної, нафтопереробної, целюлозно-паперової та металургійної промисловості. Створення великих комбінованих виробництв дозволяє використовувати ВтЕР одних процесів для потреб інших, що входять до загального комбінованого комплексу.

### **3. ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ І ШЛЯХІВ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГОНОСІЇВ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ**

#### **3.1 Виробка енергії з біомаси**

Біомасу умовно можна розділити на:

- первинну (рослини, тварини, мікроорганізми та ін.);
- вторинну (відходи переробки первинної біомаси, а також продукти життєдіяльності людини і тварин).

Коли говорять про енергетичний потенціал біомаси, мають на увазі усі матеріали, отримані з рослин: деревину, трави, відходи деревообробки і прибирання зернових, гній та ін.. Оскільки біомаса - сухе паливо, її можна порівняти з вугіллям.

Щільність енергії у біомасі нижча, ніж у вугіллі. З іншого боку, хімічні властивості роблять її кращою за багатьма параметрами. Біомаса залишає менше золи, яка, крім того, не так насичена токсичними і радіоактивними металами і може бути використана для добрива ґрунту.

Біомасу можна переробити у велику кількість різних палив, що дозволяє застосовувати її для різних цілей. Відомо використання біомаси для генерації тепла і електрики, виробництва рідкого палива, такого як біоетанол, біодизель та ін. Енергетика, що працює на біомасі, може забезпечувати економічне зростання промисловості без нанесення ушкодження довкіллю, оскільки за умови її стійкого використання в атмосфері не збільшується зміст вуглекислого газу [38].

На отриманні біомаси, яка використовується як паливо безпосередньо або після відповідної переробки, заснована біоенергетика. На сьогодні розроблені сотні варіантів конверсії біомаси в паливо і енергію (у залежності від виду біомаси, призначення, температурних умов і так далі). Залежно від початкової вологості біомаси технологічно її переробку можна розділити на три основні напрями: термохімічний, фізико-хімічний і біотехнологічний (рис. 3.1).

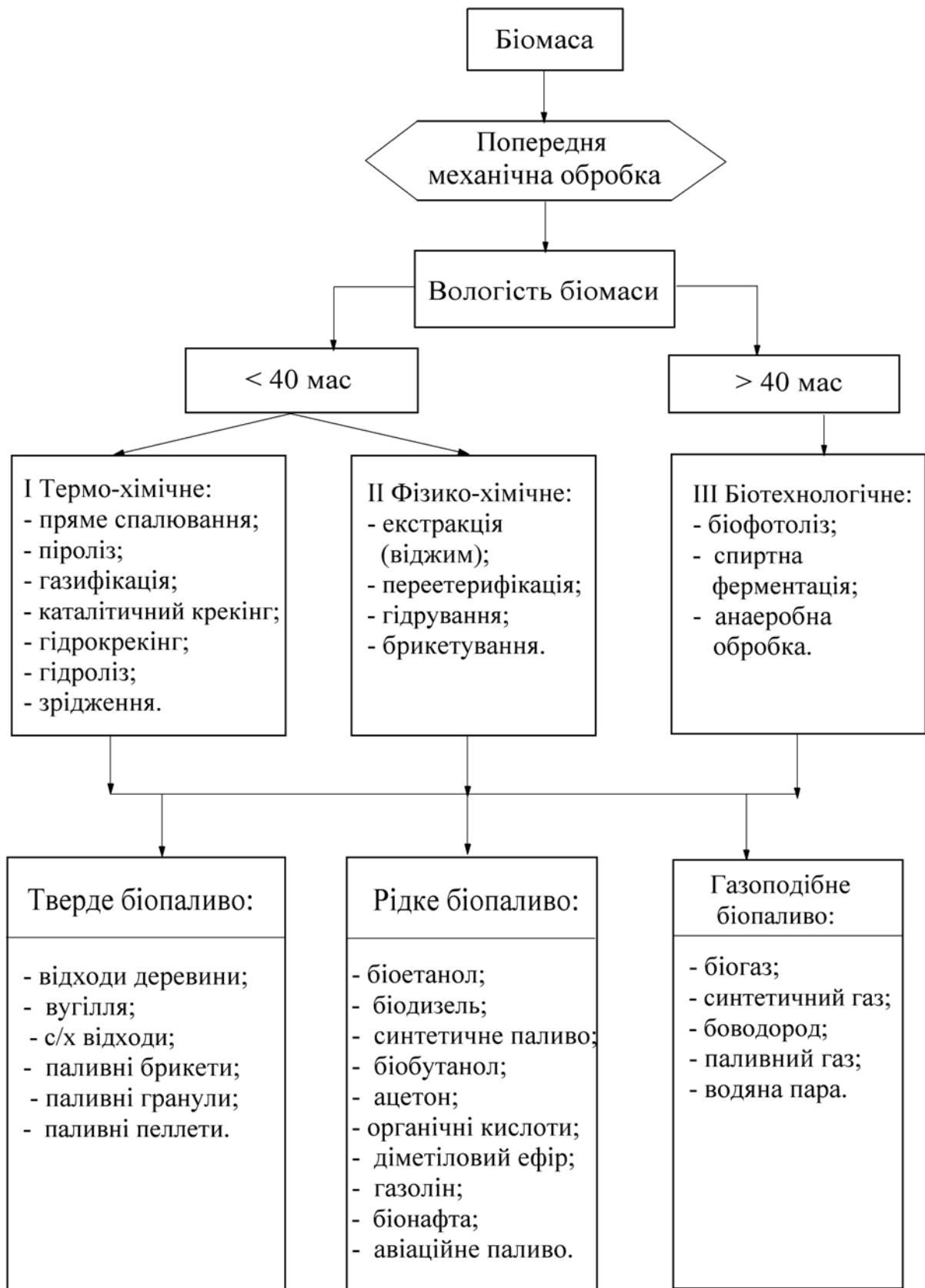


Рис.3.1. Основні енергетичні напрями використання біомаси

При цьому самі методи отримання енергії з біомаси базуються на наступних основних процесах:

1. Пряме спалювання біомаси.
2. Піроліз, газифікація.
3. Зрідження.
4. Екстракція.
5. Переетерифікація.
6. Анаеробне зброджування.
7. Ферментація.

Варто відмітити також, що в деяких з перелічених процесів побічним продуктом є тепло, що виділяється. Зазвичай його використовують на місці виникнення для власних потреб теплопостачання, в хімічних процесах, а також для виробництва пари з подальшим отриманням електроенергії.

Основним продуктом даних процесів є тверде (дрова, брикети, паливні гранули, тріска, солома, лушпиння), рідке (біометанол, біоетанол, біобутанол, ефір диметилу і біодизель) або газоподібне (біогаз, біоводень) біопаливо: деревне вугілля, різні присадки до моторного палива, газ для виробництва електроенергії.

Тверді енергоносії біологічного походження (головним чином гній, відходи деревини, торф) брикетують, сушать і спалюють в камінах житлових будинків і топках теплових електростанцій, виробляючи дешеву електрику для побутових і виробничих потреб.

Біометанол - вид рідкого біопалива на основі метилового (деревного) спирту, що отримується шляхом сухої перегонки відходів деревини, а також конверсією метану з біогазу. Незважаючи на високе октанове число більше 100, теплотворна здатність біометанолу удвічі менша, ніж у бензину. Це, а також недостатня летючість чистого спирту пояснює необхідність його змішування з бензином.

Біоетанол - це етиловий спирт, отримуваний шляхом багатостадійної переробки рослинної сировини, який є рідким біопаливом. Серйозним недоліком біоетанолу є те, що при згоранні етанолу у вихлопних

газах двигунів з'являються альдегіди (формальдегід і ацетальдегід), які завдають живим організмам не меншого збитку, ніж ароматичні вуглеводні.

Біобутанол – бутиловий спирт. Безбарвна рідина з характерним запахом. Сировиною для виробництва біобутанола можуть бути сахарний очерет, буряк, кукурудза, пшениця, а в майбутньому і целюлоза. Енергоємність біобутанола близька до енергоємності бензину. Його можна використати як компонент паливної суміші, а також в якості сировини для виробництва біоводню.

Ефір диметилу може вироблятися як з вугілля, природного газу, так і з біомаси. Окрім того, значну кількість ефіру можна виробляти з відходів целюлозно-паперового виробництва. Ефір диметилу є екологічно чистим видом палива, що не містить сірку, а зміст оксидів азоту у вихлопних газах на 90% менше, ніж у бензині.

Біодизель – паливо, отримане на основі жирів тваринного і рослинного походження. Для отримання біодизельного палива використовуються рослинні або тваринні жири. Розробляються також технології виробництва біодизеля з водоростей.

Біогаз – продукт зброджування органічних відходів (біомаси), що представляє суміш метану і вуглекислого газу. Розкладання біомаси відбувається під впливом бактерій класу метаногенів. Біоводень – водень, отриманий з біомаси, який виробляють термохімічним або біохімічним способом.

Якщо мислити стратегічно, то стає ясно, що науково технічний прогрес і зростання цін на викопне паливо забезпечать неухильне зростання економічної привабливості біоресурсів, а отже, розробку усе більш досконалих технологій їх використання, перетворюючи біомасу на одне з основних джерел енергії найближчого майбутнього [38].

В основі наукових пріоритетів більшості розвинутих країн є пошук шляхів використання енергоресурсів відновлювальної енергії, котра накопичується рослинами завдяки фотосинтезу. Особлива увага приділяється сільськогосподарчим культурам, які здатні накопичувати сонячну

енергію, та біомасі відходів рослинництва, тваринництва, переробної промисловості. До способів одержання енергії з біомаси відноситься: спалювання; отримання етанолу; отримання біогазу; культивування мікроводорості. При спалюванні таких енергоресурсів відбувається природний обмін речовин, а вуглекислий газ, який утворюється, знову поглинається рослинами. Отже, для збереження природних ресурсів і поліпшення стану екології наукою пропонується замкнутий цикл обміну споживання та відтворення енергії, яка є біопаливом. Біопаливо – це накопичена на основі фотосинтезу сонячна енергія. Його перевагами є екологічна чистота та можливість виробництва енергоресурсів з відновлюваної сировини. Біопалива у вигляді біоетанолу, біодизелю, біогазу є найбільш економічно ефективними, а отже – перспективними.

В аграрному секторі економіки України з давніх часів чільне місце посідали зернобобові, олійні культури та цукрові буряки. Вони не лише забезпечували внутрішні потреби, але й формували експортний потенціал країни. Ці сільськогосподарські культури є ефективною сировиною для виробництва біопалив. Використання палив на основі біоетанолу вже захопило значну частину світового ринку енергоносіїв і щороку набуває дедалі більшого значення.

Біоенергетика є, ймовірно, найбільш перспективною у секторі відновлюваної енергетики в Україні. На сьогоднішній день виробництво енергії з біомаси в Україні становить близько 38 ПДж/рік (або 10,6 ТВт·год/рік, тільки тепла енергія), що відповідає 0.65% загального споживання первинної енергії. Більша частина енергії виробляється за рахунок спалення відходів з деревини.

В Україні є різноманітні джерела біомаси, включаючи сільськогосподарські відходи, цільове вирощування енергетичних культур, деревину та відходи деревини. Щорічні відходи сільського господарства (солома, стебло, качани кукурудзи, стебло та лушпиння соняшника) становлять 49 млн. тон, з яких на власні потреби сільських господарств використовується приблизно 34 млн. тон. Решта потенційно може бути використана для виробництва енергії. В Україні для енергетичних цілей та-

кож можна використовувати деревину. 16% території України вкрито лісами, більшість з них розташовані в Карпатах та на Поліссі. За оцінками українських фахівців для енергетичних цілей в Україні щорічно можна використовувати до 1,4 млн. м<sup>3</sup> відходів лісовирубки, 1,1 млн. м<sup>3</sup> відходів деревообробки, та 3,8 млн. м<sup>3</sup> дров. Енергетичний потенціал біомаси в Україні представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Енергетичний потенціал біомаси України

<i>Тип біомаси</i>	<i>Енергетичний потенціал, млн. т у.п./рік</i>
Солома зернових культур	5,6
Стебла, качани кукурудзи на зерно	2,4
Стебла та лушпиння соняшника	2,3
Біогаз з гною	1,6
Біогаз з осаду стічних вод	0,2
Звалищний газ	0,3
Відходи деревини	2,0
Паливо з твердих побутових відходів	1,9
Рідкі палива з біомаси (біодизель, біоетанол, та ін.)	2,2
Енергетичні культури (верба, тополя, та ін.)	5,1
Торф	0,6
<b>ВСЬОГО</b>	<b>24,2</b>

*Джерело: Гелетуха Г.Г., Долинський А.А. Доповідь з Третьої міжнародної конференції „Енергія з біомаси” (18-20 вересня 2006 р., Київ, Україна)*

*Спалювання біомаси.* Деякі підприємства та компанії комунального теплопостачання спалюють біомасу в котельнях для отримання теплоти та пари. Певні домогосподарства у сільській місцевості також викорис-



товують деревину та відходи деревини для опалення. Загальне споживання деревної біомаси для енергетичних цілей складає близько 1 млн. т. у.п./рік. За оцінками науково–технічного центру "Біомаса" ємність потенційного ринку різних видів котлів на біомасі складає загалом 9200 МВт. Використання цих котлів дозволить заощадити 5,2 млрд. м<sup>3</sup> природного газу щорічно; їх загальні інвестиційні затрати, 2,67 млрд. гривень (0,53 млрд. доларів США), менші за ринкову вартість 5,2 млрд. м<sup>3</sup> газу.

Фахівці НТЦ "Біомаса" вважають, що широке впровадження біоенергетичних технологій в Україні повинно розпочатись з введенням в експлуатацію сучасних котелень, що спалюють соломку, торф та деревні відходи. Інші біоенергетичні технології (біогаз, рідкі палива, енергетичні культури) також є дуже важливими, але тільки котли на біомасі можуть замінити природний газ для виробництва тепла, через їх низькі інвестиційні затрати та найменший період окупності.

Виробництво тепла з біомаси є конкурентоспроможним вже зараз, навіть при використанні закордонного обладнання. За певних умов, таких як утилізація власних відходів з нульовою вартістю (наприклад, відходи деревини на деревообробному підприємстві, надлишки соломи на фермі) та використання вітчизняного обладнання (котли українського виробництва), виробництво тепла з біомаси може бути більш реальним, ніж з дорогих викопних палив.

Забезпечення енергоефективності економіки, використання відновлюваних енергетичних ресурсів відіграватимуть життєво важливу роль України на шляху до екологічних енергетичних інфраструктур. Частка у структурі енергетики викопного палива скорочуватиметься, а в його використанні відбуватимуться необхідні зміни на користь високоефективних технологій і палива з меншою кількістю вуглецю на одиницю енергії.

Біомаса є широко розповсюдженою сировиною для енергії і включає: деревинну біомасу і відходи деревообробної промисловості, технічні культури, сільськогосподарські відходи і агропромислові стоки, орга-

нічну частину муніципальних відходів, відходи домашнього господарства та стічні води. Обсяги відходів, придатних для щорічної переробки лише на біогаз, загально по ЄС характеризуються такими оціночними даними: гній великої рогатої худоби – 900 млн. т., гній свиней – 240 млн. т, тверді побутові відходи – 160 млн. т. (у т.ч. органічні – до 50 млн. т), осад стічних вод – 25 млн. т, промислові органічні відходи, здатні для переробки в біогаз – 35 млн. т. Важливо розуміти, що вони щорічно накопичуються і призводять до великих соціальних проблем.

Сільськогосподарські угіддя, ліси, луки та інші природні ресурси дають велику кількість біомаси, котра може використовуватися для виробництва різноманітного біопалива. Біомасу в енергетичних цілях можна використовувати у процесі безпосереднього спалювання деревини, соломи, сапропелю (органічних донних відкладень), а також у переробленому вигляді, як рідкі (ефіри ріпакової олії, спирти) або газоподібні (біогаз – газова суміш, основним компонентом якої є метан) палива. Конверсія біомаси у носії енергії може відбуватися фізичними, хімічними та біологічними методами, останні є найбільш перспективними.

З біосировини отримують рідке, газоподібне і тверде паливо. Залежно від використання рідке біопаливо поділяють на: а) для карбюраторних двигунів із зовнішнім утворенням суміші пальне-повітря, б) для дизельних двигунів з внутрішнім утворенням суміші пальне-повітря, в) рідке біопаливо для котлів.

Дані про наявність кожного з видів біомаси для енергетичних потреб в областях України потребують щорічного перерахунку з використанням відповідних коефіцієнтів щодо збільшення або зменшення обсягів отриманої біомаси в кожному розрахунковому році. Причиною цього є просторова неоднорідність розміщення біомаси, а також її варіабельність в часі дає можливість використання такого потужного засобу просторового аналізу як ГІС (географічні інформаційні системи). Використання ГІС дозволяє не лише візуалізувати дані щодо просторової локалізації біомаси, як потенційної енергетичної сировини, але також надає підтримку в прийнятті рішень про місце розміщення та можливу по-

тенціальну потужність підприємств з виробництва різних видів біопалива.

Оцінка наявності, просторового розподілу і енергетичного потенціалу біомаси є важливою передумовою для розробки та корекції енергетичної стратегії держави.

Україні для продукування біоетанолу доцільно залучити чотири групи біосировини:

1) моносахариди, отримані з цукрових буряків, цукрової тростини та фруктів (глюкоза, фруктоза, ксилоза, маноза, арабіноза), які безпосередньо ферментуються у біоетанол;

2) оліго-сахариди (сахароза) з названих культур, які потребують попереднього гідролізу до моно-цукрів;

3) полісахариди (крохмаль), який отримують із зерна і картоплі з наступним гідролізом та ферментацією;

4) полісахариди з деревини (целюлоза), які також піддають гідролізу перед ферментацією.

Енергетична ефективність біоенергетики достатньо висока для того, щоб виділити її в окремий напрям енергетичного господарства; в Україні існує достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і необхідна науково-технічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики.

Показники енергетичного потенціалу біомаси відрізняються від потенціалу інших відновлюваних джерел енергії тим, що, окрім кліматометеорологічних умов, енергетичний потенціал біомаси в країні в значній мірі залежить від багатьох інших факторів, в першу чергу від рівня господарської діяльності. Енергетичний потенціал біомаси представлено такими її складовими – енергетичним потенціалом тваринницької сільськогосподарської і рослинної сільськогосподарської біомаси та енергетичним потенціалом відходів лісу.

Основними технологіями переробки біомаси, які можна рекомендувати до широкого впровадження в даний час є: пряме спалювання, піроліз, газифікація, анаеробна ферментація з утворенням біогазу, вироб-

ництво спиртів та масел для одержання моторного палива. Економічна ефективність біоенергетичного обладнання в більшості випадків забезпечується правильним вибором технології переробки біомаси та розташуванням обладнання в місцях постійного її накопичення; важливим є також ефективно і, по можливості, комплексне використання всіх отриманих в процесі переробки продуктів.

Організація виробництва біопалив в Україні є перспективним напрямом для зменшення енергетичної залежності від постачальників нафти та природного газу. Використання біопалив зменшує антропогенне навантаження на довкілля, зберігає природні ресурси за рахунок переробки відновлювальної сільськогосподарської сировини та відходів переробних галузей агропромислового комплексу. На рис. 3.2 наведено фактори, які сприяють виробництву біопалив [12].

Для збільшення в Україні власного виробництва моторних палив доцільно організувати адекватну заміну традиційного моторного палива на моторні суміші з різними видами паливних домішок, однією з яких є етанол, що може використовуватись як домішка до світлих нафтопродуктів. Економічний аспект застосування високооктанової кисневмісної добавки до бензинів (ВКД) або біоетанолу (паливного етанолу) полягає в зниженні вартості палива, ціни на яке на світовому ринку невинно зростають.

До енергетично привабливих рослин європейської ґрунтово-кліматичної зони відносять такі:

- 1) однорічні з високим вмістом цукрів і крохмалю (цукрові буряки, зернові колосові, кукурудза, картопля) для промислового виробництва біоетанолу;
- 2) олійні культури (ріпак, соняшник, соя, льон олійний), з яких отримують олію і біодизель;
- 3) багаторічні трав'янисті рослини (міскантус великий або тростина, міжвидовий гібрид шавлю – румекс, просо прутувидне, топінамбур, мальва пенсільванська, гречаник гострокінцевий та горець сахалінський).



Рис. 3.2. Позитивні фактори виробництва біопалив

Підвищений вміст целюлози дає змогу застосовувати їх комбіновано у паливній, паперовій промисловості та як ізоляційний матеріал. Великі сподівання покладають також і на вирощування генетично модифікованих рослин, зокрема гібридів кукурудзи, на відокремлених земельних масивах [12].

Для суттєвого збільшення в енергобалансі України обсягів паливно-енергетичних ресурсів, вироблених із нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, необхідно наполегливо проводити організаційну роботу та створювати об'єкти альтернативної енергетики за найбільш перспективними технологічними напрямками щодо отримання сумішевого рідкого біопалива.

Сприятливе поєднання кліматичних умов, величезний потенціал в аграрному секторі та доступна робоча сила роблять Україну надзвичайно привабливою для розвитку ринку біопалив. В очах потенційних інвесторів розвиток ринку біопалив в Україні передбачає набуття позитивних змін щодо результативності у підприємницькій діяльності і водночас економічно-соціальну доцільність для національної економіки в цілому.

Виробництво і використання біопалива в сільському господарстві України є об'єктивною передумовою до створення додаткових робочих місць, збільшення зайнятості сільського населення, підвищення ефективності виробництва та добробуту сільського населення [12]. Основні перешкоди розвитку ринку біопалив в Україні представлені на рис. 3.3.

Однією із проблем світової спільноти є позбавлення економіки надмірної залежності від нафти та пального, виробленого на її основі. На думку американських експертів, це можна зробити за рахунок широкомасштабного впровадження нових технологій та альтернативних видів палива, зокрема алкогolemістких речовин, вироблених із сільськогосподарських культур, та біопалива. При цьому, як основний альтернативний енергоносіє, який міг би використовуватися як пальне для автомобілів з бензиновими двигунами, розглядається етанол

Масштабний перехід на альтернативне пальне матиме такі переваги:

- створення додаткових робочих місць, пов'язаних із впровадженням та удосконаленням нових енерготехнологій;
- створення практично необмеженого ринку збуту для сільськогосподарської продукції як національних виробників, так і виробників третіх, у т.ч. найбільш розвинутих країн;
- стимулювання світового економічного розвитку й торгівлі за рахунок створення фактично нового глобального ринку альтернативних енергоносіїв;

- скорочення фінансування нестабільних або авторитарних режимів, які володіють запасами нафти та підтримують терористичну діяльність;



Рис. 3.3. Основні перешкоди розвитку ринку біопалив в Україні

- впровадження дієвого механізму соціальної підтримки найбільш вразливих країн Африки та Карибського басейну, які могли б вирощувати сировину для виробництва нових видів палива;
- зменшення вірогідності протистояння та конфліктів між державами через контроль над нафтовими регіонами;
- наявність у нового пального більш безпечних для навколишнього середовища характеристик згоряння, ніж у традиційного бензину.

Перехід на альтернативне паливо не вимагає від держав значних бюджетних коштів для розвитку відповідної інфраструктури та технологій. Необхідно лише створити відповідну законодавчу базу, яка, зокрема, змусила б автовиробників обладнати всі нові автомобілі системою використання різних видів пального, тобто як звичайного бензину, так і сумішей, які б містили до 100% етанолу або метанолу.

### **3.2 Сільськогосподарські відходи тваринництва**

Сільськогосподарські відходи тваринництва є відходами органічного походження – здебільшого гній та гнойові стоки великої рогатої худоби, свиней, курячий послід. Супутніми їм можуть бути матеріали, що використовуються для підстилки – солома, трава, торф. Усі відходи практично повністю використовуються у сільському господарстві як добрива, тому необхідність застосування сучасних методів їх переробки не завжди сприймається з повним розумінням. Аналіз показує, що в результаті застосування сучасних методів переробки тваринницьких відходів вирішується не тільки проблема енергозабезпечення, але й екологічна, агротехнічна та соціально-економічна проблеми, причому вирішення екологічних та санітарних завдань необхідно ставити на перше місце. Відомо, що гній тварин містить велику кількість бактеріологічного матеріалу (збудники бруцельозу, сальмонельозу, ящуру, туберкульозу та інших інфекційних хвороб) та яєць гельмінтів. Зберігання та використання неперероблених відходів завдає великої шкоди навколишньому середовищу, призводячи до забруднення значних територій землі, отруєння ґрунтових вод і водоймищ, забруднення повітря та виникнення се-



рйозних захворювань у людей і тварин, що може спричинити створення епідеміологічних ситуацій. Крім того, тварини, заражені гельмінтами, споживають кормів на 11 % більше і мають приріст на 15% менше у порівнянні зі здоровими.

У гної тварин та посліді птиці також є велика кількість насіння бур'янів, які не тільки не втрачають здатності сходити після проходження через шлунково-кишковий тракт, але й, знаходячись у такому живильному середовищі, сходять і ростуть значно швидше, що зменшує кількість сухих добрив для культурних рослин. Крім того, у процесі анаеробного зброджування азот, фосфор і калій переходять у більш зручну для засвоєння рослинами форму. Утворені високоякісні добрива дають можливість якщо й не повністю унеможливити, то значно зменшити застосування мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, що своєю чергою зменшує витрати на виробництво сільськогосподарських продуктів. Хімічний склад гною та стоків практично повністю відповідає потребам рослин у живильних речовинах. Визначено, що для заміни мінеральних добрив на 1 га земельних угідь необхідно близько 10 т гною.

Таким чином, з точки зору агротехніки, необхідність перероблення тваринницьких відходів є очевидною.

Енергетичний фактор при утилізації відходів тваринництва також є надзвичайно важливим: у процесі ферментації 1 т органічної речовини можливо одержати 350–500 м<sup>3</sup> біогазу з теплотою згорання 4300–6000 ккал, що еквівалентно 0,6 – 0,8 т.у.п.

З точки зору отримання енергії, ефективним вважається використання відходів тваринництва при стійловому утриманні тварин.

У середньому вологість екскрементів великої рогатої худоби та свиней становить 80-85%, курячого посліду – 75%. Наявність підстилки зменшує вологість гною до 70-78%, змивання водою – збільшує вологість. Стоки гною з вологістю більше 96% нераціонально переробляти методом анаеробної ферментації, тому при отриманні біогазу з тваринницької біомаси від методу гідрозмиву гною необхідно відмовитись.

Розвиток невеликих індивідуальних фермерських господарств в Україні та недостатня газифікація села потребують перероблення невеликих об'ємів біомаси, до складу якої входять різні відходи тваринництва. Відомо, що при розмішуванні різних відходів тваринництва вихід біогазу може навіть дещо збільшуватися, що є важливим для невеликих фермерських господарств. У цьому випадку необхідно стежити за тим, щоб кількість вуглецю і азоту відповідала співвідношенню, яке забезпечує найбільш ефективний перебіг процесу зброджування.

В Україні на великих свинарських та птахівницьких підприємствах щорічно утворюється більше 3 млн. т органічних відходів (за сухою речовиною), переробка яких дасть змогу отримати близько 1 млн. т.у.п. у вигляді біогазу, що еквівалентно приблизно 8 млрд. кВт·год електроенергії. Водночас в Україні є наявні близько 2 млн. негазифікованих сільських садиб. Досвід країн, не забезпечених природним газом, показує, що віддалені сільські місцевості доцільно газифікувати за допомогою малих біоенергетичних установок, які працюють на органічних відходах сільських садиб. Впровадження 2 млн. установок в Україні дасть змогу на перспективу отримати близько 1 млрд. м<sup>3</sup> біогазу на рік, що еквівалентно 13 млрд. кВт·год електроенергії і може забезпечити садиби у сільській місцевості 10 млн. т. органічного добрива на рік. Доцільність отримання у масштабах України біогазу із органічних відходів, таких як гній та послід, обумовлена їх кількістю та концентрацією як в окремих господарствах, так загалом у регіонах.

Сировину для біогазу поділяють на три основні категорії:

- сільськогосподарську – гноївка, гній (враховуючи більшу гідратацію лише як додатковий матеріал), енергетичні культури, залишки біомаси та інше;
- промислову – крохмаль, відходи скотобоєнь, молочних, цукрових заводів, фармацевтичної, косметичної та паперової промисловості тощо;
- господарську – органічні відходи, комунальні стоки, обрізки саду тощо.

У процесі безкисневого бродіння із біовідходів виробляється біогаз. Цей газ може використовуватися як звичайний природний газ для обігріву приміщень. Його також можна накопичувати, перекачувати, після відповідної очистки використовувати для заправки автомобілів або ж продавати іншим споживачам.

У біогазовій установці можна переробляти будь-які відходи: рослинну масу (кукурудзяний силос, трав'яний, будь-який вид гною, відходи бійні (кров, кістки, канига, жир). Вихід газу з біомаси наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Вихід біогазу з 1 т біомаси

<i>Біомаса</i>	<i>м<sup>3</sup></i>
Гній	40-80
Пташиний послід	50-90
Відходи бійні	300-600
Жом	70-150
Силос	150-250
Відходи біодизелю (гліцерин)	300
Відходи від виробництва етанолу	70-100

При спалюванні 1 м біогазу в теплоелектрогенераторі можна виробити 2 кВт·год. електроенергії. Отже, маючи біогазову установку, підприємство зможе повністю або частково забезпечити свої потреби в електроенергії, при цьому ціна щороку не збільшуватиметься.

Теплоенергію, отриману від охолодження теплообмінника силової установки, можна використовувати для обігріву ферми, адміністративних будинків, сушіння насіння, підігріву води й т.п.

Поряд з біогазовими установками можна відроджувати і встановлювати нові теплиці. Тепло також може використовуватися для приве-

дення в дію рефрижераторів, що може використовуватися, наприклад, для охолодження свіжого молока на молочних фермах або для зберігання м'яса. При спалюванні біогазу, крім електроенергії, теплоелектрогенератор дозволяє отримати із 1 м<sup>3</sup> біогазу 3 кВт тепла.

### **3.3 Подальший розвиток аграрної енергетики**

Ресурси біомаси різних видів є майже в усіх регіонах світу, і майже в кожному з них може бути налагоджена її переробка в енергію і паливо. Посилення інтересу до використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) із сільськогосподарської сировини у світі обумовлено цілим рядом причин, серед яких:

- зменшення запасів мінеральної сировини та зростання попиту на традиційні види енергії, що посилює енергетичну залежність країни від основних світових виробників нафти та газу;

- неухильне зростання світових цін на природне викопне паливо. Так, за період 1998-2009 рр. ціна за один барель нафти на світовому ринку зросла з 10 до 60 дол. США (в окремі періоди і 130 дол. США). За розрахунками вчених виробництво альтернативних джерел енергії стає комерційно вигідним при зростанні ціни на нафту на світовому ринку до 60 дол. США за барель;

- вирощування в оптимальних межах таких культур як ріпак, соя, міскантус, енергетична верба і тополя, які є вихідною сировиною для виробництва біопалива, позитивно впливає на сільське господарство. Так, вирощування енергетичної верби і міскантусу дає змогу вилучити із площі ріллі деградовані землі і цим поліпшити їх використання, зберегти ландшафт і біорізноманіття;

- прийняття міжнародних програм із збереження клімату та поліпшення агроекологічної ситуації також посилює роль і значення відновлювальної енергії;

- розвиток біопаливної енергетики сприятиме відродженню сільських територій (диверсифікації сільської економіки, створенню нових ро-

бочих місць, оптимізації сезонної зайнятості сільськогосподарських працівників тощо).

Таким чином, існує соціальне замовлення на розробку теоретичних засад та прикладних аспектів важливої економічної проблеми, яка дістала своє визнання та обґрунтування на законодавчому рівні. Вітчизняне законодавство з питань розвитку біоенергетики враховує фундаментальні положення відповідних нормативних актів, прийнятих у Європейському Союзі, з врахуванням національних особливостей.

Передбачається, що біомаса стане ключовим відновлюваним джерелом в майбутньому. Вже сьогодні біомаса дає 14% всієї споживаної енергії. Для трьох чвертей світового населення, яке проживає в країнах, що розвиваються, біомаса є найважливішим джерелом енергії. У середньому в країнах, що розвиваються енергія біомаси складає 38% від усіх джерел первинної енергії [38].

Питання впровадження біологічних видів палива в Україні знайшли відображення у таких нормативно-правових актах, як програма “Етанол” (затверджена постановою КМ України №1044 від 04.07.2000 р.), “Програма розвитку виробництва дизельного біопалива на період до 2010 р.” (затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 576-р від 28.12.2005 р.), “Програма розвитку виробництва дизельного біопалива” (постанова КМ України № 1774 від 22.12.2006 р.), “Енергетична стратегія України на період до 2030 р.” (затверджена розпорядженням КМ України № 145-р від 15.03.2006 р). В Україні вже тривалий час діють Закони України “Про альтернативні джерела енергії” та “Про альтернативні види рідкого та газового палива”. При цьому необхідно відмітити, що норми зазначених законів виявились досить загальними для того, щоб запрацював конкретний ринок біопалива. Окремо слід акцентувати на нормах Закону України “Про внесення змін та доповнень до деяких законодавчих актів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива” від 21 05 2009р. Ним передбачається, що діяльність у сфері виробництва, використання та споживання біологічних видів палива може здійснюватись суб'єктами господарю-

вання всіх організаційно-правових форм і форм власності. Законом передбачається низка стимулюючих заходів з боку держави, зокрема, встановлення нульової ставки акцизного збору на етиловий спирт, який використовується підприємствами для виготовлення біоетанолу та біодизелю.

Для отримання біоетанолу нафтопереробними заводами (чи іншими суб'єктами підприємницької діяльності) та здійснення контролю за його цільовим використанням діючим законодавством встановлено механізм видачі та погашення податкового векселю на суму акцизного збору, нарахованого на обсяг біоетанолу за повною ставкою.

Крім того, передбачається звільнити на 10 років від сплати мита та податку на додану вартість операцій по ввезенню обладнання та матеріалів для виробництва біологічних видів палива, а також устаткування та комплектуючих, які використовуються для виробництва устаткування для оснащення заводів по виробництву біопалива, за умов, якщо ці товари застосовуються вітчизняними підприємствами для власного виробництва та якщо ідентичні товари з аналогічними якісними показниками не виробляються в Україні. Закон передбачає певне впорядкування відносин на ринку біопалив з боку держави, зокрема передбачається запровадити ведення державного реєстру виробників біологічних видів палив для продажу і для власного споживання. Біологічні види палива, які реалізуються суб'єктами господарювання, як товарна продукція, підлягають обов'язковій сертифікації у відповідності до діючого законодавства.

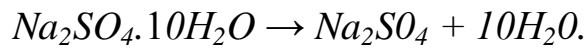
## 4. УМОВИ І СПОСОБИ АКУМУЛЯЦІЇ ЕНЕРГІЇ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

### 4.1 Загальні відомості

Для ефективної і безперебійної роботи системи автономного електропостачання потрібне використання комбінованої системи з декількох джерел електропостачання, наприклад, на основі сонячних і вітрових електроустановок. Проте і в цьому випадку вироблення електроенергії може мати значні коливання, у зв'язку з цим потрібна додаткова установка акумулюючих систем. Заряд акумуляторів може здійснюватися від ВЕС в нічний час або від СЕС і ВЕС в години малого електроспоживання. Виробництво електроенергії може здійснюватися відразу двома станціями або кожною окремо, залежно від наявності вітру і інтенсивності сонячного випромінювання.

При добовій і сезонній нерівномірності вироблення електроенергії значна економія традиційних енергоносіїв може бути досягнута шляхом акумуляції енергії, вироблюваної в періоди її мінімального споживання. Особливо важливо мати системи, що запасують енергію, при експлуатації установок з нерегулярним виробленням протягом доби або триваліших періодів - вітрових, сонячних. Проблема не вирішується із застосуванням електроакумуляторів - вони дуже дорогі, громіздкі і мають малу місткість. Гідроакумулюючі станції, дозволяють повернути в енергосистему в години пік до 70% енергії, запасеної в години мінімуму споживання, проте їх будівництво доцільне в місцевостях з гористим рельєфом, де поруч розташовані зручні ділянки для верхнього і нижнього водойм.

Теплова енергія може акумулюватися речовинами, які при нагріві міняють свій агрегатний стан, структуру або хімічний склад, споживаючи або виділяючи при цьому теплоту. Наприклад, кристалічний сульфат натрію, якщо до нього при температурі 32,3°C підводиться теплота, втрачає воду, що входить до складу кристалів:



Цей процес дегідратації супроводжується поглинанням великої кількості теплоти, яка може знову виділитися при зворотній реакції.

Акумулявання енергії є однією з найважливіших проблем, коли йдеться про експлуатацію енергетичних систем на основі відновлюваних джерел енергії. Акумуляувати енергію необхідно через енергетичну нестабільність характеристик відновлюваних джерел і споживачів протягом року, у деяких випадках навіть протягом доби.

При застосуванні акумуляторів в енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії виконуються такі основні функції:

- забезпечення безперебійного енергопостачання споживачам за рахунок накопичення надмірної енергії та подальшого її використання в період відсутності або недостачі;
- забезпечення оптимального режиму роботи джерел енергії та споживачів за рахунок згладжування коливань в енергомережі;
- підвищення потенціалу енергії до необхідного при накопиченні низькопотенціальної енергії;
- перетворення енергії одного виду в інший відповідно до потреб споживача.

Як акумулятори енергії поновлювальних джерел можна використати:

- електрохімічні акумулятори;
- теплові акумулятори;
- акумулятори на основі зворотних фазових переходів;
- акумулятори на основі зворотних хімічних реакцій;
- акумулятори, що працюють при переробці палива за рахунок його збагачування;
- акумулятори, що працюють на основі водню.

Використання електрохімічних акумуляторів є доцільним у комплексі із сонячними та вітровими установками різної потужності. Вони необхідні в установках невеликої потужності, оскільки при безпосеред-



ній роботі відновлюваного джерела для споживача неможливо отримати електроенергію необхідної якості. Дослідження показали, що найбільш ефективними для систем із вітроустановками та сонячними фотобатареями є лугові нікель-кадмієві акумулятори, які можна використовувати навіть при незначних (5 %) зарядних струмах. У Німеччині проводяться роботи зі створення герметичних нікель-водневих акумуляторів із водневим електродом на основі гідратів металів. Вони екологічно чистіші й енергоємніші порівняно з нікель-кадмієвими.

Економічна ефективність теплового акумулятора за інших рівних умов визначається масою та об'ємом теплоакumuлюючого матеріалу, необхідного для забезпечення заданих параметрів процесу. Акумуляування фізичного тепла є найбільш застосовуваним. Досить низька теплоємність акумулятора має компенсуватися використанням великих об'ємів теплоакumuлюючих матеріалів. Як акумулятори використовують теплоізолювані резервуари води.

Акумулятори, які використовують теплові ефекти зворотних фазових переходів, характеризуються більш високою густиною енергії тіла при невеликому об'ємі теплоакumuлюючого матеріалу і мають практично постійну температуру розряду. Теплоакumuлятори з фазовим переходом поділяються на низькотемпературні (до  $120^{\circ}\text{C}$ ), середньотемпературні ( $120\text{-}400^{\circ}\text{C}$ ) та високотемпературні ( $400\text{-}1000^{\circ}\text{C}$ ). Основні параметри наведено в таблиці 4.1.

Акумулятори, що працюють із використанням ефекту зворотних хімічних реакцій, характеризуються ще вищою густиною енергії, порівняно з вищерозглянутими акумуляторами, однак вони мають більш високу ціну за рахунок використання відносно дорогих хімічних сполук, а також виділяють гази в процесі хімічних реакцій. В таблиці 4.2 наведено зворотні хімічні реакції деяких речовин, які можуть бути використані в хімічних акумуляторах енергії.

Таблиця 4.1

## Основні параметри теплоаккумуляторів із фазовим переходом

<i>Теплоакуюлюючі матеріали</i>	<i>Діапазон температури плавлення, °С</i>	<i>Об'ємна густина акумуляованої енергії, МДж/м</i>
Гідрати солей та їхні суміші	30-50	200400
Органічні сполуки	30-60	150-200
Солі	140-1000	300-1900
Метали та їхні сплави	270-1000	540-3000
Луги	300-500	1280

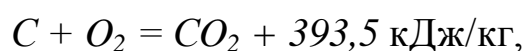
Таблиця 4.2

## Основні параметри деяких хімічних акумуляторів

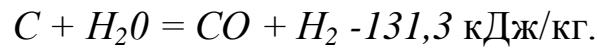
<i>Хімічні сполуки</i>	<i>Температура, °С</i>	<i>Густина енергії, що акумуляується, ГДж/м<sup>3</sup></i>
$\text{Ca(OH)}_2 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	525	2,21
$\text{SO}_3 \leftrightarrow \text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2$	650	0,51
$\text{BaO}_2 \leftrightarrow \text{BaO} + 0,5\text{O}_2$	825	2,36
$\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	860	4,82

Коли є залишкова енергія відновлюваних джерел, то її можна використовувати для збагачення природного палива під час його переробки, тобто акумуляувати енергію в паливі. Ефективність такого акумулявання можна розглянути на прикладі переробки вугілля.

При звичайному спалюванні вугілля маємо

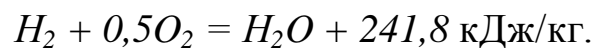


тобто кожний кілограм вугілля при спалюванні виділяє 393,5 кДж теплової енергії. Якщо обробити вугілля водяною парою, то отримаємо

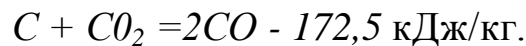


Це означає, що замість вуглецю як енергоносія отримаємо енергоносії у вигляді оксиду вуглецю та водню, а витрата енергії кДж/кг становить за рахунок енергії відновлюваних джерел.

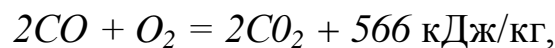
При спалюванні отриманих енергоносіїв будемо мати:



Отже, маємо сумарну теплову енергію 524,8 кДж/кг, що, порівняно зі звичайним спалюванням вугілля (395,5 кДж/кг), дасть збагачення палива на 33,3 %. При обробці вугілля вуглекислим газом маємо



При спалюванні отриманого оксиду вуглецю будемо мати



це означає, що отримаємо збагачення вугілля на 43,8 %.

Акумулювання енергії на основі водню (рис. 4.1) має великі перспективи [24]. З енергетичної точки зору, водень - це альтернатива нафті та природному газу, при цьому:

- запаси водню в складі води практично невичерпні;
- теплота згорання водню в кілька разів вища, ніж у природних газів;
- водень, як паливо може бути використаний для отримання теплової та електричної енергії, а також у двигунах різного виду;
- водень – екологічно чисте паливо.

Система акумулювання на основі водню забезпечує:

- стабільне енергопостачання споживачів;
- розв'язання проблем зберігання водню і його використання з метою отримання теплової та електричної енергії;
- отримання палива з оптимальними характеристиками.

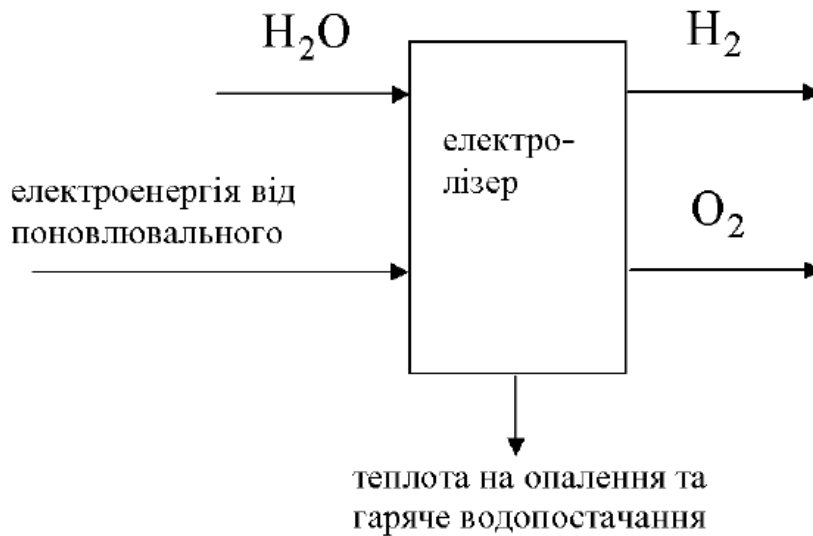


Рис. 4.1. Акумуляція енергії ВДЕ на основі водню

Коли потрібно зберегти енергію, вироблену сонячними батареями, лідерами, як і раніше є свинцево-кислотні акумулятори. Домашні фотоелектричні системи використовують спеціальні акумулятори глибокого розряду (схожі на акумулятори для гольф-карів). Вони мають низьку вартість, широко доступні і здатні зберігати енергію місяцями при дуже малому саморозряді, при інвестиціях в розробку сонячних батарей важливо пам'ятати про втрати електроенергії. Впродовж багатьох років експлуатації свинцево-кислотних батарей була перевірена їх стабільність і передбачуваність роботи.

#### 4.2 Акумуляція енергії відновлюваних джерел

Періоди коливання енергії вітру бувають секундні, хвилинні, годинні, місячні і навіть річні. Коливання енергії згладжуються різними регулюючими пристроями вітродвигунів. Непостійність ж вітру за часом, з частими штилями від 1 до 5 днів, вимагає спорудження акумуляю-

ючих пристроїв, що дозволяють запасати енергію на період штильових днів.

Зміни швидкостей вітру за величиною і за часом зумовлюють застосування в практиці як буферних, так і ємнісних акумуляторів енергії.

*Буферні акумулятори* здатні запасати і віддавати споживачеві накопичену енергію в короткі проміжки часу, які обчислюються секундами, хвилинами і до однієї години.

*Ємнісні акумулятори* здатні запасати і віддавати споживачеві накопичену енергію протягом тривалого часу – від 1 до декількох годин.

За принципом дії акумулятори, що застосовуються в вітротехніці можна підрозділити на наступні типи: 1) механічні, 2) електричні, 3) гідравлічні, 4) теплові, 5) пневматичні і 6) водневі.

Механічні акумулятори запасують надлишок енергії і віддають при її недоліку за допомогою механізмів, таких як: маховика, пружини, підйомника та ін. Ці механізми віддають накопичену енергію робочій машині або відразу, як маховик, або в певні моменти часу, як пружина .

З існуючих механічних акумуляторів відомий акумулятор Уфімцева - Ветчинкіна. Цей акумулятор складається зі сталевого диска з віссю, підвішеною на шарикопідшипниках; диск укладений у герметично закритий кожух. Вісь диска через спеціальну муфту примикає до генератора і є продовженням осі останнього. Цей генератор приводиться в рух від вертикального вала вітродвигуна за допомогою ремінної передачі. Муфта, що примикає вісь диска до осі генератора, побудована так, що при збільшенні обертів, що буває в момент зростання швидкості вітру, диск нагромаджує живу силу подібно маховику. Як тільки швидкість вітру знизиться то і знизяться оберти вітродвигуна, диск продовжує обертатися з тими обертами, які він розвивав в цей момент, і муфтою обертає генератор вже за рахунок тієї енергії, яку він накопичив у момент зростання швидкості вітру. Таким чином, генератор працює то безпосередньо від вітродвигуна, то від інерційного акумулятора. Частота перемикань муфти залежить від тривалості поривів вітру. В результаті вітроустановка виробляє стабільну за потужністю енергію, незважаючи на

пульсуючий характер вітру. Це є тип буферного інерційного акумулятора.

Найменшу вагу на одиницю запасаної інерційним акумулятором енергії має диск рівного опору. Вага диска на 1 л. с. дорівнює:

$$q = \frac{2100}{\sigma} \text{ кг/л.с.ч,}$$

де  $\sigma$  – напруга на розрив в кг/мм<sup>2</sup>.

Нижче наводиться таблиця 4.3 приблизних ваг і основних даних інерційних акумуляторів, складена проф. В. П. Ветчинкіним.

Таблиця 4.3

Ваги і основні дані інерційних акумуляторів

<i>Назва показників</i>	<i>Кільце з диском замість спиць</i>	<i>Диск постійної товщини (без отворів в середині)</i>	<i>Диск рівного опору</i>
Теоретична вага ротору кг/л. с. ч	$\frac{5700}{\sigma}$	$\frac{4700}{\sigma}$	$\frac{2850}{\sigma}$
Повна вага акумулятора (з кожухом, валом та підшипниками) кг/л. с. ч	$\frac{8000}{\sigma}$	$\frac{6000}{\sigma}$	$\frac{4000}{\sigma}$
Матеріал ротору	Залізо	Сталь звичайна	Сталь високо-сортна
Напруга ротору кг/мм <sup>2</sup>	16	40	80
Обертובה швидкість м/сек.	140	350	700
Вага акумулятора на 1 кВт·год запасаної енергії кг/кВт·год	500	150	50

Основним недоліком інерційних акумуляторів є втрата на тертя повітря. Що ж стосується втрат на тертя в підшипниках, то, при якісному їх виконанні і правильному мастилі, ці втрати становлять дуже малий відсоток від втрат на тертя повітря.

З метою зниження втрат на тертя повітря, укладають обертовий диск в кожух, що герметично закривається, в якому робиться деяке розрідження.

До механічних акумуляторів відносяться також пружні акумулятори, в яких для запасання енергії використовуються пружні властивості тіл. Прикладом найпростішого буферного акумулятора є гумові амортизатори, які застосовуються в авіації для шасі літаків.

*Електричні акумулятори* – пристрої, що дозволяють накопичувати і зберігати електричну енергію у вигляді постійного струму для витрачання її за графіком споживання. Елемент електричного акумулятора складається з посудини, наповненої розведеною сірчаною кислотою, і занурених в неї електродів – свинцевих пластинок.

Кількість ампер-годин, що акумулятор може віддавати в мережу, називають ємністю акумулятора. Ємність залежить від кількості і розмірів пластин кожного елемента і від сили розрядного струму при однакових розмірах пластин. Досвід експлуатації показує, що чим повільніше відбувається розряд та ємність акумулятора збільшується, тобто тим більше число ампер-годин він може працювати, поки напруга кожного елемента не знизиться з 2,05 до 1,8 В. Наприклад, якщо акумуляторна батарея здатна при розряді давати 70 А протягом 3 годин, то ємність складає 210 ампер-годин. При силі струму цієї ж батареї тільки в 28 А, для її розряду буде потрібно не 3, а 10 годин, тобто її ємність при цих умовах зростає до  $28 \times 10 = 280$  ампер-годин.

Коефіцієнтом корисної дії акумулятора називають відношення роботи, отриманої при повному розряді, до роботи, витраченої при заряді. Величина цього коефіцієнта коливається у межах від 70 до 80%.

Електричні акумулятори працюють тільки на постійному струмі. Тому в мережах змінного струму перед зарядкою змінний струм перетворюють у постійний, а при розрядці постійний струм акумулятора трансформується в змінний струм мережі. Така подвійна трансформація знижує коефіцієнт корисної дії акумуляторної батареї і збільшує капітальні витрати установки.

*Гідроакумулятори.* Гідроакумулятор представляє силову установку, де енергія вітру або інша енергія перетворюється на потенційну енергію у вигляді піднятої на деяку висоту води, яка при своєму зворотному падінні може здійснювати роботу. Наприклад, вітродвигун розташований в найбільш високій точці, у відкритому для вітру місці і працює на генератор. Одержаний від вітроелектроустановки електричний струм, приводить в рух електродвигун з відцентровим насосом, що подає воду трубопроводом у напірний басейн. При відсутності вітру вода з цього ж трубопроводу надходить у турбіну, яка приводить в рух генератор. Найбільш серйозною спорудою гідроакумуляторної установки є напірний басейн для запасу води. Кількість води, що потрібна на одиницю енергії, що запасується, визначається виходячи з потужності гідротурбіни.

*Теплові акумулятори* – споруда, в якій енергія вітру перетворюється в тепло і зберігається у вигляді гарячої води для підігріву приміщень, або у вигляді пари, що використовується в паровій машині або турбіні чи для опалення. Теплоакумулятор, призначений для опалювальних цілей, будується за наступною схемою. У періоди, коли потужність вітроустановки перевищує навантаження, необхідне для споживачів, надлишок електроенергії направляється в електрокотли, в яких вода нагрівається до пароутворення, а потім використовується в опалювальних системах.

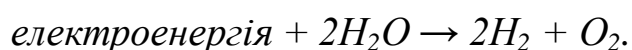
*Акумулятори стислого повітря* – використовують, пружні властивості повітря. Компресоване повітря акумулюється під великим тиском в балонах або резервуарах. Таким чином кінетична енергія вітру за допомогою вітрокомпресорної установки може бути перетворена в потенційну енергію стислого повітря, яку можна використовувати для роботи або машин-знарядь, або повітряних турбін. Робота розширення повітря в двигуні становить не більше 60% від роботи, витраченої на стиск цього повітря в компресорі. Вага акумулятора стислого повітря, незалежно від ступеня його стиснення, дорівнює близько 18 кг на 1 кг повітря.

*Водневий акумулятор.* Великий інтерес для практичного використання представляє водневий спосіб акумулювання. Російський вчений Г.



А. Уфїмцев у 1918 р. запропонував акумулювати енергію вітру шляхом електричного розкладання води па кисень і водень. Кисень використовується для промислових цілей, а водень для спалювання в двигуні внутрішнього згоряння. Так як водень можна запасати в балонах, то представляється можливість акумулювати енергію у вигляді пального водню, який за необхідністю, повинен бути витрачений на роботу теплового двигуна.

На сьогодні технології одержання водню: парова конверсія метану або його часткове окиснення, газифікація вугілля, піроліз, електроліз є енергозатратними, при цьому використовуються запаси газу, нафти та вугілля. Так, енергія, яку одержують з водню видобутого з нафти, у 3,5 рази дорожче, ніж енергія від спалювання бензину. Найпоширеніший в даний час метод електролізу води заснований на реакції:



Електроліз може здійснюватися в рідкій фазі при низькій температурі. Працюють установки низькотемпературного електролізу води потужністю до 3 МВт. Електролітичні ванни обладнані нікелевими електродами, у воду додаються солі калію. ККД процесу електролізу досягає 85%. Для широкого поширення виробництва водню електролізом необхідна дешева електроенергія, яку можна отримувати від нетрадиційних джерел, а також з ТЕС і АЕС в години провалу навантаження.

Метод, який набуває актуальності за останні десятиліття – біологічне виробництво водню. На відміну від хімічних, біологічні процеси відбуваються у водному середовищі при невисокій температурі, тиску та вимагають істотно менше енергетичних затрат. До того ж, ці методи добре підходять для децентралізованого виробництва енергії в невеликих установках на місцях, де утворюються відходи, тому зменшуються витрати на транспортування [10].

Застосування водневого палива в автомобільних двигунах внутрішнього згорання призводить до підвищення їх ККД і різкому поліпшен-

ню екологічної чистоти повітря в містах. Газоподібний водень має низьку щільність, тому його транспортування у балонах привело б до збільшення маси і зниження дальності пробігу автомобілів. Питання вирішується із застосуванням гідридів металів, що зв'язують водень (наприклад, гідриду титана  $TiH_2$ ), які при невеликій масі здатні зв'язувати дуже значні об'єми водню.

Водень є оптимальною сировиною для паливних елементів, в яких електричний струм генерується з хімічної енергії споживаних компонентів, минаючи теплову енергію. Пряме перетворення хімічної енергії в електричну відбувається в паливних елементах без втрат, пов'язаних з необхідністю віддавати частину підведеної теплоти в навколишнє середовище за другим законом термодинаміки, тому паливні елементи мають високий ККД. При їх роботі практично не забруднюється навколишнє середовище. За принципом дії робота паливного елемента протилежна електролізу води.

*Від акумуляторних батарей до суперконденсаторів.* Електрика є надзвичайно універсальною формою енергії, але має один великий недолік: батареї можуть зберігати велику кількість енергії, але для цього потрібно кілька годин зарядки. Конденсатори, з іншого боку, заряджаються майже миттєво, але можуть зберігати невелику кількість енергії. З огляду на те, що в майбутньому перевага буде віддаватися електричним приводам, коли буде потрібно акумулювати і швидко витратити велику кількість електроенергії, цілком імовірно, ми звернемося до суперконденсаторів, які поєднують в собі краще від звичайних батарей і конденсаторів.

Батареї, так і конденсатори призначені для зберігання електрики, але принцип роботи у них абсолютно різний. Батареї мають два електричних контакти (електрода), розділених хімічною речовиною – електролітом. При включенні живлення, хімічні реакції відбуваються за участю обох електродів і електроліту. Ці реакції перетворення хімічних речовин всередині батареї в інші речовини, супроводжуються виділенням електричної енергії. Як тільки ці хімічні речовини виснажуються, реакції

зупиняються, і акумулятор розряджається. У конденсаторах ж застосовується принцип статичної електрики (електростатика), а не хімії для зберігання енергії. Всередині конденсатора розташовані дві ізольовані металеві пластини, що проводять електричний струм та діелектрик, розташованим між ними, так званий, діелектричний бутерброд.

Конденсатори мають багато переваг у порівнянні з акумуляторами: вони важать менше, як правило, не містять шкідливих хімічних речовин і токсичних металів, також їх можна заряджати та розряджати мільярд разів, без зносу. Але у них є і великий недолік: щоб зберегти значну кількість енергії, вам потрібно використовувати величезні металеві плити або ж шукати більш ефективний матеріал для діелектрика.

Вивчення варіанту удосконалення діелектричного матеріалу між металевими пластинами привело вчених у середині 20 сторіччя до суперконденсаторів. Суперконденсатори (часто звані ультраконденсаторами) мають багато спільного і з батареями і з конденсаторами. Як і звичайний конденсатор, суперконденсатор складається з двох пластин, розділених діелектриком. Але пластини виготовлені не з металу, а з пористої речовини, наприклад, порошкоподібного вуглецю, який дає їм ефективно велику площу для зберігання відповідно більшого заряду.

Як і батареї, суперконденсатори мають електроліт, електрично активну хімічну речовину всередині нього, що відділяє його пластини і більше схожий на електроліт в батареї, ніж на діелектрик у звичайних конденсаторах. Електроліт, електрично активний шар суперконденсатора, додає ще один аспект: заряджені пластини поляризують електроліт, змушуючи позитивні іони в ньому рухатися в один бік, а негативні в протилежну, викликаючи наступну систему зарядки, що утворює, так званий, електричний подвійний шар, який дозволяє пластинам зберігати велику кількість енергії. Це, до речі, пояснює, чому суперконденсатори ще називають двошаровими конденсаторами. На відміну від батарей, позитивні і негативні заряди в суперконденсаторах утворюються виключно за рахунок статичної електрики, а не під час хімічних реакцій.

Комерційні версії суперконденсаторів, створені найбільшими компаніями, мають ємності потужністю до декількох тисяч фарад, що все ще є лише частиною (приблизно 10-20 %) електричної енергії, яку можна «упакувати» в батарею. Але велика перевага суперконденсаторів полягає в тому, що вони можуть заряджатися енергією майже миттєво, набагато швидше, ніж батареї. Це пояснюється тим, що суперконденсатор працює шляхом створення статичних електричних зарядів на твердих тілах, в той час як батареї залежать від повільно поточних хімічних реакцій, часто за участю рідин.

Суперконденсатори функціонують за електростатичним принципом, а не через оборотні хімічні реакції, теоретично вони можуть заряджати та розряджати будь-яку кількість. Вони практично не мають внутрішнього опору, що дозволяє розвинути близьку до 100% ефективність їх роботи.

## ВИСНОВКИ

1. За даними Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук України, очікувані обсяги виробництва електроенергії з  $1\text{ м}^2$  перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають  $800\div 1000$  кВт·год/ $\text{м}^2$  за рік. В умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання  $15\div 19\%$  річного об'єму енергії вітру, що проходить крізь перетин поверхні вітроколеса.

2. Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях. Термін ефективної експлуатації геліоенергетичного обладнання в південних областях України – 7 місяців (з квітня по жовтень), в північних областях 5 місяців. Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися практично на протязі всього року.

3. В Україні накопичений певний досвід розробки і дрібносерійного виробництва сонячних колекторів та теплових насосів, які за багатьма параметрами не поступаються сучасному світовому рівню і використовуються в системах для підігріву води.

4. Міні- та мікроГЕС можуть стати потужною основою енергозабезпечення практично для всіх регіонів України, однак в Україні повністю не використовуються техногенні і стичні води.

5. На сьогоднішній день в Україні практично відсутні дослідження і розробки спрямовані на використання незатребуваною або надлишковою (весною та літом) теплової енергії теплових насосів і сонячних колекторів, тобто, така тепла енергія потрапляє в категорію втрат, тому перспективним є перетворення цієї теплової енергії в електричну з використанням електричних нагрівачів для підтримки характеристик системи теплопостачання і компенсації втрат.

6. Значний потенціал втрачаємої енергії на підприємствах вугільної промисловості в основному відноситься до виділення пластового газу – метану та втрат теплової енергії шахтних вод у підземних водоз-

бірниках або в поверхневих відстійниках. В металургійній галузі можливості використання втрачаємої енергії сконцентровані в розробці технологій та технічної реалізації способів та пристроїв утилізації технологічних горючих газів (як відходів) та перетворення в електричну кінетичну та потенціальну енергій технологічних стичних вод.

7. По мірі збільшення витрат на видобуток палива і виробництва енергії зростає необхідність у більш повному використанні їх при перетворенні у вигляді горючих газів, тепла нагрітого повітря і води. Хоча утилізація ВтЕР нерідко пов'язана з додатковими капітальними вкладеннями і збільшенням чисельності обслуговуючого персоналу, досвід передових підприємств підтверджує, що використання ВтЕР економічно дуже вигідно.

8. Енергетичний потенціал в аграрному секторі представлено такими основними складовими – енергетичним потенціалом тваринницької і рослинної сільськогосподарської діяльності. В Україні існує достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і необхідна науково-технічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики. Показники енергетичного потенціалу біомаси відрізняються від потенціалу інших відновлюваних джерел енергії і в значній мірі залежить від рівня господарської діяльності.

9. Показники енергетичного потенціалу в аграрному секторі відрізняються від потенціалу інших відновлюваних джерел енергії тим, що, окрім кліматометеорологічних умов, енергетичний потенціал в аграрному секторі в значній мірі залежить від багатьох інших факторів, в першу чергу від рівня господарської діяльності.

10. Основними технологіями переробки біомаси, які можна рекомендувати до широкого впровадження в даний час є: пряме спалювання, піроліз, газифікація, анаеробна ферментація з утворенням біогазу, виробництво спиртів та масел для одержання моторного палива.

11. Економічна ефективність шляхів отримання енергоносіїв в аграрному секторі в більшості випадків забезпечується правильним вибором технології переробки відходів сільськогосподарської діяльності та

розташуванням обладнання в місцях постійного їх накопичення. Підвищення ефективності отримання енергоносіїв в аграрному секторі також забезпечує комплексне, по можливості, використання всіх отриманих в процесі переробки продуктів.

12. При добовій і сезонній нерівномірності виробітку електроенергії нетрадиційними і відновлюваними джерелами енергії значна економія традиційних енергоносіїв може бути досягнута шляхом акумулювання енергії, виробленої в періоди її мінімального споживання. Розрізняють буферні та ємнісні акумулятори енергії: буферні здатні запасати і віддавати споживачеві накопичену енергію в короткі проміжки часу, які обчислюються секундами, хвилинами і до однієї години; ємнісні здатні запасати і віддавати споживачеві накопичену енергію протягом тривалого часу - до декількох годин.

13. При застосуванні акумуляторів в енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії виконуються такі основні функції: забезпечення безперебійного енергопостачання споживачам за рахунок накопичення надмірної енергії та подальшого її використання в період відсутності або недостачі; забезпечення оптимального режиму роботи джерел енергії та споживачів за рахунок згладжування коливань в енергомережі; підвищення потенціалу енергії до необхідного при накопиченні низькопотенціальної енергії; перетворення енергії одного виду в інший відповідно до потреб споживача.

14. Для акумулювання енергії нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії можна використати: електрохімічні акумулятори; теплові акумулятори; акумулятори на основі зворотних фазових переходів; акумулятори на основі зворотних хімічних реакцій; акумулятори, що працюють при переробці палива за рахунок його збагачування; акумулятори, що працюють на основі водню.

15. Акумулювання енергії на основі водню має великі перспективи; з енергетичної точки зору, водень - це альтернатива нафті та природному газу, при цьому: запаси водню в складі води практично невичерпні; теплота згорання водню в кілька разів вища, ніж у природних газів;

водень, як паливо, може бути використаний для отримання теплової та електричної енергії, а також у двигунах різного виду; водень-екологічно чисте паливо.

16. Енергозбереження та енергоефективність в Україні, як і в усьому світі, повинно вирішуватися комплексно на основі:

- розробки й прийняття відповідних законів;
- використання розумної податкової політики та субсидування;
- правильної і правдивої пропаганди.



## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Актуальные вопросы нетрадиционной энергетики и энергоснабжения: Энергоснабжение и экология. - Одесса: "Банто", 2000.- 92с.
2. Александров И.А. Возможности использования нетрадиционных источников энергии в Украине и Донбассе/ И.А.Александров, Ю.Н.Сокальская // Энергосбережение.- 2001. -N5.- С.15-21.
3. Андреев Е.И. Основы естественной энергетики. — СПб: Издательство «Невская жемчужина», 2004. — 584 с.
4. Бегаль, В.Н. Розвиток вітроенергетики Запорізького регіону / В.Н. Бегаль // Энергосбережение. – 2011. – № 6. – С. 22 – 23.
5. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 317с.
6. Відновлювана енергетика ХХІ століття : матеріали 10-ї ювілейної міжд. наук.–практ. конф., 14 – 18 вересня 2009 р., А Р Крим, смт. Миколаївка. – 396 с.
7. Відновлювана енергетика ХХІ століття : матеріали ХХІ міжд. наук.-практ. конф., 12 – 16 вересня 2011 р., А Р Крим, смт. Миколаївка. – 487 с.
8. Відновлювана енергетика ХХІ століття : матеріали ХХІ міжд. наук.–практ. конф., 13 – 17 вересня 2010 р., А Р Крим, смт. Миколаївка. –415 с.
9. Гатауллина А.Р. Утилизация энергии избыточного давления транспортируемого газа в детандер- генераторных агрегатах / А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина, Р.А. Молчанова // Сборник трудов XVIII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность» – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет , 2012. – С. 171 – 174.
10. Голуб Н.Б., Жураховська Д.І., Пересипкіна Н.В. Вплив якісного складу сільськогосподарської сировини на процес одержання водню. Відновлювана енергетика ХХІ століття [Текст]: матеріали ХІІІ міжнар. наук.-практ. конф. – Крим 2012. – С. 569 – 574.
11. Дзензерский, В.А. Ветроустановки малой мощности / В.А. Дзензерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков. -- К.: Наукова думка, 2011. – 592 с.

12. Калетнік Г.М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України: навч. посібник / Г.М. Калетнік, В.М. Пришляк. –К: Аграрна наука, 2010. –327 с.
13. Калугин П.В. Применение теплонасосных установок // Тепловые насосы. Энергосбережение, экология, эффективность // Сб. докл. Первой Международной конференции. Львов. – Днепропетровск, 2007. – С. 48-87
14. Карелин В.Я. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций [текст]/ Карелин В.Я., Волшаник В.В. –М.: Энергоатомиздат, 1986. – 199 с.
15. Киричок, А.С. Возобновляемые источники энергии / А.С. Киричок // Энергосбережение. – 2011. – № 12. – С. 4 – 6.
16. Ковалко М.П. Електрозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України [текст]/ М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – Київ: УЕЗ, 2005. – 506 с.
17. Конеченков, А.Е. Современная ветроэнергетика: пути развития / А.Е. Конеченков // Энергосбережение. – 2010. – № 5, С. 15 – 17..
18. Конохов, Н.Н. Комплексное развитие ветроэнергетики и угольной промышленности в Донбассе/ Н.Н. Конохов, С.И. Цыхмистро // Энергосбережение. – 2011. – № 6. – С. 20 – 21.
19. Костогризова Н.О., Шкляр В.І., Дубровська В.В. Оцінка виробництва вітрової електроенергії в Україні. Відновлювана енергетика ХХІ століття. [Текст]: матеріали ХІV міжнар. наук.-практ. конф. – Крим 2013. – С.331-333.
20. Кудря С.О. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України [текст]/ Кудря С.О., Резцов В.Ф., Суржик Т.В., Яценко Л.В. та ін. // К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2010. –71 с.
21. Кудря С.О., Пепелов О.В. Стан розвитку відновлюваної енергетики у світі. Відновлювана енергетика ХХІ століття. [Текст] : матеріали ХІV міжнар. наук.-практ. конф. – Крим, 2013, –С. 27 – 28.
22. Ласкорин Б.Н. Безотходная технология минерального сырья [Текст] / Ласкорин Б.Н - М.: " Недрa", 2004г. - 334с.
23. Лежнева, Л.И. Крымское солнце/ Л.И. Лежнева // Энергосбережение. – 2011. – № 6. – С. 12 – 14.

24. Луданов, К.І. Новий спосіб перетворення енергії – основа водневої теплоенергетики / К.І. Луданов // Енергетика та Електрифікація. – 2011. – № 2. – С. 55 – 58.
25. Лукутин Б.В. Использование механической энергии возобновляемых природных источников для электроснабжения автономных потребителей [текст]/ Лукутин Б.В., Сипайлов Г.А. – Фрунзе.: Илим, 1987. –135 с.
26. Майоров, К. Ветроэнергетика Украины / К. Майоров // Энергосбережение. – 2012. – № 10. – С. 17 – 20.
27. Пятничко В.А. Утилизация низкопотенциального тепла для производства электроэнергии на компрессорных станциях [текст]/ В.А. Пятничко, Т.К. Крушневич, А.И. Пятничко // Экотехнологии и ресурсосбережение. –2003. – №4. –С. 3-6.
28. Рихтер Л.А. Вторичные энергетические ресурсы черной металлургии и их использование [Текст] / Рихтер Л.А. - К.: " Высшая школа", 2008г. - 328с.
29. Сохацька, О.М. Сучасні тенденції на світовому ринку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії / О.М. Сохацька, Н.Є. Стрельбіцька // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит – 2011. – № 11(93). – С. 38 – 52.
30. Табаченко Н.М. Ветроэлектрическая станция на закрываемых шахтах [текст]/ Н.М Табаченко//Уголь. –2002. –№12. – С.22-24.
31. Твайделл Дж., Уэйр А.. Возобновляемые источники энергии.- М.: Энергоатомиздат, 1990. – 389 с.
32. Толочко А.И. Защита окружающей среды от выбросов предприятий черной металлургии [Текст] / Толочко А.И. - М.: " Металлургия" 2001г. - 95с.
33. Точеный В.А., Тучинский Б.Г., Иванченко И.В. Эффективность налоговой политики в возобновляемой энергетике Украины (на примере ветроэнергетики). Відновлювана енергетика ХХІ століття [Текст]: матеріали ХІV міжнар. наук.-практ. конф. – Крим, 2013. –С. 20-32.
34. Халамиренко, И.В. Экологические проблемы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / И.В. Халамиренко // Энергосбережение. – 2011. – № 12. – С. 20 – 21.
35. Худяков, В.В. Возобновляемые источники энергии / В.В. Худяков //Электричество. – 2011. – № 10. – С. 35-40.

36. Чемерис И.Ф. Использование энергетического потенциала шахтной вентиляционной струи [текст]/ И.Ф. Чемерис, Ю.И. Оксень, Б.В. Бокий // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. –2006. – Вып. 67. – С.359-370.

37. Чернобровкін, А.В. Використання відновлюваних джерел електроенергії на об'єктах держгідрографії / А.В. Чернобровкін // Энергосбережение. – 2011. – № 6. – С. 24 – 27.

38. Шаимова, Л.М. Использование биомассы - радикальное решение проблем экологии и энергетики [Текст] / Л.М. Шаимова, Л.А. Насырова, Р.Р. Фасхутдинов, М.М. Шаимов // Междунар. науч. журн. "Альтернативная энергетика и экология". – 2012. – № 05-06. – С.175-181.

39. Шуклин, Л.И. Автономное энергообеспечение на основе вторичных и низкопотенциальных энергетических ресурсов / Л.И. Шуклин // Энергосбережение. – 2001. – № 6. – С. 14–16.

40. Яковлев А.И., Жаданова В.А., Долженко М. В. Бесплотинные гидроэнергетические установки преобразования энергии малых рек и морей. Відновлювана енергетика ХХІ століття [Текст]: матеріали ХІІІ між нар. наук.-практ. конф. – Крим, 2012. –С. 444 – 451

41. Chmielniak ,T. Technologie energetyczne. Wydawnictwa Naukowa-Techniczne, Warszawa. – 2008. –564 s.

42. Klein S.A. A method of simulation of solar processes and its application // Solar energy. – 1975. – Vol. 17. № 1

43. Klein S.A. Calculation of flat-plate collector utilizability // Solar energy. – 1978. – Vol. 21. № 6.

44. Paska, J. Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa . – 2010. – 240 s.

## З М І С Т

ВСТУП .....	3
1 ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОЇ МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У РЕГІОНАХ УКРАЇНИ .....	6
1.1 Види паливно-енергетичних ресурсів та енергоносіїв .....	6
1.2 Потенціал відновлюваних джерел енергії .....	17
1.3 Законодавчі і тарифні умови в Україні для відновлюваних джерел енергії.....	38
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ І ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОГЕННИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ЕНЕРГОЄМНИХ ПІДПРИЄМСТВ .....	41
2.1 Основні види вторинних енергоресурсів.....	41
2.2 Способи використання вторинних енергоресурсів .....	46
2.3 Вторинні енергетичні ресурси паливо-енергетичного комплексу .....	54
2.4 Показники використання вторинних енергоресурсів .....	63
3 ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ І ШЛЯХІВ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГОНОСІЇВ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ .....	67
3.1 Виробка енергії з біомаси.....	67
3.2 Сільськогосподарські відходи тваринництва .....	80
3.3 Подальший розвиток аграрної енергетики .....	84
4 УМОВИ І СПОСОБИ АКУМУЛЯЦІЇ ЕНЕРГІЇ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ .....	87
4.1 Загальні відомості .....	79
4.2 Акумуляція енергії відновлюваних джерел .....	92
ВИСНОВКИ .....	101
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ .....	105

Наукове видання

**ПІВНЯК** Геннадій Григорович

**ШКРАБЕЦЬ** Федір Павлович

# **АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА В УКРАЇНІ**

Монографія

*Друкується у редакційній обробці авторів.*

Підп. до друку 05.12.2013. Формат 30x42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 6,1.  
Обл.-вид. арк. 5,9. Тираж 60 прим. Зам. № .

Підготовлено до друку та надруковано  
у Державному ВНЗ "Національний гірничий університет".  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК.№1842 від 11.06.2004.

49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19