

**І. Г. Цмоць¹, В. М. Теслюк¹, М. Р. Подольський², В. І. Дубук¹**¹ Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна² Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, м. Львів, Україна

ЗАСОБИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОБАЛАНСІВ І АНАЛІТИЧНА ПІДТРИМКА ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ ЕКОНОМІКИ РЕГІОНУ

Показано, що паливно-енергетичний комплекс є і залишатиметься одним з основних фундаментів соціально-економічного розвитку України та її регіонів. Основним показником енергоефективності є енергоемність валового внутрішнього продукту, яка характеризує рівень витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю виробленого валового внутрішнього продукту. Зниження енергоемності економіки, диверсифікація джерел і шляхів постачання енергоресурсів, нарощування вітчизняного виробництва сприятимуть підвищенню економічної, енергетичної та екологічної безпеки, що призведе до оптимізації енергетичного балансу та забезпечить створення підґрунтя для сталого енергетичного майбутнього країни. Розроблено структуру інформаційно-аналітичної системи, яка є Web-орієнтованою та ґрунтується на базах і сховищах даних. Така інформаційно-аналітична система складається з двох підсистем: інформаційної та аналітичної. Технічною основою інформаційної підсистеми є безпроводні сенсорні мережі, які володіють такими важливими властивостями, як самоорганізація та адаптивність до змін навколишніх умов і інфраструктури. Аналітична підсистема складається із сховища енергетичних даних, засобів оперативного та інтелектуального оброблення даних, прогнозування, візуалізації і підтримки прийняття рішень. Розроблено алгоритм обчислення показників енергоемності валового продукту регіону, який зводиться до формування та структурування даних, перерахування палива в умовні одиниці, знаходження різниці між валовим споживанням ресурсів та обсягами їх виробництва в регіоні, визначення кількості виробленої електричної та теплової енергії у Львівській області в умовних одиницях енергії без використання палива органічного походження, що забезпечує швидке її обчислення. Досліджено програмні засоби для обчислення показників енергоефективності економіки регіону з різними користувацькими інтерфейсами. Вибрано Sankey діаграми для відображення енергетичних балансів регіону. Показано, що енергетичний баланс є потоком об'єднання різних енергетичних ресурсів (палива, тепла та електроенергії, тобто енергоносіїв у товарній формі) у різні сектори економіки (постачання, перетворення та споживання) у енергетичних одиницях. Діаграми Sankey базуються на низці вузлів, пов'язаних з потоками вхідних і вихідних даних. У енергетичному балансі потоки представляють кількість вхідних і вихідних даних, де ширина різних елементів пропорційна величині енергії. Вузли діаграми відображають події або процеси перетворення, наприклад, імпорт, кінцеве споживання енергії. Sankey діаграми складаються з кількох частин, які розділено вузлами, які відповідають переходам між процесами (етапами) зміни (розділення, об'єднання) енергетичних потоків. Досліджено програмні засоби для відображення енергобалансу за допомогою діаграми Sankey, які є зручними і зрозумілими у використанні.

Ключові слова: енергобаланс, показники енергоефективності, Sankey діаграма, інформаційно-аналітична система, програмні засоби.

Вступ

Паливно-енергетичний комплекс є і залишатиметься одним з основних фундаментів соціально-економічного розвитку будь-якої країни, в т. ч. України та її регіонів. Чим ефективніше використовуються паливно-енергетичні ресурси, тим вищі показники соціально-економічного розвитку країн. Енергоефективність економіки характеризується енергоемністю валового внутрішнього продукту (ВВП) – узагальнюючим макроекономічним показником, що характеризує рівень витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю виробленого валового внутрішнього продукту. Енергоемність ВВП в Україні більше, ніж у два рази перевищує енергоемність ВВП економічно розвинених, наприклад, європейських країн, що унеможливило досягнення високих темпів економічного зростання та підвищення добробуту громадян. Водночас, ВВП України формується за рахунок валових регіональних продуктів (ВРП) і покращення показників ВВП країни загалом можливе тільки за умови покращення показників ВРП усіх регіонів та видів економічної діяльності.

Зниження енергоемності економіки, а також диверсифікація джерел і шляхів постачання енергоресурсів, нарощування вітчизняного виробництва сприятимуть підвищенню економічної, енергетичної та екологічної безпеки, що призведе до оптимізації енергетичного балансу та забезпечить створення підґрунтя для сталого енергетичного майбутнього країни. Постачання й споживання енергетичних ресурсів в Україні відображається в енергетичних балансах, результати аналізу яких використовуються для підтримки прийняття управлінських рішень з підвищення енергоефективності економіки регіону.

Важливим інструментом підвищення енергоефективності економіки регіону є засоби аналітичної підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону та оцінювання їх показників. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема розроблення засобів розрахунку та візуалізації енергетичного балансу, оцінювання його показників і аналітичної підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону.

Об'єкт дослідження – процес управління енергоефективністю економіки регіону.

Предмет дослідження – методи підтримки процесу управління енергоефективністю економіки регіону і засоби візуалізації його енергобалансу.

Мета роботи – розробити структуру інформаційно-аналітичної системи підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону, засобів обчислення її показників ефективності валового продукту регіону та візуалізації енергобалансу.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- розробити структуру інформаційно-аналітичної системи підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону;
- розробити засоби обчислення показників енергоефективності економіки регіону;
- дослідити характеристики наявних і адаптувати наявні засоби Sankey діаграм для візуалізації енергобалансу регіону.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше розроблено методику обчислення показників енергоемності валового продукту регіону, який зводиться до формування та структурування даних, перерахування палива в умовні одиниці, знаходження різниці між валовим споживанням ресурсів та обсягами їх виробництва в регіоні, визначення кількості виробленої електричної та теплової енергії у Львівській області в умовних одиницях енергії без використання палива органічного походження, що забезпечує швидке і точне її обчислення.

Практична значущість результатів дослідження – показано, що енергетичний баланс є потоком об'єднання різних енергетичних ресурсів (палива, тепла та електроенергії, тобто енергоносіїв у товарній формі) у різні сектори економіки (постачання, перетворення та споживання) у енергетичних одиницях. У енергетичному балансі потоки представляють кількість вхідних і вихідних даних, де ширина різних елементів пропорційна величині енергії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз енергетичної стратегії України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність" (схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р) передбачає зниження енергоемності ВВП до 2035 року більш, ніж у два рази. Реалізація цього завдання вимагає структурних змін у економіці, значних інвестицій в оновлення технологій та розроблення й використання засобів візуалізації інформації, візуальної аналітики та інформаційно-аналітичної підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону.

Аналіз літератури [2], [12], [18], [20], [21] показує, що у країнах Європейського Союзу використовуються різні методи покращення енергоефективності. Зокрема використання різних показників та метрик для оцінки енергоефективності [2], [5], [7], [9], [20]. Серед них немає показника, який дає оцінку регіону, щодо ефективності виробництва певного товару. У роботах [1], [11], [12], [21] описані деякі підходи, які можна використати для розроблення такого рівняння енергобалансу. У роботах [4], [13] обґрунтовано потребу розроблення засо-

бів візуалізації, оцінювання та інформаційно-аналітичної підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону.

Для обчислення показників використаних ресурсів та створення рівняння енергобалансу існує перелік програмних продуктів, які мають достатньо хороший набір функціональних можливостей для фільтрації даних, їх збереження, оптимізації та обчислення. Але здебільшого, системи такого типу є недоступними для користувачів, які б хотіли обчислити та сформулювати енергобаланс для кожного типу витрачених ресурсів. Прикладом системи, яка є у доступі, але не дає можливості користувачу власноруч обчислити свої витрати та формувати рівняння є Eurostat [6]. Це система, що розміщена на веб-ресурсі євростатистики, вона містить дані про використання ресурсів усіх країн Європи і України у тому числі. Можна використовувати інструмент Eurostat для виконання ряду операцій та здійснення доступу до певних параметрів і рівнів деталізації залежно від наших потреб. Eurostat забезпечує формування звітів за різними характеристиками та надає детальну візуалізацію для користувачів згідно з їхніми потребами. Недоліком Eurostat є те, що вона не надає можливості користувачам обчислювати самостійно та отримувати результат відповідно до їхніх даних. Особливістю Eurostat є те, що вона надає тільки результат для загальної картини держави і не надає можливості обчислювати подібні дані для регіонів і областей країни.

З аналізу робіт [3], [6], [10], [14], [15], [16], [19] видно, що існує багато методів і засобів відображення даних енергобалансів. У цих роботах проаналізовано переваги і недоліки відображення потоків даних за допомогою Sankey діаграм. Недоліком наявних засобів розробки Sankey діаграм є відсутність зв'язку з засобами збереження та аналітичної підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону.

Результати дослідження та їх обговорення

Структура інформаційно-аналітичної системи підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону. Структура інформаційно-аналітичної системи підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону має бути Web-орієнтованою та ґрунтуватися на базах і сховищах даних. Така система складається з двох підсистем: інформаційної та аналітичної. Структура розробленої інформаційно-аналітичної системи підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону наведена на рис. 1, де TCP/IP – стек протоколу обміну, ETL (англ. *Extract, Transform, and Load*) – виймання, перетворення та завантаження, IACU – інтегровані автоматизовані системи управління, N – кількість IACU.

Технічною основою інформаційної підсистеми є безпроводні сенсорні мережі, які володіють такими важливими властивостями, як самоорганізація та адаптивність до змін навколишніх умов і інфраструктури, а апаратне забезпечення бездротових вузлів і протоколи мережевої взаємодії між ними оптимізовані по енергоспоживанню. У загальному випадку бездротова сенсорна мережа – це розподілена система, яка складається з малабаритних інтелектуальних (не завжди) сенсорних пристроїв, які зв'язані з сховищем даних у хмарному

сервері. Сенсорна мережа може складатися з таких компонентів: просторово розподілених сенсорів, засобів читання показників лічильників, обчислювальних і передаючих блоків. Усі інтелектуальні сенсори взаємодіють через глобальну або локальну інфраструктуру ін-

формаційного обміну доступом до сховища даних у хмарному сервісі. Стан сенсорів і кількість підключених може динамічно змінюватися. Окрім цього, збирання й введення енергетичних даних може здійснюватися вручну шляхом запису в базу даних.

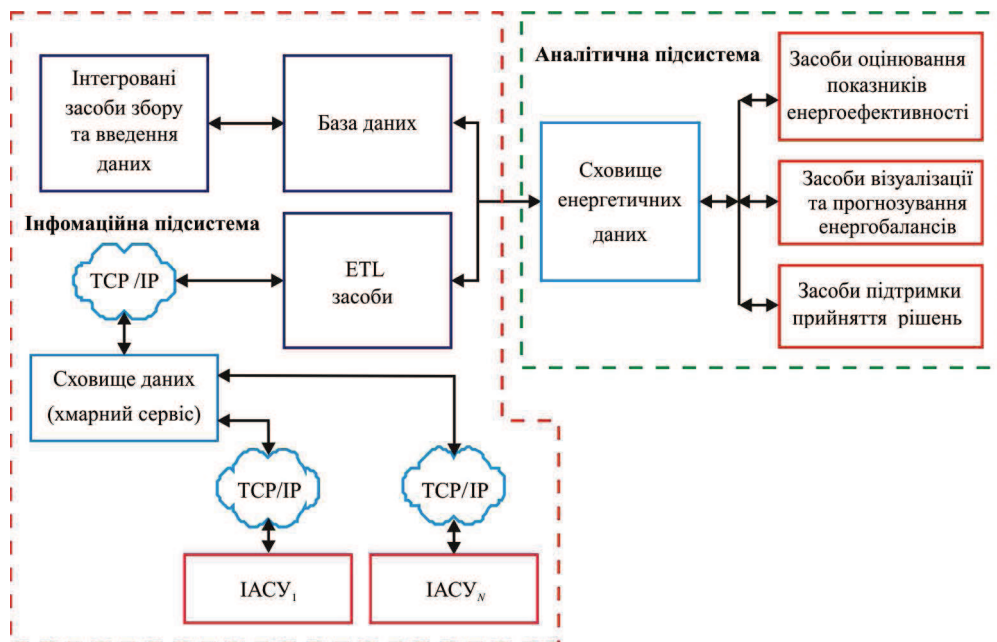


Рис. 1. Структура інформаційно-аналітичної системи підтримки процесів управління енергоефективністю економіки регіону

Сховище даних у хмарному сервісі має відкриті інтерфейси для доступу та публікації інтегрованих даних, управління якими здійснюється хмарним сервісом. Доступ до цих даних може здійснюватися будь-яким користувачем мережі Інтернет за допомогою публічних, документованих інтерфейсів доступу, які надає хмарний сервіс. За накопичення даних у хмарному сервісі безпосередньо відповідають підприємства та установи. Енергетичні дані з підприємств записуються у сховище даних у хмарному сервісі за допомогою інтерфейсів, які базуються на HTTP протоколі. Для роботи з сховищем даних у хмарному сервісі пропонується використати інтерфейс з HTTP REST протоколом, який є простим і уніфікованим інтерфейсом для роботи у мережі. Даний інтерфейс забезпечує користувачам можливість як і напряму публікувати чи читати дані з сервісу, так і робити запити на керуючі дії. Прикладом таких дій може бути запит на встановлення сервісом потокового читання даних на підставі TCP сокетів. Сервіс може надавати файлові інтерфейси для публікації файлів з даними. Такими інтерфейсами можуть бути FTP сервери, локальні файлові системи чи хмарні файлові системи, наприклад, такі як AWS S3. Реалізація сховища даних у хмарному сервісі можлива за допомогою популярних хмарних сервісів, таких як: AWS, Azure і Google Cloud.

Аналітична підсистема складається із сховища енергетичних даних, засобів ETL, OLAP, BI, Data Minig, прогнозування, візуалізації і підтримки прийняття рішень. Сховище енергетичних даних будується на підставі Big Data технологій, які забезпечують можливість ефективно зберігати, опрацьовувати та надавати доступ до великих об'ємів даних у розподіленому режимі. Окрім цього, ці технології забезпечують ефективне опрацювання неструктурованих даних. Для реалізації і надання доступу до OLAP технології у сховищі викорис-

товуються OLAP сервери. Користувачі можуть отримати доступ до цих програмних засобів як напряму через інтерфейси, так і через програмні додатки (десктопні, веб- чи мобільні).

Засоби обчислення показників енергоефективності економіки регіону. Для визначення енергоефективності економіки регіону передусім необхідно зібрати та упорядкувати дані, визначити перелік основних показників, які використовуються при такому обчисленні. Основними показниками, які використовуються для визначення енергоефективності економіки регіону є:

- валовий внутрішній продукт (ВВП) – базовий показник розвитку регіону, сумарний обсяг виробництва за певний термін;
- енергоємність валового внутрішнього продукту – узагальнений показник виробництва країни, що показує рівень витрат паливних і енергетичних ресурсів на одиницю виробленого ВВП. В міжнародній практиці ЕВВП оцінюється в кг еквіваленту нафтової продукції на одиницю валюти. Для внутрішнього використання енергоємність ВВП оцінюється в кг умовного палива;
- валовий регіональний продукт (ВРП) – показник сумарного обсягу виробництва регіону, який узагальнює усі доходи виробництва та характеризує рівень розвитку його економіки;
- енергоємність валового регіонального продукту – регіональний показник, що показує рівень витрат паливних і енергетичних ресурсів регіону на одиницю виробленого ВРП.

Обчислення показника енергоємності ВРП у t -му році визначається за формулою:

$$E_t^r = \frac{D_t}{N_t^r}, t = \overline{1, T}, \quad (1)$$

де: E_t^r – енергоємність валового внутрішнього продукту t -го року; D_t – обсяг паливних і енергетичних ресур-

сів, які було використано у t -му році, витрачених на формування валового регіонального продукту; N_t^r – обсяг валового регіонального продукту t -го року у відповідних цінах.

Значення енергоемності залежить від таких компонентів: показника, який визначає економічну ефективність регіону, а саме валовий продукт регіону та показника, що визначає кількість енергетичних ресурсів на його отримання.

При обчисленні показника витрат паливних і енергетичних ресурсів на формування валового продукту регіону береться до уваги те, що паливно-енергетичні ресурси використовують як для енергетичних, так і для неенергетичних цілей. Тому потрібно визначити витрати паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) для формування валового продукту регіону та витрати ПЕР, які використані суто для енергетичних цілей. Перелік таких витрат є базою для обчислення показника повної енергоемності валового продукту регіону та показника його енергоемності при використанні паливно-енергетичних ресурсів тільки для енергетичних цілей.

Загальні обсяги ПЕР, витрачених на формування ВРП у t -му році, розраховуються за формулою:

$$D_t^p = \sum_{j=3}^J K_{jt} (B_{jt} + W_{jt} + U_{jt}) + \sum_{j=1}^2 K_{jt} \left(\mu_{jt} Z_{jt} + \sum_{m=1}^M \frac{X_{mjt}}{R_{mjt}} \right), t = \overline{1, T}, \quad (2)$$

де: D_t^p – кількість енергетичних ресурсів в умовних одиницях виміру енергії, що були витрачені на створення валового продукту регіону; K_{jt} – коефіцієнт перерахунку кількості енергетичних ресурсів палива органічного характеру з натуральних одиниць в умовні; $j = 1 \div J$ – індекс виду енергетичних ресурсів, де $j = 1$ – електрична енергія, $j = 2$ – теплова енергія, $j = 3 \div J$ – інші види ресурсів паливно-енергетичного типу; B_{jt} – кількість використаного палива органічного характеру впродовж року для енергетичних цілей; – кількість використаного палива органічного характеру j -го виду впродовж t -го року у регіоні для неенергетичних цілей в натуральних одиницях виміру, $j = 3 \div J$; U_{jt} – втрати органічного палива j -го виду впродовж року у регіоні при його транспортуванні, розподілі та зберіганні; U_{2t}, U_{1t} – булеві змінні, які приймають значення 1 у випадку $Z_{1t} > 0$, або $Z_{2t} > 0$, відповідно, і 0 для всіх інших значень i ; $m = 1 \div M$ – індекс технології виробництва, з використанням якого створюється електрична та/або теплова енергія без використання палива органічного походження, де $m = 1$ – виробництво енергії за допомогою атомної електростанції, $m = 2$ – виробництво енергії за допомогою гідроелектростанції; $m = 3 \div M$ – перелік технологій іншого типу, що не використовують паливо органічного походження; X_{m2t} – обсяг виробництва електричної та теплової енергії протягом року технологією m в натуральних одиницях; R_{m2t} , R_{m1t} – коефіцієнт корисної дії технології виробництва електричної або теплової енергії відповідно, протягом t -го року технологією m без використання палива органічного походження.

Показник $Z_{jt} = B_{jt}(E) - X_{jt}(E)$, $j = 1, 2$ – різниця між валовим споживанням регіону впродовж року електричної та теплової енергії $B_{jt}(E)$ з врахуванням втрат

при транспортуванні та розподілі в натуральних одиницях виміру та відповідним обсягом виробництва усіма джерелами виробництва, що розміщені в регіоні у натуральних одиницях вимірювання. Обчислення обсягу паливно-енергетичних ресурсів, який використовується для енергетичних цілей D_t^E в умовних одиницях палива відбувається за допомогою формули:

$$D_t^E = \sum_{j=3}^J K_{jt} \left(B_{jt} - U_{jt} \frac{W_{jt}}{B_{jt} + W_{jt}} \right) + \sum_{j=1}^2 K_{jt} \left(\mu_{jt} Z_{jt} + \sum_{m=1}^M \frac{X_{mjt}}{R_{mjt}} \right), \quad (3)$$

$$t = \overline{1, T}.$$

Після обрахування витрат паливних і енергетичних ресурсів регіону та валового продукту регіону за визначений термін, розраховуємо повну енергетичну ємність валового продукту регіону та енергетичну ємність валового продукту регіону при використанні паливних і енергетичних ресурсів для здійснення цілей енергетичного характеру.

Обчислення показників енергоемності валового продукту регіону проводиться згідно з алгоритмом, який має перелік таких послідовних кроків:

1. Формування переліку даних із зібраних ресурсів і структуризування цієї інформації для подальших обчислень.
2. Перерахування палива в умовні одиниці для кожного із підвидів палива органічного походження.
3. Обчислення показників Z_{jt} – різниця між валовим споживанням ресурсів регіону з перерахуванням їх в умовне паливо: електричної та теплової енергії та їх обсягами виробництва відповідно.
4. Обрахування виробництва електричної та теплової енергії у Львівській області в умовних одиницях енергії без використання палива органічного походження.
5. Визначення показників енергетичної ємності валового продукту регіону.

Показник енергоемності	
Рік, t:	2010
Обсяг ПЕР, витрачених на форму ВРП, D:	455
Обсяг ВРП, N:	578
Показник енергоемності ВРП, E:	0,787
Валове споживання рег. ел та тепл енергії, B:	1273
Обсяг виробництва рег. X:	1287
Показник різниці, Z:	14

Buttons: Додати, Видалити, Повернути, Назад, Далі, Критерії, Закрити

Рис. 2. Форма користувацького інтерфейсу програмного засобу для обчислення показників енергоефективності економіки регіону

Розроблено програмний засіб для обчислення показників визначення енергоефективності економіки регіону, користувацький інтерфейс, який наведено на рис. 2. Програмний засіб розроблено з використанням інструментів у середовищі табличного процесора.

Засоби візуалізації та оцінювання енергетичного балансу регіону. Для візуального відображення енергетичних балансів регіону вибираємо діаграми Sankey, які є зрозумілішими від таблиць. Це пояснюється тим, що енергетичний баланс є потоком об'єднання різних енергетичних ресурсів (палива, тепла та електроенергії, тобто енергоносіїв у товарній формі) у різні сектори еконо-

міки (постачання, перетворення та споживання) у енергетичних одиницях. Sankey діаграми відтворюють у візуальній формі енергетичні баланси. Діаграми Sankey базуються на низці вузлів, пов'язаних з потоками вхідних і вихідних даних. У енергетичному балансі потоки представляють кількість вхідних і вихідних даних, де ширина різних елементів пропорційна величині енергії. Вузли діаграми відображають події або процеси перетворення, наприклад, імпорт, кінцеве споживання енергії. Sankey діаграми складаються з кількох частин, які розділено вузлами, які відповідають переходам між процесами (етапам) зміни (розділення, об'єднання) енергетичних потоків. Товщини ліній в діаграмі пропорційні величинам енергетичного ресурсу, а їхній колір відповідає видам енергетичних матеріалів (згідно з

вибраною легендою). Написи біля вузлів та ліній енергетичних потоків характеризують процеси, етапи та обсяги енергії, а також інші параметри, які характерні для конкретного енергетичного потоку. У верхній/лівій частині діаграми (вхід), відображаються первинні енергетичні матеріали з виробництва та імпорту.

Приклад діаграми Sankey Eurostat, яка базується на низці вузлів, пов'язаних з потоками енергетичного балансу, наведений на рис. 3. На підставі даних споживання енергоносіїв Львівської області розроблено Sankey діаграму, яка відображає об'єми споживання певного типу ресурсів для підприємств регіону (рис. 4). Вхідними даними є покази лічильників або ручні внесення даних, які спожиті за день. Вибірка вхідних даних взята за 2018 рік.

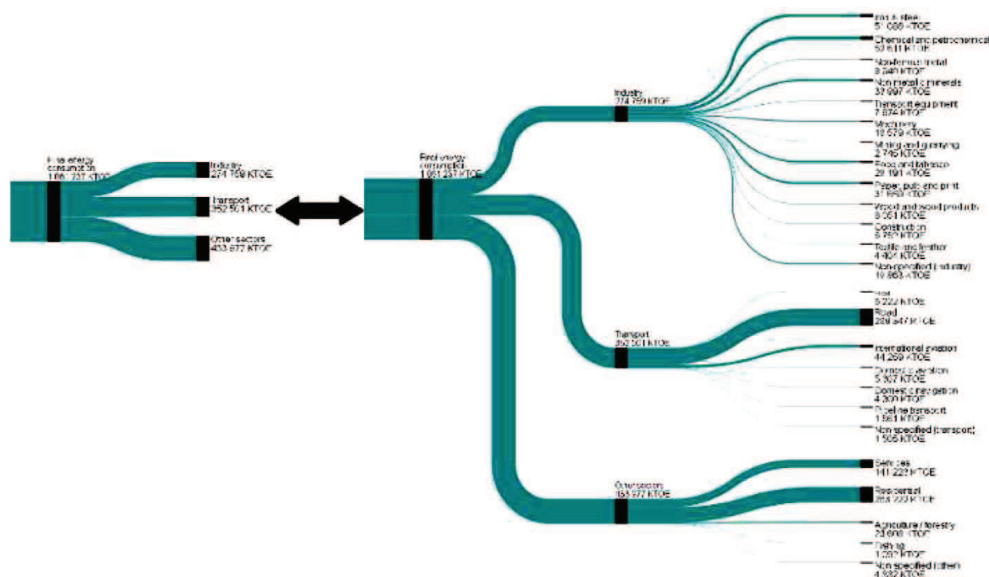


Рис. 3. Діаграми Sankey Eurostat пов'язані з потоками енергетичного балансу

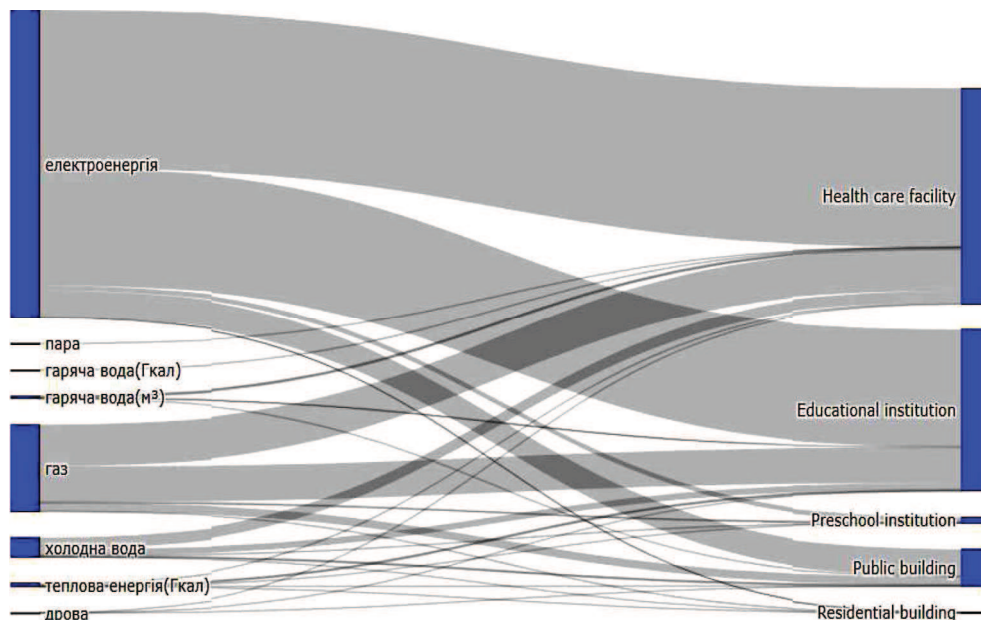


Рис. 4. Sankey діаграма споживання енергетичних носіїв у Львівській області

На підставі отриманої діаграми можна робити висновки щодо обсягів споживання різних типів енергоносіїв різними підприємствами. Для подальшої аналітики можливе розроблення діаграм що відображають споживання енергоносіїв відносно конкретних будівель, наприклад, тих які відносяться до певного класу будівель,

або відфільтровані за певними критеріями. Також маючи дані про проміжні вузли, такі як електроцита або станції розподілення можна будувати детальніші потоки енергетичних носіїв.

Досліджено наявні програмні засоби для побудови Sankey діаграм [3], [4], [6], [8], [10], [14], [15], [16], [17],

[19]. Виявлено, що серед досліджених програмних засобів найзручнішим діалоговим інтерфейсом разом з гарними можливостями щодо візуалізації даних володіє програмний засіб Sankey Diagram Generator, розроблений вченим доктором, доцентом кафедри інженерії з Університету Ланкастера, Велика Британія Д. Ксала [8]. Саме тому вказаний засіб вибрано й адаптовано до відображення енергобалансу в Львівській області. Адаптований програмний засіб побудови Sankey діаграм енергобалансу області має зручний і зрозумілий користувацький інтерфейс.

Висновки

1. Розроблено структуру інформаційно-аналітичної системи, яка за рахунок збирання, накопичення та опрацювання енергетичних даних забезпечує підтримку процесів управління підвищенням енергоефективності економіки регіону.
2. Розроблено алгоритм обчислення показників енергоємності валового продукту регіону, який зводиться до формування та структурування даних, перерахування палива в умовні одиниці, знаходження різниці між валовим споживанням ресурсів та обсягами їх виробництва в регіоні, визначення кількості виробленої електричної та теплової енергії у Львівській області в умовних одиницях енергії без використання палива органічного походження та забезпечує швидке його обчислення.
3. Розроблено програмний засіб для обчислення показників визначення енергоефективності економіки регіону.
4. Досліджено наявні програмні засоби для побудови Sankey діаграм, проаналізовано можливості їх використання для розв'язання завдань відображення енергобалансу.
5. Адаптовано програмний засіб для відображення енергобалансу у Львівській області на підставі діаграми Sankey, який є зручним, нескладним і зрозумілим у практичному використанні.

References

- [1] A Beginning U. S. Department of Energy. (1995). *Energy Information Administration, Measuring Energy Efficiency in the United States Economy*, 260 p.
- [2] Devoldere, T., Dewulf, W., Deprez, W., Willems, B., & Dufoulou, J. R. (2007). Improvement potential for energy consumption in discrete part production machines. In: *Proceedings of the 14th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, 311–316
- [3] Diagrams catalog. (2020). Retrieved from: <https://data.vizcatalogue.com/>
- [4] Diagrams overview. (2018). Retrieved from: <https://www.klipfolio.com/resources/articles/what-is-data-visualization>
- [5] Dragan, Ya. P., & Hrytsiuk, Yu. I., & Palyanitsya, Yu. B. (2016). System analysis of statistical estimation of states of stochastic vibration system and shunt principle. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(1), 395–402. <https://doi.org/10.15421/40260161>
- [6] Eurostat. (2020). *Your key to European statistics*. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/eurostat>
- [7] Hrytsiuk, Yuriy, & Bilas, Orest. (2019). Visualization of Software Quality Expert Assessment. IEEE 2019 14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019), (Vol. 2, pp. 156–160), 17–20 September, 2019. <https://doi.org/10.1109/stc-csit.2019.8929778>
- [8] Kontext. (2014). Science. Development. Dataactivism. And everything in context. *Sankey Diagram Generator*. Retrieved from: <https://csaladenes.wordpress.com/2014/11/06/sankey-diagram-generator/>
- [9] May, G., Taisch, M., Prabhu, V. V., & Barletta, I. (2013). Energy Related Key Performance Indicators – State of the Art, Gaps and Industrial Needs. In: Prabhu V., Taisch M., Kiritsis, D. (Eds). *Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains. APMS, 2013. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 414. Springer, Berlin, Heidelberg, 257–267.
- [10] Microsoft Power BI visuals. (2019). *Sankey Diagram*. Retrieved from: <https://github.com/Microsoft/powerbi-visuals-sankey>.
- [11] Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377–390.
- [12] Perez-Lombard, L., et al. (2009). A review of benchmarking, rating and labeling concepts within the framework of building energy certification schemas. *Energy and Buildings*, 41, 272–278
- [13] Podolsky, M. R. (2017). Improving the efficiency of substandard coal deposits in Lviv region. *Collection of articles*. Lviv, 236 p.
- [14] Riehmann, P., Hanfler, M., & Froehlich, B. (2005). Interactive sankey diagrams. In: *Proceedings of InfoVis*, 05, 233–240.
- [15] Sankey Diagram. (2016). Retrieved from: https://datavizcatalogue.com/methods/sankey_diagram.html
- [16] Sankey Diagrams (2020). *A Sankey diagram says more than 1000 pie charts*. Retrieved from: <http://www.sankey-diagrams.com/>
- [17] Sankey Helper. (2018). *Sankey Diagram in Excel*. Retrieved from: <https://www.doka.ch/sankey.htm>
- [18] Song, C., Li, M., Wen, Z., He, Y., Tao, W., Li, Y., Wei, X., Yin, X., & Huang, X. (2014). Research on energy efficiency evaluation based on indicators for industry sectors in China. *Applied Energy*, 134, 550–562.
- [19] Superstores Sankey Diagram. (2018). Retrieved from: <https://www.theinformationlab.co.uk/2018/03/09/build-sankey-diagram-tableau-without-data-prep-beforehand/>
- [20] Thollander, P., Backlund, S., Trianni, A., & Cagno, E. (2013). Beyond barriers – A case study on driving forces for improved energy efficiency in the foundry industries in Finland, France, Germany, Italy, Poland, Spain, and Sweden. *Applied Energy*, 111, 636–643.
- [21] Tsmots, I. G., Opotiak, Yu. V., & Roman, V. I. (2019). Means for collection and visualization of energy data for system of energy efficiency management of the regional economic. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 1(1), 01–10.

I. G. Tsmots¹, V. M. Tesliuk¹, M. R. Podolsky², V. I. Dubuk¹

¹ National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine

² Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

TOOLS OF VISUALIZATION OF POWER BALANCES AND ANALYTICAL SUPPORT OF ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT OF REGION

The authors show that fuel and energy complex is and shall be one from basic foundation of socio-economic development of Ukraine and its regions. The power consumption of gross domestic product is basic index of energy efficiency. It characterizes the level of charges of fuel and energy resources on unit of mine-out gross domestic product. The decline of power consumption

of economy, diversification of sources and ways of supply of power resource, increasing of national production will promote increasing of economical, power and ecological security, which leads to optimization of power balance and provides the creation of soil for permanent power future of the country. The structure of information-analytical system, which is Web-oriented and based on data bases and data warehouses is developed. Such information-analytical system is composed by two subsystems: information and analytical. The technical basis of information subsystem is off-wired sensor networks, which have important properties as self-organizing and adaptivity to changes of external conditions and infrastructure. Analytical subsystem is composed of power data warehouse, tools of operational and intellectual data processing, prognosing, visualization and decision support units. The algorithm of calculation of indexes of power consumption of gross product of region, which transforms to forming and structuring of data, recalculating of fuel to conditional units, find the difference between gross consumption of resources and their production at the region, definition of value of mined-out electrical and thermal power at Lviv region in conditional units of power without usage of organic origin fuel and provides it rapid calculation. The software tools with different users interfaces for calculating of indexes of energy efficiency of region economy are investigated. The Sankey diagrams for presentation of power balances of region are selected. It is shown, that power balance is the flux of association of different power resources (fuel, heat and electrical power, so the power media in commodity form) in different sectors of economy (supplying, transformation and consumption) in power units. The Sankey diagrams are based on row of nodes, connected with flows of input and output data. At power balance flows presents number of input and output data, where width of different elements is proportional to value of power. The nodes of diagram presents the events or processes of transforming, for example, import, final power consumption. Sankey diagrams composed from some parts, which divided by nodes, corresponding to transitions between processes (stages) of changes (division, association) of power fluxes. The software tools for presentation of power balance by means of Sankey diagrams, which are comfortable and clear in use are investigated.

Keywords: power balance, energy efficiency indexes, Sankey diagram, information-analytical system, software tools.

Інформація про авторів:

Цмоць Іван Григорович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем управління.

Email: ivan.tsmots@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4033-8618>

Теслюк Василь Миколайович, д-р техн. наук, професор, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: vasylyteslyuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5974-9310>

Подольський Мирослав Романович, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, відділ проблем технології горючих копалин.

Email: mpodolskyi@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0003-1628-3087>

Дубук Василь Іванович, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: conf_citem_lviv@ukr.net

Цитування за ДСТУ: Цмоць І. Г., Теслюк В. М., Подольський М. Р., Дубук В. І. Засоби візуалізації енергобалансів і аналітична підтримка процесу управління енергоефективністю економіки регіону. *Український журнал інформаційних технологій*. 2020, т. 2, № 1. С. 01–07.

Citation APA: Tsmots, I. G., Tesliuk, V. M., Podolsky, M. R., & Dubuk, V. I. (2020). Tools of visualization of power balances and analytical support of energy efficiency management of region. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 2(1), 01–07.

<https://doi.org/10.23939/ujit2020.02.001>