

## ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

**Бунецький В.А.**<sup>1,2</sup>, експерт у галузі біоенергетики та пелетного виробництва, керівник інжинірингової компанії у галузі перероблення біомаси, аспірант, **Калініченко В.М.**<sup>3</sup>, к.с.-г.н.,

<sup>1</sup> - ТОВ ВМ-Engineering, ул. Пироговського Олександра, 18, Київ, 03110, Україна

<sup>2</sup> - Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Московський пр., 45, Харків, 61002, Україна

<sup>3</sup> - Полтавська державна аграрна академія, вул. Сковороди, 1/3, Полтава, 36003, Україна

**Резюме.** У статті розглянуто передумови та перспективи розвитку енергетичної системи України за використання підходів розподіленої енергетики, яка базуватиметься на малих та середніх генерувальних потужностях, переважно з використанням відновлюваних джерел енергії. Сформульовано основні підходи до розроблення територіальних енергетичних комплексів (ТЕК), як первинної ланки загальнодержавної енергетичної системи. Вперше запропоновано сучасний методологічний підхід до створення ТЕК та до основних етапів їх побудови.

**Аннотация.** В статье рассмотрены предпосылки и перспективы развития энергетической системы Украины с использованием подходов распределенной энергетики, базой которых будут малые и средние генерирующие мощности, преимущественно работающие на возобновляемых источниках энергии. Сформулированы основные подходы к разработке территориальных энергетических комплексов (ТЭК), как первичного звена общегосударственной энергетической системы. Впервые предложен современный методологический подход к созданию ТЭК и к основным этапам ее строительства.

**Abstract.** In the article where considered Ukrainian energy system development preconditions and prospects with distributed energy approaches using. They are basing on using mainly small-scale energy generating capacities that basically work with renewable energy sources. For the first time where formulated the main approaches to the Territorial Energy Complexes (TEC) development as the primary cell of the national energy system. The modern methodological approach was proposed to the main stages of TEC's development.

**Ключові слова:** розподілена енергетика, біомаса, пелети, територіальний енергетичний комплекс, сталий розвиток, відновлювані джерела енергії, геоінформаційні технології, тепла енергія, електрична енергія, альтернативна енергетика.

**Ключевые слова:** распределенная энергетика, биомасса, пеллеты, территориальный энергетический

комплекс, устойчивое развитие, возобновляемые источники энергии, геоинформационные технологии, тепловая энергия, электрическая энергия, альтернативная энергетика.

**Key words:** distributed energy, biomass, pellets, Territorial Energy Complex, sustainable development, renewable energy sources, geographic information technologies, thermal energy, electric energy, alternative energy.

Бібл. 10, табл. 1, рис. 1.

Відродження сучасної енергетичної системи України потребує кардинального інституційного переформатування структури та підходів до функціонування. Підґрунтям її розвитку повинна стати розподілена генерація, що використовує енергетичні установки малої та середньої потужності, спрямовані на кінцевого споживача. На відміну від системи енергопостачання, яка існує натеper, та яку забезпечують традиційні джерела енергії, джерелом оновленої енергетики повинні стати такі генерації ні потужності: сонячні колектори, вітрові електростанції, теплові насоси, когенераційні установки на біогазі, ТЕЦ на біопаливі, та інші локальні потужності енергогенерації, які треба об'єднати у самокеровані локальні «розумні мережі» (smart grid), які повинні стати невід'ємною частиною загальної енергетичної системи України.

Сучасний стан енергетичного господарства України ніякою мірою не відповідає основним вимогам промислових та приватних споживачів до енергопостачання: надійності, якості, сталості, адекватній вартості. Зношеність енергетичних потужностей, застаріла технологічна структура призводять до неефективних витрат на підтримання обладнання у працеспроможному стані та невідворотного зростання вартості всіх видів енергії. Крім того постійно зростають витрати на підтримання роботи енергетичного обладнання та обслуговуючих систем енергопостачання. Ще на 2012 рік 94,5% енергоблоків ТЕС та ТЕЦ перевищили межу свого технічного ресурсу (200 тис. годин наробітку) та потребують термінової модернізації або заміни. [1]. На тепер у зв'язку з майже відсутністю капітальних інвестицій ситуація у енергетичному секторі лише погіршилась.

Наразі модернізації потребує абсолютна більшість об'єктів систем теплогенерації та теплопостачання. За даними Мінрегіонбуду, основне та допоміжне обладнання котельень практично вичерпало припустимі терміни експлуатації (у 57% котельень термін експлуатації перевищує 20 років), у діючих котлів низький ККД (60 ÷ 80%) та застарілі засоби автоматики. Це призводить до значних втрат палива (на 20% вищих ніж середньосвітовий рівень). Близько 40% центральних теплових пунктів і близько 14% теплових мереж знаходяться у зношеному та аварійному стані, що є причиною наднормативних втрат теплової енергії (втрати у магістральних і розподільчих мережах разом складають 30% від відпущеної теплової енергії). Загалом, рівень енергоефективності лише енергогенеруючих компаній України складає лише 31,0% від рівня країн ЄС [2].

Сучасний рівень ефективності опалення та гарячого водопостачання по Україні складає лише

52,0 % від рівня країн ЄС. При цьому треба звернути увагу на значну різницю в рівнях ефективності за регіонами країни: від 83 % у Вінницькій області до 37 % у м. Києві [2]. Стан теплових мереж у містах та невеликих містечках ще гірший. Теплові втрати на теплотрасах за деякими розрахунками оцінюють у 43-55 % від загального енерговмісту спаленого палива [3].

Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, Енергоефективність, Конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 [4], передбачає значне реформування Об'єднаної енергетичної системи України (ОЕСУ). Але виникають значні сумніви щодо того, чи зможе працювати ОЕСУ до 2035 року?

Отже до терміну реалізації стратегії необхідно розробити та впровадити нові підходи до енергетичного забезпечення територіальних громад. Очевидно, що стійка, надійна та енергоефективна система теплопостачання повинна передбачати оптимальне поєднання централізованих систем теплопостачання з автономними засобами опалення. З досвіду північноєвропейських країн відомо, що централізовані системи теплопостачання ефективно використовують у місцях з високою концентрацією населення та інших об'єктів теплопостачання – у великих містах та промислових зонах. Для них характерна висока економічність виробництва теплової енергії, низький рівень забруднення довкілля, значна енергоефективність. Автономні та індивідуальні засоби опалення більш ефективні для невеликих населених пунктів, які віддалені від потужних генераторів теплової енергії, а також для нового комунального будівництва. Орієнтування на використання місцевих видів біопалива та альтернативні технології отримання теплової та електричної енергії дозволить не тільки зменшити витрати на їх генерування, але й підвищити рівень енергетичної безпеки, зменшить екологічне навантаження на довкілля, збільшити зайнятість місцевого населення. Також це дозволить значно зменшити вплив енергетичних монополій на ціноутворення для теплопостачання. Формування ціни у разі використання прогресивних технологій залежатиме лише від конкурентних умов як на ринку різних видів палива, так і на ринку теплогенеруючого обладнання. На кінцеву ціну теплової енергії впливає значна кількість факторів. Визначальними є енергоефективність теплогенеруючого обладнання, стан теплових мереж та насамперед паливна складова, яка має найбільшу питому вагу в структурі тарифу - від 53 до 85 % [5].

Створення територіальних енергетичних комплексів (ТЕК) може бути ефективним інструментом впровадження в Україні принципово нової ефективної енергетичної системи. Метою створення таких комплексів є:

- часткова відмова від використання викопного палива на потреби комунальної теплоенергетики та виробничі потреби;
- підвищення надійності теплопостачання, зниження питомої вартості вироблення та доставляння одиниці енергії кінцевому споживачеві;
- поліпшення екологічної ситуації в регіоні за рахунок повного перероблення та утилізування всіх видів біомаси: відходів деревооброблення, сільського господарства, переробної та меблевої

промисловості, порубкових залишків, органічних твердих побутових відходів та мулу з очисних споруд каналізаційних стоків;

- сприяння розвитку ринку сертифікованого біопалива, перехід від «стихийного» ринку до європейських норм і правил поведження з пеленою продукцією;
- розширення частки «зеленої» енергетики в енергобалансі України [6];
- повний біорефайнінг біосировини із вироблянням органічних добрив (біочару) та іншої цінної органічної продукції;
- підвищення зайнятості населення за рахунок створення додаткових робочих місць у новій галузі.

Проектування та розроблення ТЕК доцільно виконувати за такими стратегічними принципами:

- *системний підхід*: підбирання та розроблення відповідних механізмів, агрегатів та обладнання не для виконання окремих технологічних операцій, а системно – як складової частини науково обґрунтованих технологій перероблення біомаси та виробляння енергії. Дуже важливо при цьому спиратися на обсяг наявної сировини та можливості її гарантованого постачання;
- *використання геоінформаційних технологій* для аналізування можливостей територій навколо населених пунктів, для територіальних громад яких проектують ТЕК. Необхідно заздалегідь визначити: потенціал сировини для забезпечення роботи відновлюваних джерел енергії, оптимальне розташування об'єктів енергетичного комплексу з огляду на відстань до наявної сировинної бази, переробних підприємств та основних споживачів теплової енергії;
- *використання індустріальних технологій* виробляння альтернативних видів біопалива для підвищення продуктивності та зниження собівартості отримання енергії кінцевими споживачами.

### **Розроблення ТЕК пропонуємо виконувати у такому порядку:**

#### *Етап 1. Аналіз потенціалу різних альтернативних джерел енергії*

Енергетичний потенціал сонячної енергії досліджено у багатьох роботах, зокрема Інституту відновлюваної енергетики НАН України. Згідно карт інтенсивності сонячного випромінювання вся територія України придатна для розбудову об'єктів сонячної енергетики [6]. Обмеженням для встановлення геліосистем можуть бути лише орієнтація будинків за сторонами світу та наявна площа покрівель (територій), придатних для встановлення сонячних колекторів. Використання інформації щодо географічних зон України, залежно від інтенсивності для них сонячної радіації, дозволяє швидко оцінити її можливості для кожного населеного пункту, та визначити загальний відсоток будівель, що потенційно придатні для встановлення геліосистем.

Визначення потенціалу біомаси та можливостей її використання у ТЕК є більш складною задачею. Для її вирішення необхідно враховувати такі основні фактори:

- наявний потенціал біомаси (види, спосіб її перероблення та отримання з неї енергії, необхідність підготування для подальшого спалювання – перероблення первинної біомаси в різні

види палива);

- фактичну та прогнозовану потребу у тепловій/електричній енергії та наявність генеруючих потужностей (розташування об'єктів, їх потужність, наявні технології спалювання та технологічна можливість переходу на альтернативні види палива);

- логістику постачання палива до місця його використання та зберігання (розташування та обсяги основних джерел біомаси відносно об'єктів енергозабезпечення, переробних підприємств, складів для зберігання, шляхів постачання та їх стану (можливості перевезення сировини та готового біопалива до місць призначення за будь-якої погоди та ін.), потужність переробних підприємств та можливості складів).

Важливо також визначити призначення територій, для енергозабезпечення яких необхідно виробляти теплову та електричну енергію. Вони можуть відрізнятися за формою власності (державні, приватні, громадські), призначенням (природоохоронні, сільськогосподарські, лісогосподарські, та інші види охоронних територій). Застосування геоінформаційних технологій значно полегшує такий аналіз, дозволяє виконувати оптимальне довго- та середньострокове планування розвитку територій з комплексним урахуванням вищезазначених факторів.

*Етап 2. Складання енергетичного балансу території. Розроблення схеми територіального енергетичного комплексу.*

Планування та розрахування ТЕК необхідно базувати на результатах попереднього аналізу територій з орієнтуванням на оптимальне використання їх наявного потенціалу. ТЕК - це поєднання різних технологій відновлюваної енергетики з традиційною шляхом підключення усіх джерел електрогенерації до Єдиної енергетичної системи України. Керування системою необхідно здійснювати за допомогою комп'ютерних засобів «розумних» мереж - Smart Grid.

Під час розроблення концепції ТЕК необхідно окремо створювати такі підсистеми, що використовують принципово різні технології та джерела енергії:

- сонячна енергетика;
- використання енергії низькотемпературних джерел тепловими насосами;
- біогазові технології з когенераційними установкам;
- МініТЕЦ на біомасі;
- технології піролізу біомаси з подальшим спалюванням отриманого газу;
- локальні енергогенеруючі потужності на традиційних видах палив. Такі потужності можна у разі потреби використовувати для підвищення загальної потужності ТЕК. Але більш важливим завданням є стабілізація виробництва енергії з відновлюваних джерел;
- системи акумулювання енергії (для стабілізації режимів роботи системи у режимах пікових

навантажень та резервування надлишкової енергії.

У проекті кожної підсистеми необхідно враховувати особливості застосування різних технологій, їх переваги та недоліки, вартість енергії, яку будуть виробляти джерела кожного виду з урахуванням витрат на всіх етапах процесів генерування та підготування палива для генерації біоенергії. Наприклад, для твердого біопалива (табл. 1) створення повного циклу перероблення первинної твердої біомаси зменшує вартість отриманої кінцевої теплової енергії за рахунок використання якісного та енергоємного палива, зменшення логістичних витрат та впливу на довкілля.

**Таблиця 1. Недоліки використання первинної біомаси для генерації теплової енергії [7]**

п/п	Первинна біомаса (недоліки)	Гранульоване біопаливо (переваги)
1	Складність зберігання та транспортування біомаси з низькою насипною щільністю та незначним терміном зберігання через швидку втрату споживчих властивостей.	Стандартне пакування (біг-беги), зручне транспортування, тривалий термін зберігання без зниження споживчих властивостей. Висока насипна щільність (600-800 кг/м <sup>3</sup> ). Паливні гранули повільно набирають вологу з довкілля та не змерзаються взимку.
2	Різний розмір шматків деревини (гілки, пні, відходи деревообробки, кора, деревні залишки різного розміру). Висока зольність.	Стандартний розмір пелет відповідно до класу А1 або А2, однорідність, стандартні зольність, вологість та теплотворна здатність
3	Низька ефективність та екологічна шкода довкіллю у процесі спалювання.	Висока ефективність та екологічна чистота спалювання (0,3-2% золи, теплотворна здатність 16-19,5 МДж/кг).
4	Для виробництва 1 ГВт*год енергії необхідно спалити 1200-1800 м <sup>3</sup> подрібненої біомаси.	Для виробництва 1 ГВт*год енергії необхідно спалити лише 385 м <sup>3</sup> пелет.
5	Висока пористість та вологість використовуваної біомаси (30-50%). Причина - капілярно-пориста природна структура рослинної біомаси.	Стандартна вологість пелет 6-8%.
6	Необхідність попереднього підготування палива до спалювання. Наявність домішок та неорганічних забруднень.	Повна готовність до вживання. Відсутність домішок та забруднень.
7	Можливість використовувати тільки деревне паливо і, меншою мірою, соломку, кукурудзяні качани та деякі інші види первинного палива.	Пелети можна виготовляти з широкого спектру біосировини. Тому сировинна база для їх вироблення значно більш різноманітна, ніж просто відходи деревини.
8	Необхідність ручного завантаження палива в котел.	Можливість автоматизації спалювання палива і його завантаження в котел.

Саме тому для ефективної роботи ТЕК необхідно, щоб до його складу входили різні виробництва, які зможуть забезпечити замкнутий цикл від вироблення (вирощування) біосировини до постачання кінцевому користувачу енергії та супутньої високотехнологічної продукції. Енергетична ланка, що використовує в якості палива тверду біомасу, повинна охоплювати всі 5 переробів

біосировини (рис. 1).



Рисунок 1. П'ять переробів біосировини [8]

1-й перероб: вирощування, заготівля та зберігання біосировини різного виду.

2-й перероб: перероблення біосировини та виготовлення паливних пелет (брикетів), у т.ч. торефікованих.

3-й перероб: двостадійне спалювання біопалива з отриманням теплової енергії, деревного вугілля (біочару).

4-й перероб: генерація електроенергії та її передавання в Енергоринок за «зеленим» тарифом.

5-й перероб: вироблення конструкційних матеріалів, органічних добрив та хімічної продукції повного біорефайнінгу біосировини.

Такий же комплексний підхід необхідно застосовувати і для біогазових установок (БГУ). Потужність БГУ залежить не тільки від їх розмірів, але й, значною мірою, від складу біомаси, що підлягає піролізу, а також якості її підготування. Виважені рішення, використані для проектування всіх компонентів установки, дозволять збалансувати необхідну потужність БГУ, виходячи з потреб споживача та потенціалу наявної біомаси.

Створення ТЕК вперше запропоновано виконувати у такому порядку:

*Етап 1. Виконання економічних та екологічних розрахунків, розроблення та обґрунтування бізнес-плану.*

Одним із основних завдань створення ТЕК є зменшення для споживачів кінцевої ціни енергії. Тому важливо порівняти та оцінити різні технології вироблення енергії. У такому оцінюванні необхідно враховувати капіталомісткість енергетичних об'єктів та всієї інфраструктури, вартість сировини та вартість кінцевої енергії. Зокрема Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) та багато інших авторитетних організацій застосовують метод розрахунку LCOE (Levelized Cost of Energy - метод ранжування вартості енергії протягом життєвого циклу обладнання) у тис. грн. Основна розрахункова формула даного методу якого має вигляд [9, 10]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{(I_t + M_t + F_t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

де  $(1+r)^t$  - дисконтуючий множник для року  $t$ , що відображує грошові надходження до основних платежів – (The discount factor for year  $t$  that reflecting payments to capital);

$t$  – номер року розрахунку;

$I_t$  – вартість загальних капітальних вкладень у рік  $t$ , тис. грн. - Total capital construction costs in year  $t$ ;

$M_t$  – експлуатаційні та поточні витрати у рік  $t$ , тис. грн. - Operation and maintenance costs in year  $t$ ;

$F_t$  – вартість палива у рік  $t$  - Fuel costs in year  $t$ ;

$E_t$  – обсяг електроенергії, виробленої у рік  $t$ , МВт\*год, який вважають постійним - The amount of electricity produced in MWh, assumed constant.

Крім того, додатково необхідно враховувати також інші фактори: зменшення екологічного навантаження (утилізація відходів тваринництва, рослинництва переробної промисловості, стічних вод та ТПВ), зайнятість населення (податки у місцевий бюджет), отримання сировини для органічного землеробства (біогумус з біогазових установок, біочар і т.ін.).

#### *Етап 2. Реалізація проекту ТЕК.*

На етапі реалізації ТЕК керівництво територіальної громади мусить створити сприятливий інвестиційний клімат, на додаток до державних програм енергоефективності передбачити кошти з місцевого бюджету стимулювання інвестицій. Крім того мати координаційний орган, який розробить та буде реалізовувати загальну стратегію та поетапний план реалізації окремих підпроектів. Повна реалізація проекту ТЕК вимагає досить значних капіталовкладень, тому необхідно залучати не тільки кошти громади, але й приватні інвестиції зацікавлених місцевих підприємств та агрофірм, енергосервісних фірм, місцевого населення та сторонніх інвесторів, а також кредитні ресурси та ресурси екологічних та інших фондів.

Висновки та перспективи подальших розробок:

Концепцію розробляння та впровадження розподіленої генерації, у якій вперше запропоновано використання енергогенеруючих установок малої потужності з використанням відновлюваних та традиційних джерел енергії, спрямовано на забезпечення сталого розвитку територій. Вона має багато екологічних, економічних та безпекових переваг перед традиційною



концепцією використання централізованої енергосистеми. Розподілена генерація передбачає об'єднання малих генеруючих потужностей у єдину «розумну» мережу. Елементами загальнодержавної мережі повинні стати територіальні енергетичні комплекси.

Об'єднання всіх етапів вироблення енергії та палива в єдиному ТЕК дозволить суттєво зменшити собівартість енергії і вирішити такі важливі технічні, економічні та соціальні задачі:

- зменшення екологічного навантаження на довкілля за рахунок зниження викидів CO<sub>2</sub> порівняно із спалюванням традиційних видів палива;
- утилізуванню відходів тваринництва, рослинництва, переробної промисловості, стічних вод та твердих побутових відходів, у чому зацікавлені власники сировинної бази та комунальні підприємства. Це дозволить їм отримати додатковий прибуток, а також зменшить рівень невдоволення населення, яке виникає на ґрунті екологічного забруднення територій, прилеглих до тваринницьких ферм та переробних підприємств;
- підвищення енергетичної безпеки територіальних одиниць за рахунок диверсифікації джерел енергії, зменшення залежності від зношеної інфраструктури енергетичних монополій;
- отримання регіональними органами влади реальних інструментів формування цінової політики та енергетичної стратегії для забезпечення населення якісними комунальними послугами (на відміну від диктату енергетичних монополій);
- створення цивілізованого ринку твердого біопалива - сертифікованих пелет та брикетів;
- підвищення зайнятості місцевого населення, що дасть можливість покращити якість життя, та збільшить податки до місцевих бюджетів.

У подальшому, технології вироблення твердого біопалива будуть розвиватися, ставати більш енергоефективними, що призведе до здешевлення усієї продукції біорефайнінгу біомаси, а значить і до здешевлення виробленої «зеленої» електроенергії, та всієї продукції, яку вироблятимуть ТЕК.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *С.О. Кудря.* Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. <http://ive.org.ua/wp-content/uploads/2012/06/%D0%9A%D1%83%D0%B4%D1%80%D1%8F-22.04.2012-FINAL.pdf>, 2012. – 33 с.
2. *В.О. Бараннік.* Енергоефективність регіонів України: проблеми оцінки та наявний стан, Регіональний філіал у м. Дніпро, Інститут стратегічних досліджень. <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/energoefekt-5secc.pdf>, 2017. - 26 с.
3. *С. Парасочка* Про комунальне теплопостачання, опалення житлових будинків та енергоефективність, "НВЦ Теплокомплект", м. Полтава. [http://tecom.com.ua/pro-komunalne-](http://tecom.com.ua/pro-komunalne)

teplostachannya-opalennya-zhitlovih-budinkiv-ta-energoefektivnist.html, 2016. – 10 с.

4. Энергетична стратегія України до 2035 року «Безпека, Енергоефективність, Конкурентоспроможність» Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р., Київ. <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>, 2017. – 66 с.

5. Д. Кравченко, «Як зміняться тарифи на гарячу воду та тепло для киян?», Українська правда [https://kiev.pravda.com.ua/publications/57760d7c5d1e0/view\\_print/](https://kiev.pravda.com.ua/publications/57760d7c5d1e0/view_print/), 2016. – 7 с.

6. Проект Дорожньої карти розвитку відновлюваної енергетики України на період до 2020 року, затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.10.2014 № 902-р <http://saee.gov.ua/uk/pressroom/1133>, <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>, 2014. - 11 с.

7. В. Бунецький, «Вертикально інтегрований енергохолдинг – залог енергонезависимости и энергоэффективности страны», сайт компанії ВМ-Engineering <http://www.bm-biomass.com/?p=1547>, 2016. – 17 с.

8. В. Бунецький, Тверде біопаливо. Необхідність галузевого рішення <http://ittf.kiev.ua/konferency/2017-nan-ukra%D1%97ni-ye-organizatorom-abo-spiorganizatorom/x-mizhnarodna-konferenciya-problemi-teplofiziki-ta-teploenergetiki/programa/>, 2017, X Міжнародна конференція «ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОФІЗИКИ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ», 23-26 травня 2017 р., м. Київ.

9. Projected Costs of Generating Electricity. 2015 Edition. International Energy Agency, Nuclear Energy Agency, Organisation For Economic Co-Operation And Development, 2015. – 215 с.

10. Дубовской С.В. Усовершенствованный метод оценки технологий комбинированного производства электрической энергии и теплоты по средней стоимости жизненного цикла / С.В. Дубовской, А.С. Твердохлиб // Проблемы загальної енергетики, 2014. — Вип. 1 (36). - 46-54 с.