

Методичний підхід до оцінки обсягів енергоспоживання для різних варіантів структури економіки

В статті наведено методичний підхід до визначення впливу структурного фактору на рівні енергоспоживання. Відзначено, що за рахунок впливу структурного фактору в Україні відбуваються постійні перевитрати енергоресурсів. Висвітлено комплекс розроблених імітаційних моделей, показано загальну схему розрахунків з використанням моделей, описано функціональні блоки.

В статье приведен методический подход к определению влияния структурного фактора на уровни энергопотребления. Отмечено, что за счет влияния структурного фактора в Украине происходит постоянный перерасход энергоресурсов. Раскрыт комплекс разработанных имитационных моделей, описаны функциональные блоки. Приведены основные задачи, которые легли в основу построения комплекса моделей.

Важливим питанням формування перспективних оптимальних варіантів структури економіки є оцінка енергетичного фактору. Це необхідно для того, щоб виключити варіанти не виправдано енергоємної структури, що особливо важливо в умовах низької ефективності функціонування економіки та дефіцитності паливно-енергетичних ресурсів.

При розробці Комплексної державної програми енергозбереження України було оцінено перевитрати палива і енергії за рахунок структурного фактору, які становили в 1995 р. 14.9 млн. т у.п. (відносно 1990 р.).

В перспективі, при умові збереження існуючої енергоємної структури економіки, перевитрати енергоресурсів за рахунок структурного фактору можуть бути в 2.0-2.3 рази більші, ніж на рівні 1995 р.

Нами було розроблено комплекс імітаційних моделей для оцінки рівнів енергоспоживання для різних варіантів структури економіки (KIME "Структура").

В основу розробки KIME "Структура" було закладено необхідність вирішення трьох основних задач:

1. Визначення максимально ефективних з точки зору зниження рівнів енергоспоживання варіантів перебудови структури економіки країни (при заданих обсягах ВВП).

2. Визначення максимально ефективних з точки зору збільшення ВВП варіантів перебудови структури економіки країни (при заданих рівнях енергоспоживання).

3. Розрахунок всіх макропоказників та показників ефективності, що відповідають заданому варіанту структури економіки. До макропоказників відносяться: обсяг ВВП, загальний рівень енергоспоживання, енергоємність ВВП, приведені витрати на розвиток виробництва.

Досліджуючи рівні енергоспоживання відносно різних варіантів структур з позицій системного підходу, необхідно виділити слідує ієрархічні

рівні: регіональний, галузевий та технологічний. Проте для вирішення поставлених завдань набір рівнів ієрархії буде залежати від специфіки варіанту структури, що розглядається.

Для роз'яснення цього приведемо ряд прикладів. Так, для таких енергоємних галузей як чорна та кольорова металургія, нафтопереробка, набір варіантів перебудови структури необхідно вести з рівня підприємства, яких не так багато і вони досить енергомісткі. В цьому випадку автоматично відпадає рівень технології. Для таких галузей, як машинобудування, доцільно розглядати узагальнюючі енергомісткі технології — лиття, термообробка тощо. На рівні галузі, очевидно, доцільно формувати завдання для житлово-побутового господарства, галузей транспорту, будівництва тощо.

Таким чином, специфіка галузі визначає різні підходи, які повинні бути враховані при реалізації моделі.

Без сумніву регіональний рівень ієрархії дає важливу диференціацію задач енергоспоживання в цілому. Незважаючи на складність підготовки вихідної інформації в цьому випадку необхідно відпрацювати відповідні методичні підходи, які дозволили б врахувати з певною ступінню агрегування і територіальний розріз (область тощо).

Розрахунки по ієрархічній структурі виробництва можуть реалізовуватися як "зверху-вниз", так і "знизу-вверх". Перший спосіб припускає одноразову, а другий — поетапну ітераційну динамічну розкладку по вершинах структури агрегованих показників (рівні енергоспоживання, обсяги виробництва). Розрахунки проводяться ітераційно для кожного ієрархічного рівня. На кожній ітерації розглядається вихідна енергоспоживаюча система та системи, що безпосередньо їй підпорядковані (наприклад, галузь та підгалузі). При цьому значення агрегованого показника в вищій системі є сумою значень показників підпорядкованих вершин.

Модель враховує слідує основні положення:

1. Складові агрегованого показника взаємозв'язані між собою, отже, прогноз повинен бути структурним.

2. В силу інерційності розвитку енергоспоживаючих систем необхідно враховувати структурні тенденції, що склалися в ретроспективному періоді.

3. Перспективні значення показників, що розраховуються, повинні бути максимально наближені до деяких орієнтовних значень, що задаються експертно або розраховуються, виходячи з критеріїв оптимальності.

4. На кожній ітерації повинні враховуватися прогнозні значення агрегованого показника, отримані на попередній ітерації.

5. Значення, що розраховуються, можуть враховувати неформальні якісні погляди експерта про зміни в структурі виробництва (енергоспоживання). Можуть враховуватися економічні та інші переваги. Експерт може задавати також кількісні обмеження на прогнозні значення показника в будь-якій підпорядкованій системі на будь-який рік прогнозного періоду.

6. Необхідно передбачити можливість задання експертом "опорної точки" моделі. Як "опорну точку" експерт може вибрати один з років прогнозного періоду. Значення показників в цьому році жорстко задаються експертом. Цю можливість можна використовувати для побудування цільових прогнозів.

7. Алгоритм, що реалізує модель, повинен бути орієнтований на те, що будь-які з потрібних даних по будь-якій вершині в будь-якому році можуть бути не задані.

8. Різні режими розрахунків повинні забезпечити врахування всіх перелічених положень або їх окремих комбінацій.

Динаміка вихідних агрегованих показників, наприклад, загального рівня енергоспоживання в галузі, задається експертно або розраховується з допомогою набору різних моделей. Розглядаються різні види регресійних, трендових та інших залежностей та вибираються ті з них, розрахунки за якими дають найкращі статистичні оцінки. Вид залежності може також вибиратись експертно, виходячи з змістовних припущень про перспективну динаміку показника (що найбільш прийнятно для перехідного періоду).

Розрахунки по моделі передбачається вести з використанням методів імітаційного аналізу. Необхідна для вирішення задачі інформація накопичується в базі даних по енергоспоживанню, програмне забезпечення і концептуальна схема якої відповідно нарощується (модифікується).

Основні підходи до побудування імітаційної моделі заключались в наступному. Кожну вершину, що відповідає рівням ієрархії задач енергоспоживання, характеризує набір показників (рівні споживання енергоресурсів різних видів, питомі

витрати енергоресурсів, ретроспективні, заплановані або прогнозні обсяги виробництва різної продукції тощо). Між показниками окремої вершини та показниками різних вершин існують детерміновані та стохастичні залежності. Виявлені залежності є основою імітаційної моделі, котра дозволяє розраховувати значення одних показників за різними наборами інших. Імітаційний аналіз, що заключається в проведенні багаторазових обчислювальних експериментів, прорачунок різних варіантів структурних зрушень в виробництві (які формуються спеціалістами по галузях або автоматизовано відповідно до неформальних експертних припущень про перспективні структурні тенденції в виробництві) дозволяє вибрати найкращі варіанти.

Як основа для формування варіантів структури виробництва, що забезпечує стабілізацію та зниження рівнів енергоспоживання, використані перераховані вище три напрямки. Формально під варіантом структури виробництва (структурних зрушень) ми розуміємо набір значень обсягів виробництва, заданих для всіх вершин кожного рівня для всіх років прогнозного періоду.

Загальна схема розрахунків з використанням KIME "Структура" представлена на мал. 1. Вихідна інформація на схемі умовно позначена пунктирною лінією, а функціональні блоки — прямокутниками. Розрахунки можуть проводитися за різними послідовностями функціональних блоків в залежності як від задачі, що вирішується (задачі 1,2,3), так і від вибору методу рахунку ("знизу-вверх" або "зверху-вниз"). Цим визначається також набір необхідної вихідної інформації.

Так, наприклад, при вирішенні задачі 3 варіанти обсягів виробництва задаються для всіх вершин структури, а при вирішенні задач 1 та 2 вони розраховуються автоматизовано відповідно до прогнозно-оптимізаційних моделей. Вирішення задач 1 та 2 автоматично має на увазі також і вирішення задачі 3 для оцінки ефективності розрахованого варіанту структури виробництва. Наведено опис моделей, розрахунки за якими проводяться в рамках вказаних в схемі функціональних блоків.

Блок 1. Прогнозуються питомі витрати енергоресурсів для всіх вершин структури. Прогнозні питомі витрати можуть задаватись експертно або розраховуватися за трендовими моделями, виходячи з ретроспективи.

З залежностей автоматично вибирається та, яка дає найкращі статистичні оцінки на ретроспективних даних. Вибір виду залежності можна також надати експерту по виду кривих, що відповідають перерахованим залежностям.

Питомі витрати енергоресурсів можна отримати також поза блоком 1 як дані, розраховані в

моделі енергоемності по оптимальному набору енергозберігаючих заходів, що впроваджуються.

Блок 2. Функціональний блок 2 використовується для вирішення задачі розрахунку перспективних рівнів енергоспоживання (загального по країні або по галузях). Рівні енергоспоживання можна отримати наступними методами:

- задання експертних значень, котрі в найбільшій мірі відповідають надійному енергопостачанню.

- отримання загальних рівнів енергоспоживання методом прямого рахунку. При цьому передбачається, що задані відповідні питомі витрати енергоресурсів та перспективні значення ВВП.

- визначення перспективних рівнів енергоспоживання за допомогою регресійних моделей, на жаль, сьогодні цей метод не дає адекватних результатів в зв'язку з відсутністю стійкої ретроспективної бази даних.

- структуру енергоспоживання по галузях можна також визначати з допомогою прогновної структурної імітаційної моделі (див. далі опис блоків 5,7). При цьому передбачається, що загальний рівень енергоспоживання в країні заданий або розрахований по методах, наведених в даному блоці.

Блок 3. Функціональний блок 3 використовується для вирішення задачі визначення перспективних значень ВВП (або його складових по галузях). Ці значення можуть задаватися експертним шляхом, розраховуватися за допомогою прогнозних моделей. Структуру ВВП по галузях можна розрахувати з допомогою прогновної структурної імітаційної моделі при умові, що динаміка ВВП на перспективу задана або розрахована.

Блок 4. Розрахунок методом "зверху-вниз". Для кожної галузі розглядається дворівнева структура: "галузь — нижній рівень" (наприклад, "галузь — технологія").

Вихідна вершина d відповідає галузі, підпорядковані вершини $d_1, d_2, \dots, d_n$ — нижньому для даної галузі рівню, наприклад, різним технологіям. Здійснюється оптимізаційний розрахунок обсягів виробництва (рівнів енергоспоживання) в підпорядкованих вершинах d_i .

Введемо наступні позначення:

S^t — обсяг виробництва в вихідній вершині d (галузі) в t -ому році;

E^t — рівень енергоспоживання в вихідній вершині d (галузі) в t -ому році;

S_i^t — обсяг виробництва в підпорядкованій вершині d_i в t -ому році;

E_i^t — рівень енергоспоживання в підпорядкованій вершині d_i в t -ому році;

b_{ir}^t — питомі витрати енергоресурсу виду r в

підпорядкованій вершині d_i в t -ому році;

b_i^t — питомі витрати енергії в підпорядкованій вершині d_i в t -ому році;

$$b_i^t = \sum_{r=1}^R b_{ir}^t \quad (1)$$

(підсумування здійснюється в порівняльних одиницях);

$\underline{M}_i^t, \overline{M}_i^t$ — відповідно нижнє та верхнє обмеження на обсяг виробництва в підпорядкованій вершині d_i в t -ому році. Ці величини можна задавати з допомогою обмежень на частки $\underline{L}_i^t, \overline{L}_i^t$ від загального обсягу виробництва в вихідній вершині, а саме:

$$\underline{M}_i^t = \underline{L}_i^t S^t, \quad \overline{M}_i^t = \overline{L}_i^t S^t \quad (2)$$

Значення $\underline{M}_i^t, \overline{M}_i^t$ ($\underline{L}_i^t, \overline{L}_i^t$) можуть бути не задані.

Z_i^t — питомі витрати на виробництво в підпорядкованій вершині d_i в t -ому році.

Опишемо розрахунки, що проводяться в блоці 4 при розв'язку задачі 1.

В цьому випадку на вході маємо:

- значення b_{ir}^t (b_{ir}^t), розраховані в блоці 1;

- значення S^t , розраховані в блоці 3;

- задані значення Z_i^t ;

- задані значення $\underline{M}_i^t, \overline{M}_i^t$ ($\underline{L}_i^t, \overline{L}_i^t$) (ці величини можуть не задаватися).

Розраховуються орієнтовні обсяги виробництва S_i^t в підпорядкованій вершині d_i . Вони визначаються як рішення наступної лінійної оптимізаційної задачі:

$$\sum_{i=1}^n \left(Q_1 \frac{b_i^t}{\sum_{j=1}^n b_j^t} + Q_2 \frac{Z_i^t}{\sum_{j=1}^n Z_j^t} \right) S_i^t \rightarrow \min \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n S_i^t = S^t \quad (4)$$

$$\underline{M}_i^t \leq S_i^t \leq \overline{M}_i^t \quad (5)$$

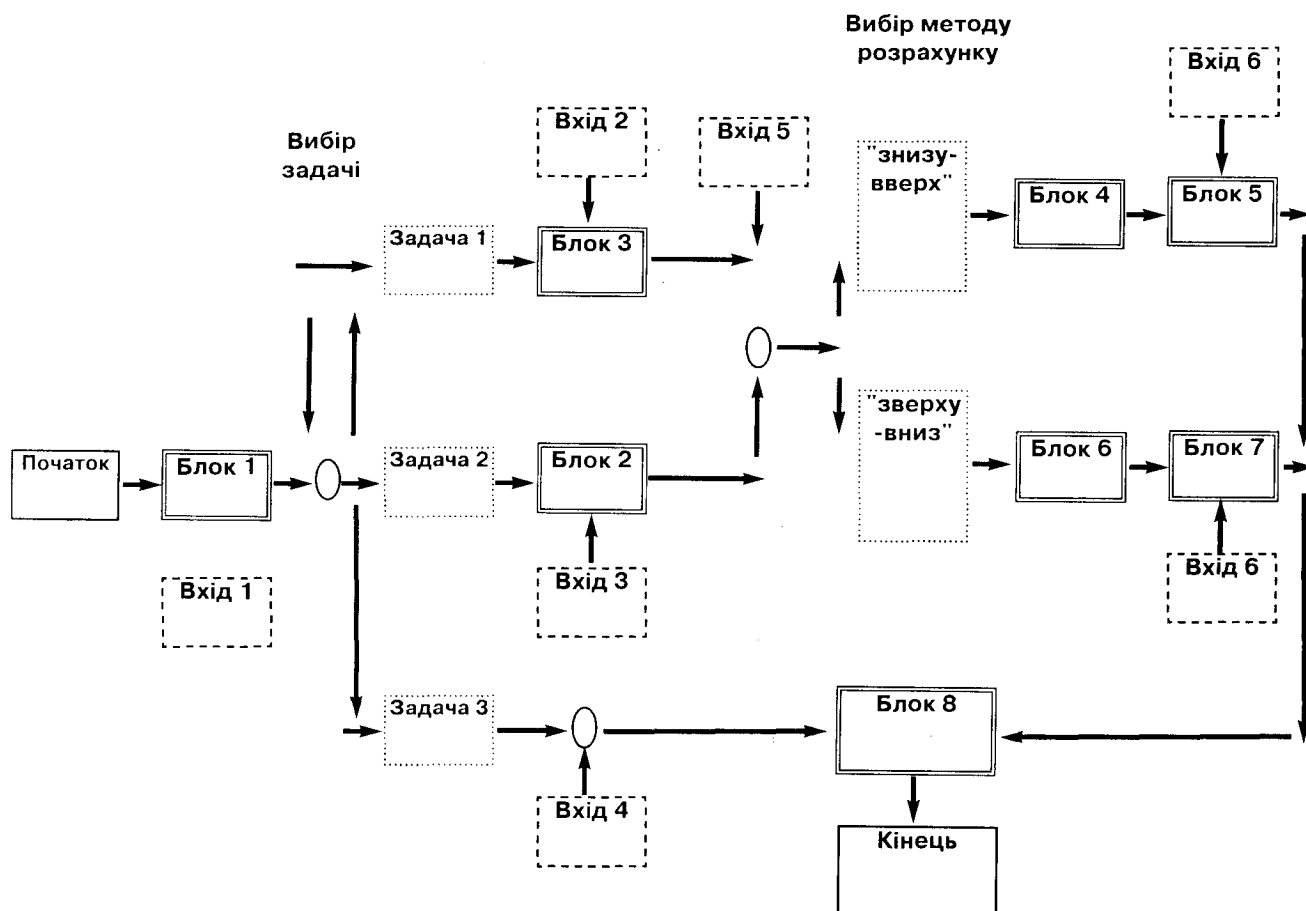
(задача розв'язується для кожного року прогнозного періоду).

Цільова функція задачі є згортою двох нормалізованих критеріїв: мінімум енергоспоживання та мінімум витрат для даного варіанту структури. Q_1, Q_2 — частки критеріїв в згортці; $Q_1 + Q_2 = 1$. Значення Q_1, Q_2 задаються експертно, можливо, декількома варіантами.

Опишемо розрахунки, що виконуються в блоці 4 при розв'язку задачі 2.

В цьому випадку на вході маємо:

Загальна схема розрахунків з використанням комплексу моделей



Блок 1. Прогноз питомих витрат для всіх вершин структури

Блок 2. Визначення динаміки енергоспоживання (загального або по галузях)

Блок 3. Визначення динаміки ВВП

Блок 4. Оптимізаційний розрахунок орієнтовних обсягів виробництва по дворівневій структурі "галузь-нижній рівень"

Блок 5. Імітаційний прогноз по дворівневій структурі

Блок 6. Поетапні оптимізаційні розрахунки орієнтовних обсягів виробництва по багаторівневій структурі

Блок 7. Поетапний імітаційний прогноз по багаторівневій структурі

Блок 8. Розрахунок всіх макропоказників та показників ефективності

Вхід 1. Ретроспектива питомих витрат та (або) експертні оцінки їх тенденцій

Вхід 2. Ретроспектива ВВП та (або) експертні оцінки його тенденцій

Вхід 3. Ретроспектива енергоспоживання та (або) експертні оцінки його тенденцій

Вхід 4. Задані обсяги виробництва для всіх вершин структури

Вхід 5. Обмеження на обсяги виробництва, питомі приведені витрати по всіх рівнях структури

Вхід 6. Ретроспектива структури та (або) експертні структурні тенденції

- значення b_i^t (b_{in}^t), розраховані в блоці 1;
- значення E_i^t , розраховані в блоці 2;
- задані значення Z_i^t ;
- задані значення $\underline{M}_i^t, M_i^t$ ($\underline{L}_i^t, L_i^t$) (ці величини можуть не задаватися).

Розраховуються орієнтовні рівні енергоспоживання E_i^t в підпорядкованих вершинах d_i . Вони визначаються як рішення слідуєчої лінійної оптимізаційної задачі:

$$\sum_{i=1}^n \left(Q_1 \frac{Z_i^t / b_i^t}{\sum_{j=1}^n Z_j^t / b_j^t} + Q_2 \frac{1/b_i^t}{\sum_{j=1}^n 1/b_j^t} \right) E_i^t \rightarrow \min \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n E_i^t = E^t \quad (7)$$

$$\underline{M}_i^t b_i^t \geq E_i^t \leq M_i^t b_i^t \quad (8)$$

(задача розв'язується для кожного року прогнозного періоду).

Цільова функція задачі є згортокою двох нормалізованих критеріїв: мінімум приведених витрат та максимум сумарного обсягу виробництва (ВВП). Q_1, Q_2 — частки критеріїв в згортці $Q_1 + Q_2 = 1$. Значення Q_1, Q_2 задаються експертно, можливо, декількома варіантами. Орієнтовні обсяги виробництва в підпорядкованих вершинах d_i розраховуються виходячи з розв'язку задачі по формулі:

$$S_i^t = E_i^t / b_i^t \quad (9)$$

Блок 5. Функціональний блок 5 використовується при розрахунках методом "знизу-вверх". Він формує остаточні значення обсягів виробництва в підпорядкованих вершинах d_i дворівневої структури "галузь — нижній рівень". Призначення блоку полягає в тому, щоб забезпечити задоволення остаточних розв'язків положень 1-8, що перераховані на початку цього розділу. Для цього використовується імітаційна структурна прогнозна модель.

Позначимо:

T — кількість років ретроспективного періоду;

$T1$ — кількість років прогнозного періоду.

На вхід блоку 5 поступають слідуєчі дані.

1. Ретроспектива обсягів виробництва по всіх підпорядкованих вершинах d_i : S_i^t ($t=1...T$); та їх сумарне значення в вершині d .

$$S^t = \sum_{i=1}^n S_i^t \quad (t=1...T) \quad (10)$$

2. Перспективні значення ВВП (сумарного обсягу виробництва, загального або по галузях) S^t

($t=T+1...T+T1$), розраховані в блоці 3:

3. Орієнтовні ("квазіоптимальні") значення обсягів виробництва S_i^t в підпорядкованих вершинах d_i для прогнозного періоду ($t=T+1...T+T1$), розраховані в блоці 4. Поступають також їх обмеження $\underline{M}_i^t, M_i^t$, якщо вони задані, що в загальному випадку не обов'язково.

4. Неформальні задані експертом пропозиції про перспективні структурні тенденції $\underline{P}_i^t, P_i^t$. Пояснимо це докладніше. Експерт може задати, що частка якої-небудь з підпорядкованих вершин d_{i1} буде зростати, а частка іншої d_{i2} — падати (відповідно $\underline{P}_{i1}^t > 1, P_{i2}^t < 1$). Можна задати, щоб частка однієї зростала швидше частки іншої тощо. Таким чином, обмеженнями $\underline{P}_i^t, P_i^t$ можна моделювати стимулювання директивними органами i -ої підпорядкованої вершини.

На виході блоку 5 — остаточні значення W_i^t обсягів виробництва в підпорядкованих вершинах d_i на прогнозний період ($t=T+1...T+T1$). Ці значення розраховуються виходячи з рішень слідуєчої нелінійної оптимізаційної задачі:

$$\max \left\{ \max_{\substack{t=1...T-1 \\ i=1...n}} \left\{ \frac{S_i^t - a_i / \Pi_i^t}{S_i^t} \right\} \right\},$$

$$\max_{\substack{t=T+1...t+1 \\ i=1...n}} \left\{ \frac{S_i^t - a_i F_i^t}{S_i^t} \right\} \rightarrow \min, \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i / \Pi_i^t = S^t, \quad (t=1...T-1) \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i F_i^t = S^t, \quad (t=T+1...T+T1) \quad (13)$$

$$\underline{M}_i^t \leq a_i F_i^t \leq M_i^t, \quad (t=T+1...T+T1), \quad i=(1...n) \quad (14)$$

$$\underline{P}_i^t \leq k_i h^t \leq P_i^t, \quad (t=1...T+T1-1), \quad i=(1...n) \quad (15)$$

$$h^t > 0, \quad (16)$$

де

$$\Pi_i^t = \Pi_i^t(k_i; h^t); \quad (17)$$

$$F_i^t = F_i^t(k_i; h^t); \quad (18)$$

$$a_i = S_i^t; \quad (19)$$

$$W_i^t = W_i^t(a_i; k_i; h^t). \quad (20)$$

Модель приведена без викладок, що роз'яснюють суть цільової функції та обмежень.

Прогнозні значення W_i^t (обсяги виробництва), отримані виходячи з розв'язків приведеної задачі, виражають максимально можливий баланс всіх вихідних передумов (ретроспектива, орієнтовні значення, експертні переваги та обмеження).

Блоки 6-7. Функціональні блоки 6-7 використовуються при розрахунках методом "зверху-вниз". При цьому структура економіки розглядається повністю, включаючи всі проміжні рівні. Для різних галузей можливі різні варіанти структур (багаторівнева класифікація за технологіями, по видах продукції, підгалузях, групах підприємств тощо).

Розрахунки по конкретному варіанту структури проводяться як поетапне динамічне розверстування по вершинах обсягів виробництва або рівнів енергоспоживання (в залежності від того, розв'язується задача 1 чи задача 2). На кожному етапі (ітерації) розглядається дворівнева структура, що складається з вихідної та підпорядкованих їй вершин. При цьому використовуються значення, отримані на попередній ітерації. Моделі, що застосовуються повністю аналогічні моделям, що приведені в описі блоків 4,5.

Очевидно, що метод "зверху-вниз" потребує значно більшого обсягу вихідних даних, ніж метод "знизу-вверх", тому що потрібні дані по всіх рівнях ієрархії. В той же час слід відмітити, що цей метод в більшій мірі відображає ідеологію централізованого планування.

Блок 8. Функціональний блок 8 використовується при вирішенні задачі 3 для розрахунку всіх макропоказників та показників ефективності, що відповідають заданому варіанту структури виробництва, а також при вирішенні задач 1,2, коли варіанти структури виробництва формуються автоматизовано.

Розраховуються слідуючі показники.

1. Загальний рівень енергоспоживання, що відповідає варіанту структури виробництва в t -ому році:

$$E_3^t = \sum_{i=1}^n W_i^t e_i^t, \quad (21)$$

(при розв'язанні задач 1,3)

де

W_i^t — обсяги виробництва (добавлена вартість) у вершинах нижчого рівня структури, що розглядається;

e_i^t - відповідні значення енергомосткості (для нижніх рівнів управління виробництвом в деяких випадках вони відповідають питомим витратам).

2. Рівень ВВП — V^t в t -ому році:

$$V^t = \sum_{i=1}^n W_i^t \quad (22)$$

(при розв'язанні задач 2,3)

3. Енергомосткість ВВП в t -ому році:

$$e^t = E_3^t / V^t \quad (23)$$

(при розв'язанні задач 1,2,3)

4. Рівні економії енергоресурсів за рахунок структурних зрушень та енергозберігаючих заходів, що впроваджуються, в t -ому році прогнозного періоду:

$$\Delta E^t = E_6^t - E_3^t, \quad (24)$$

(при розв'язанні задач 1,3)

де величина E_6^t відповідає рівню енергоспоживання, розрахованому методами, аналогічними викладеним в описі блоку 2.

5. Загальний рівень витрат в t -ому році, що відповідає варіанту структури виробництва:

$$Z^t = \sum_{i=1}^n Z_i^t W_i^t \quad (25)$$

(при розв'язанні задач 1,2,3)

Реалізація приведеної моделі показала її досить велику адекватність, точність розрахунків знаходиться в межах 5%.