

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



**Г.Г. Півняк, С.І. Випанасенко, О.І. Хованська,  
Ю.В. Хацкевич, Н.С. Дрешпак**

## **Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки,  
молоді та спорту України як навчальний посібник  
для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент»

Дніпропетровськ  
НГУ  
2013

**УДК 658.26:65.012.32(075.8)**  
**ББК 31.27**  
**С 39**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент» (лист № 1/11-15020 від 26.09.12).

*Рецензенти:*

А.К. Шидловський, академік НАН України, доктор технічних наук, професор (Київський інститут електродинаміки НАН України);

О.М. Сінчук, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем електропостачання та енергетичного менеджменту (Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського);

М.Й. Бурбело, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електротехнологічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту (Вінницький національний технічний університет).

**Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення: навч. посібник /**  
**С 39** Г.Г. Півняк, С.У. Випанасенко, О.І. Хованська та ін. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 214 с.

ISBN 978-966-350-375-2

Встановлено принцип побудови ефективної системи енергоменеджменту для енергоємного промислового підприємства. Наведено приклад такої системи, її змістовну частину та механізм виконання прийнятих рішень. Викладено математичний апарат, що використовує енергоменеджер, розкрито можливості інформаційного забезпечення системи енергоменеджменту.

**УДК 658.26:65.012.32(075.8)**  
**ББК 31.27**

© Г.Г. Півняк, С.І. Випанасенко, О.І. Хованська,  
Ю.В. Хацкевич, Н.С. Дрешпак, 2013.

ISBN 978-966-350-375-2

© Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.

## З М І С Т

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 СТРУКТУРА ТА МЕХАНІЗМ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ</b> .....	6
1.1 Загальні принципи побудови систем енергоменеджменту.....	6
1.2 Центри обліку енергії промислових підприємств.....	12
1.3 Загальні вимоги до контрольованих технологічних параметрів у центрах обліку енергії.....	25
1.4 Контроль ефективності використання енергії.....	40
1.5 Розробка типової структури системи енергоменеджменту вугільної шахти.....	59
1.6 Організація оперативного контролю й управління енерговикористання.....	71
1.7 Діяльність керівництва вугільної шахти при впровадженні та функціонуванні систем енергоменеджменту.....	79
1.8 Система контролю загального енергоспоживання вугільної шахти.....	88
1.9 Програмне забезпечення розрахунків у системі енергоменеджменту.....	93
<b>2 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ</b> .....	107
2.1 Теоретичні та методологічні основи для застосування методів математичної статистики.....	107
2.2 Теоретико-ймовірнісна модель похибок вимірювань.....	111
2.2.1 Класифікація похибок вимірювань.....	111
2.2.2 Імовірнісні характеристики похибки вимірювання.....	112
2.2.3 Методи виключення грубих похибок.....	116
2.3 Параметри досліджуваних чинників.....	118
2.3.1 Перевірка нормальності розподілу ймовірностей значень досліджуваних чинників.....	118
2.3.2 Визначення довірчих інтервалів.....	120
2.3.3 Показники точності вимірювання.....	122
2.3.4 Генеральна сукупність та вибірка.....	122
2.4 Дисперсійний аналіз.....	124
2.4.1 Однофакторний дисперсійний аналіз.....	124
2.4.2 Двофакторний дисперсійний аналіз.....	129
2.5 Кореляційний аналіз.....	136
2.5.1 Числові характеристики системи двох випадкових величин.....	136
2.5.2 Кореляційне відношення. Властивості коефіцієнта кореляції та кореляційного відношення.....	137
2.6 Регресійний аналіз.....	139
2.7 Оцінки генеральних параметрів за даними вибірки.....	143
2.7.1 Інтервальна оцінка функції регресії.....	145
2.7.2 Оцінка коефіцієнтів кореляції та регресії за даними вибірки.....	150
2.8 Нелінійна кореляція.....	152

2.9	Нормальна кореляція. Двовимірний нормальний розподіл.....	153
2.10	Множинна кореляція.....	154
2.10.1	Система трьох випадкових величин.....	154
2.10.2	Рівняння площин регресії.....	157
2.10.3	Часткові коефіцієнти кореляції.....	159
2.10.4	Множинні коефіцієнти кореляції.....	160
2.10.5	Оцінка коефіцієнтів кореляції і регресії в системі трьох випадкових величин за вибірковими даними.....	160
2.10.6	Композиція законів розподілу.....	161
2.11	Приклад прогнозування енерговитрат на гірничому підприємстві....	162
<b>3</b>	<b>МЕТОДИ ОБРОБКИ І ПОДАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ.....</b>	<b>170</b>
3.1	Види і задачі групувань. Табличне подання даних.....	170
3.2	Загальні особливості графічного подання даних.....	176
3.2.1	Класифікація графіків за формою графічного зображення.....	176
3.2.2	Класифікація графіків за призначенням і способом побудови зображення.....	177
3.3	Ряди динаміки.....	178
3.3.1	Зіставлення рівнів динаміки.....	179
3.3.2	Графічне зображення рядів динаміки.....	181
3.4	Ряди розподілу.....	182
3.5	Аналіз структури явищ.....	186
3.6	Порівняльний аналіз з допомогою графічних зображень.....	189
3.7	Взаємопов'язані графіки.....	192
3.8	Статистичні карти.....	194
3.9	Статистичний контроль якості.....	198
3.9.1	Контроль якісної ознаки.....	199
3.9.2	Контроль кількісної ознаки.....	199
3.9.3	Контрольні карти.....	200
	Додаток 1.....	206
	Список літератури.....	212



## ВСТУП

Принципи управління енерговикористанням промислових підприємств ґрунтуються на особливостях структурної побудови самого апарату, існуючій підпорядкованості його окремих ланок, функціональному розподілі обов'язків між керівниками підрозділів. Уведення відповідальності за енерговикористання підприємством у рамки посадових обов'язків головного енергетика без тісного зв'язку його діяльності з керуванням процесами безпосередньо на робочих місцях, призводить до зниження енергоефективності виробництва.

Залучення до управління енерговикористанням керівників структурних підрозділів підприємства, безпосередніх виконавців технологічних операцій, розширення їх повноважень та посилення відповідальності у сфері енергозбереження відкриває нові можливості для організації процесу на принципово нових підходах. Планування обсягів енергоспоживання відповідно в структурних підрозділах підприємства, їх зіставлення з фактичним споживанням створює усі можливості для безперервного контролю показників енергоефективності, їх суттєвого покращення в процесі управління. Системи енергоменеджменту промислових підприємств, де застосовуються нові принципи управління, відомі в світовій практиці і мають високу ефективність роботи. У посібнику викладено основні принципи структурної побудови таких систем, визначено зміст та послідовність взаємодії її окремих складових, наведено конкретні приклади реалізації. Це служить основою для широкого впровадження систем енергоменеджменту на промислових підприємствах.

У процесі створення системи енергоменеджменту необхідно приділити увагу її математичному та інформаційному забезпеченню. Функція контролю енергоспоживання потребує високої достовірності зроблених висновків, точності прогнозованих характеристик. Служба енергоменеджменту для вирішення конкретних завдань повинна використовувати методи математичної статистики. Слід забезпечити наявність інформації, її доступність до всіх учасників процесу виготовлення продукції. Важливо розкрити динаміку зміни показників енергоефективності, виділити позитивні і негативні сторони, створити умови для змагання колективів між собою за високі досягнення у сфері енергозбереження. Розділи 2 і 3 навчального посібника дають основу для визначення змісту та порядку застосування математичного, інформаційного забезпечення в процесі створення та функціонування системи енергоменеджменту промислового підприємства. Викладення матеріалу супроводжується конкретними прикладами.

# **1. СТРУКТУРА ТА МЕХАНІЗМ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

## **1.1. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

Система енергетичного менеджменту – це частина загальної сфери управління підприємством, основне завдання якої – це ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів. Вона включає в себе організаційну структуру, ресурси для формування, впровадження, досягнення цілей енергозберігаючої політики підприємства. Впровадження систем енергоменеджменту на підприємствах України дозволить підвищити рівень контролю використання енергії, зменшити її питомі витрати в технологічних процесах.

Існуючі методи управління енерговикористанням виробничих підприємств нині не такі ефективні і потребують удосконалення. Основні функції такого управління виконує служба головного енергетика. Вона не має розгалуженої та відповідно підготовленої структури, здатної здійснювати ефективний контроль рівня витрат енергії на різних стадіях промислового виробництва. Відсутні також технічні засоби, які дозволяли б сповна контролювати виробничі ділянки і оцінювати показники енергоефективності. Важлива особливість діючої системи управління енерговикористанням полягає в покладенні відповідальності за стан справи на одну особу – головного енергетика підприємства, який, в принципі, не має ефективного механізму для виконання цих функцій. В існуючій ситуації необхідно створювати нову систему управління, побудовану на інших принципах і здатну навести порядок у використанні енергії.

Перш за все необхідно обґрунтувати можливий принцип побудови системи енергоменеджменту, визначити існуючий рівень контролю енергії на діючих підприємствах, висвітлити недоліки діючого обліку, сформулювати пропозиції щодо його вдосконалення.

Процес управління складається з декількох етапів:

- вимірювання керованих параметрів;
- зіставлення результатів вимірювань із завданням;
- розробка керуючих дій.

Така послідовність дій характерна і для систем енергоменеджменту. Вона відтворена у широко розповсюджених у світовій практиці системах контролю і нормалізації енергоспоживання [1].

Спосіб керування використанням енергії, закладений у таких системах, є достатньо ефективним. Він може бути застосований при управлінні енерговикористанням будь-якого підприємства. Відомі загальні принципи побудови цих систем. Основна ідея полягає у персональній відповідальності керівників окремих підрозділів підприємства за показники ефективності енергоспоживання в цих підрозділах. Конкретна реалізація системи можлива при враховуванні особливостей підприємства, для якого здійснюється така розробка. Так, наприклад, у Великобританії ця система використовується більш

ніж у 25 галузях промисловості і торгівлі. Системи забезпечують стабільну економію енергії (5–15%) на підприємствах різного профілю. Характерно, що проведення енергетичних аудитів не привело до таких значних результатів. Це пояснюється тим, що ревізія енергоспоживання дає миттєву картину ситуації з енерговикористанням і не гарантує того, що в процесі тривалого впровадження енергозберігаючих заходів їх ефективність залишиться достатньо високою. Крім того, як свідчить практика, тільки частина енергозберігаючих заходів, запропонованих в результаті проведення енергоаудитів, упроваджується. Як правило, це ті рішення, які добре відпрацьовані і складають основу бізнесу енергосервісних компаній (ЕСКО). Інші підлягають забуттю і з часом втрачають свою актуальність.

Характерною особливістю систем контролю і нормалізації є безперервність процесу контролю та управління. Цей підхід до управління узагальнив досвід розвинених країн у досягненні максимального ефекту в проведенні політики енергозбереження на підприємстві. Це стало можливим завдяки чіткій організації структури системи енергоменеджменту, визначенню конкретних дій її окремих ланок, рішенню проблем інформаційного забезпечення і наукового супроводу.

Враховуючи вище викладені переваги системи, доцільно використати ці позитивні моменти при створенні системи енергоменеджменту промислового підприємства. Наведена нижче структурна схема (рис. 1.1.1) пояснює механізм дії системи.

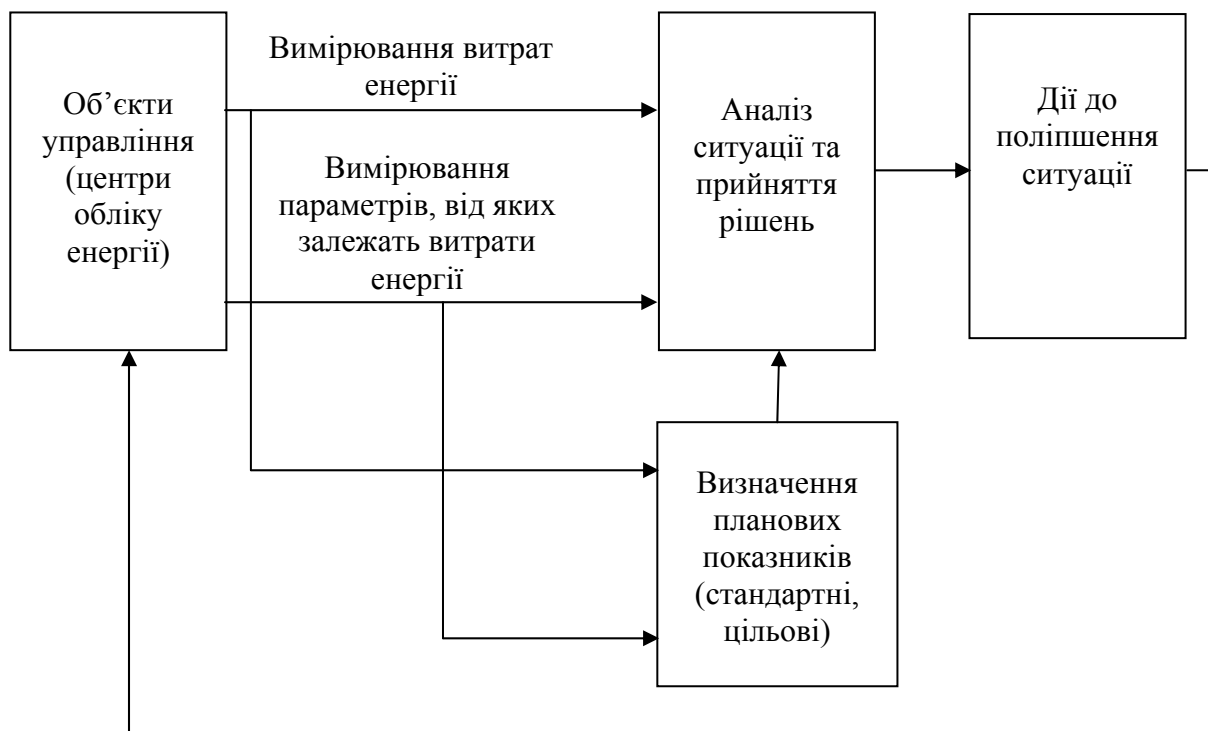


Рис. 1.1.1. Структура системи енергоменеджменту

Ефективне управління енергоспоживанням підприємства можливе тоді, коли мінімізація витрат енергії буде досягнута безпосередньо на робочих місцях, тобто там, де ця енергія використовується. Для здійснення такого управління необхідно забезпечити відповідальність за ефективне енергоспоживання безпосередньо в структурних підрозділах підприємства. Таким чином, структурні підрозділи підприємства самостійно вирішують питання енергозбереження, а їх керівники відповідають за результати такої діяльності. У системі енергоменеджменту технологічні об'єкти виділених підрозділів являють собою об'єкти управління, де необхідно забезпечити високу енергоефективність процесів. Як правило, на підприємстві виділяють декілька об'єктів.

Об'єкт управління може являти собою технологічну лінію, сукупність однотипного устаткування, що має компактне розташування, виробничі ділянки підприємства. Важливо, щоб енергоспоживання цих об'єктів було значним, та були можливості для його вимірювання. Крім того, повинні бути визначені особи з числа персоналу управління, які відповідають за ефективність енергоспоживання на об'єкті. Такі об'єкти, які виділені в структурі підприємства, отримали назву центрів обліку енергії (ЦОЕ). У ЦОЕ необхідно визначити параметри режиму, від яких залежить енергоспоживання, і виділити з їх числа головні (ті параметри, які в більшій мірі впливають на витрати енергії).

Збір інформації про рівень витрат енергії і про параметри, які його визначають, здійснюється в перебігу певного часу. Цей час повинен бути достатнім для отримання необхідного обсягу статистичної інформації і визначення на її основі стандартних планових показників (регресійної залежності, побудованої за результатами попередніх вимірювань).

У поточний період контроль за рівнем енергоспоживання в ЦОЕ здійснюється на основі поточних вимірювань (раз на день, тиждень, місяць або за інший період часу). Ці показники зіставляються з плановими. На цій основі робиться висновок про стан енергоспоживання на об'єкті. Важливо те, що контролюється показник енергоефективності технологічного процесу, який визначається витратами енергії на досягнення результату цього процесу. Саме тому вимірюють параметри, від яких залежить рівень енергоспоживання (наприклад, обсяг виготовленої продукції). Далі складаються звіти, які підлягають аналізу спеціально створеними для цього структурами (відділами контролю енергоспоживання). У цих відділах спільно з управлінськими структурами підприємства виробляються рішення, які сприяють поліпшенню ситуації. Контролюється виконання прийнятих для реалізації в ЦОЕ рішень.

Очевидно, що ситуація на об'єкті управління періодично змінюється. Це пов'язано з використанням нових технологій, сучасного високопродуктивного устаткування, з реалізацією енергозберігаючих заходів. Такого роду зміни повинні сприяти зменшенню питомих витрат енергії в ЦОЕ. Тому необхідно змінювати і планові показники. Це має відтворюватися у формуванні цільових планових показників, орієнтованих на зміну ситуації в об'єкті управління.

Таким чином, функціонування системи енергоменеджменту слід розглядати як безперервний процес, здатний урахувати зміни, що відбуваються на об'єкті, конкретні особливості його експлуатації, мінливість параметрів режиму в часі. Саме тому йдеться мова про нормалізацію енергоспоживання як «індикатор, здатний урахувати різні обставини використання енергії на об'єкті» [1].

Зрозуміло, що після закінчення певного проміжку часу система забезпечить мінімальне енергоспоживання на об'єкті, виходячи з конкретних умов його роботи. Це є дуже важливою обставиною, оскільки значення питомих норм енергоспоживання (планові показники) формуються безпосередньо на підприємстві. Вони не залишаються постійними, а змінюються залежно від ситуації. Ці норми отримані в реальному масштабі часу і використовуються для безперервного аналізу і прийняття рішень. Крім того, існує система, що здатна поліпшити ці показники.

Характерною особливістю розглянутої структури є замкненість системи управління. Дійсно, існує зворотний зв'язок між визначеними діями з покращення ситуації та об'єктом керування. Повинні бути розроблені дієві механізми для реалізації тісного зворотного зв'язку. Його відсутність приведе до непрацездатності системи. Слід усвідомити, що мова йде не про автоматизовану систему управління, а систему, яка передбачає чітку взаємодію персоналу, який задіяний для її роботи.

Підсумовуючи, виділимо декілька важливих пунктів, що стосуються функціонування системи енергоменеджменту:

- вимірювання в ЦОЕ рівнів споживання різних видів енергії та палива, а також параметрів, від яких залежать ці рівні;
- розробка планових показників енергоспоживання та оцінка ефективності використання енергії в окремих ЦОЕ і в межах підприємства у цілому;
- надходження інформації про енерговикористання об'єкта в належній для аналізу формі;
- розробка заходів з енергозбереження та створення механізму їх реалізації.

Впровадження систем енергоменеджменту на виробничих підприємствах передбачає виконання попередніх дій відносно визначення існуючого на ньому ступеня контролю енерговикористання. Це дозволяє порівняти його із світовими стандартами і зробити висновок стосовно необхідності впровадження системи контролю більш високого рівня. Розглянемо деякі характерні особливості, що визначають існуючий рівень та ознаки контролю. Вони наведені в табл. 1.1.1. Так, характерною ознакою процесу, що відповідає першому рівню контролю, є фіксація щомісячних рахунків на оплату енергії. Така форма контролю широко використовується у разі, коли керівники підприємства не приділяють достатньої уваги процесу енерговикористання. Очевидно, що прибутки підприємства значно перевищують витрати на одержання енергоносіїв. Високі рівні контролю, що визначені в табл. 1.1.1, відповідають ситуації, коли існує необхідність у більш детальному аналізі

витрат і зменшенні їх рівня. Особливість такого контролю полягає у зменшенні терміну реєстрації показань лічильників енергії, визначенні показника питомих (наприклад, на одиницю виробленої продукції) витрат енергії. Уведення в дію моніторингу рівня витрат енергії дозволяє оперативно реагувати на зміну ситуації в енергопостачанні, а визначення енергоефективності процесу сприяє реальній оцінці результатів, досягнутих завдяки використанню енергії. Перенесення акценту відповідальності за енергоспоживання безпосередньо на підрозділи підприємства (в ЦОЕ) сприяє поглибленню процесу контролю, розширює його можливості. Забезпечується оперативне виявлення та ліквідація недоліків. Найвищий рівень контролю (п'ятий) досягається при впровадженні енергоменеджменту, що функціонує на принципах системи контролю і нормалізації енергоспоживання. Тут реалізується увесь перелік позитивних ознак.

Таблиця 1.1.1

*Рівні та ознаки процесу контролю*

<b>Рівень контролю</b>	<b>Ознаки процесу</b>
1	Фіксуються тільки щомісячні рахунки на оплату енергії
2	Щомісячні показання лічильників звіряються з рахунками на оплату
3	Контролюються витрати енергії в окремих структурних підрозділах підприємства
4	Щомісячні показання лічильників зіставляються з випуском продукції підприємством і визначаються питомі витрати енергії (енергоефективність)
5	Здійснюється оперативний контроль показників енергоефективності в ЦОЕ підприємства

Аналіз ситуації з енерговикористання підприємства дозволяє виявити існуючі рівні контролю і визначити заходи, що сприяють їх розширенню і формуванню на цій основі системи, яка відповідає світовому рівню енергоменеджменту.

Економне використання енергії можливе за наявності важелів фінансової дії на виконавців технологічних операцій. Саме тому важлива відповідь на питання: “Хто платить за енергію, спожиту підприємством?” існують декілька рівнів, що визначають прогресивність існуючої системи оплати (табл. 1.1.2).

Якщо сплачує за спожиту енергію бухгалтерія підприємства і ніяким чином не враховується внесок окремих підрозділів підприємства в загальну суму боргу, то зникають підстави для економії енергії на робочих місцях. Економія енергії не впливає на матеріальний стан підрозділу. Тому більш високі рівні системи оплати передбачають матеріальну відповідальність за нераціональне використання енергії. У разі наявності на підприємстві ЦОЕ така відповідальність покладена на цей підрозділ.

*Рівні системи оплати за спожиту енергію*

<b>Рівень</b>	<b>Оплату здійснює</b>
1	Бухгалтерія підприємства
2	Відділ енергопостачання
3	Кожний виробничий відділ підприємства відповідно до встановленого пропорційного розподілу
4	Кожний підрозділ підприємства (ЦОЕ) за спожиту ним енергію

На підприємстві має діяти матеріальне стимулювання виробничих підрозділів за ефективне використання енергії. Ця умова обов'язкова для успішного функціонування системи енергоменеджменту і відповідає четвертому рівню системи оплати підприємства за спожиту енергію. Уведення матеріального стимулювання докорінно змінює ситуацію з енерговикористанням на робочих місцях, сприяє зростанню відповідальності виконавця та підвищенню енергоефективності процесів.

Наведемо приклад оцінки рівня сучасного стану контролю за енергоспоживанням та рівня системи оплати за спожиту енергію на вугільних шахтах України. Електрична енергія складає основу енергоспоживання вугільних шахт. В обов'язковому порядку шахти мають лічильники комерційного обліку, які встановлені на ввіді системи електропостачання. На деяких шахтах є додаткові лічильники технічного обліку, які встановлені для визначення енерговитрат потужних споживачів. Ці ознаки згідно з табл. 1.1.1 відповідають другому та третьому рівням контролю. Зрозуміло, що системи контролю повинні вдосконалюватися шляхом виділення на шахті окремих ЦОЕ та забезпечення контролю рівня енергоефективності виробничих процесів.

Оплату за спожиту енергію шахтою здійснює бухгалтерія підприємства. Підрозділів, які самостійно розраховуються за спожиту енергію, в існуючій структурі шахти не існує. Тому рівень сучасного стану оплати підприємства за спожиту енергію залишається низьким (відповідає першому). Необхідність введення матеріального стимулювання для підвищення енергоефективності виробничих процесів наявна.

Аналогічні висновки можна зробити стосовно інших галузей промисловості. Існуючі рівні контролю споживання енергії на промислових підприємствах низькі. Характерна і низька забезпеченість засобами обліку енергії, відсутня відповідальність окремих підрозділів за рівні спожитої енергії. Витрати енергії не зіставляються з результатами праці (енергоефективність не оцінюється).

### **Контрольні питання**

1. Що вкладають в поняття «система енергетичного менеджменту»?
2. Наведіть структурну схему системи енергоменеджменту та поясніть механізм її дії.
3. Назвіть основні ознаки високого рівня контролю енергоспоживання на підприємстві.

4. Аргументуйте доцільність виділення центрів обліку енергії (ЦОЕ) на підприємстві.

5. Обґрунтуйте необхідність контролю енергоефективності технологічних процесів у центрах обліку енергії.

## 1.2. ЦЕНТРИ ОБЛІКУ ЕНЕРГІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Важливим етапом у створенні систем енергоменеджменту є визначення центрів обліку енергії. Виходячи з того, що ЦОЕ є об'єктом управління, то слід звернути увагу на процедури його формування з урахуванням вимог, яким він повинен відповідати. Це:

- значне енергоспоживання структурного підрозділу підприємства, на базі якого створюють ЦОЕ;
- облік усієї спожитої ЦОЕ енергії;
- призначення особи, яка буде відповідати за ефективність енергоспоживання ЦОЕ.

У виділених в рамках промислового підприємства ЦОЕ має здійснюватися контроль більшої частини споживаної підприємством енергії. Це досягається тим, що ЦОЕ створюють на базі енергоємних споживачів. Таким чином, при порівняно незначній кількості ЦОЕ здійснюється контроль значної частини енергії. Бажано, щоб результати роботи ЦОЕ були легко контрольованими. Це дозволить аналізувати та покращувати показники енергоефективності роботи підрозділу. Найбільш удалий приклад виділення окремого ЦОЕ – це його формування на основі технологічної лінії з контрольованою кількістю продукції, одержаної в певних проміжках часу. Тоді існує можливість для співставлення витрат енергії з обсягом виготовленої продукції, тобто можливість визначення енергоефективності процесу. Як визначити найбільш енергоємних споживачів? Для цього необхідно проаналізувати річні енергобаланси підприємства, де загальні витрати енергії розподіляються між окремими підрозділами, а також споживачами енергії. Якщо енергобаланси підприємства не складені, то існує можливість для аналізу паспортних даних основного (енергоємного) обладнання. Його розташування на території підприємства надасть інформацію про можливе розміщення ЦОЕ. Для прикладу проаналізуємо енергобаланси вугільних шахт.

Слід зазначити, що основні складові витрат електричної енергії на шахтах визначені. Їх перелік відомий. Проте співвідношення енерговитрат за окремими статтями енергобалансів на різних підприємствах між собою відрізняються. Це визначається умовами видобутку вугілля. Нижче будуть наведені енергобаланси деяких шахт, які дозволяють судити про найбільш вагомні статті енерговитрат і процентні співвідношення між ними.

Орієнтовні межі енергоспоживання (%) такі [3]:

- |                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| - видобуток і підготовчі роботи | 5 – 20 |
| - транспортування               | 2 – 10 |



- підйом	10 – 30
- водовідлив	5 – 40
- вентиляція	20 – 30
- компресори	10 – 60
- освітлення	2 – 5
- власні потреби	10 – 20

На шахтах з пологим заляганням пластів частка використання енергії компресорними установками незначна. При крутому заляганні пластів широко використовують устаткування, що працює на стислому повітрі. Тут частка відповідних енерговитрат зростає (до 60%).

Розглянемо енергобаланс (%) підземних споживачів, виконаний, наприклад, для шахти «Південнодонбаська №1» (Західний Донбас):

- головні водовідливні установки	3,3
- підземний транспорт:	
• електровози	0,9
• магістральні конвеєри	10
• транспортування людей і вантажу	0,9
- ділянки видобутку	10,5
- підготовча ділянка	7,2
- інші споживачі	0,9
Усього (від загального споживання шахтою)	33,7

У загальних витратах на придбання паливно-енергетичних ресурсів на шахтах з пологим падінням пластів вартість електроенергії складає 81–90%, вугілля для власних потреб (котельня) 5–15%, води – 3,8–5,3%, а на шахтах з крутим падінням пластів відповідно 80–87, 6–13, 4–7. Це підтверджує значну частку електроенергії в структурі витрат.

Для шахти, показники якої наведені в міжнародному стандарті «Методи визначення норм витрачання електроенергії гірничими підприємствами» (ДСТ 30356-96), структура електроспоживання (%) має такий вигляд:

- видобувні ділянки	5,26
- підготовчі ділянки	1,29
- підземний транспорт	5,6
- кондиціонування повітря	10,88
- підйом	13,32
- водовідлив	14,28
- вентиляція	17,13
- технологічний комплекс поверхні	3,75
- вироблення стислого повітря	2,46
- інші електроприймачі	20,58
- освітлення	0,69
- втрати електроенергії	4,76

З наведеного виходить, що існуючі і рекомендовані показники електроспоживання відрізняються істотно. Структура електробалансу повинна змінюватися шляхом зменшення витрат на більш енергоємні складові: водовідлив, підйом, вентиляція шахт. Наведені складові енергобалансу відповідають повному переліку виконуваних на шахті робіт. Ступінь неврахованих витрат енергії низька. Це важливий факт для правильного визначення місця створення ЦОЕ, де основна частина використаної енергії повинна бути врахована.

Важливо те, що наведені у відсотках цифри енергобалансів значні. Це доводить, що вказані статті витрат енергії доцільно було б контролювати окремими ЦОЕ, тобто в першому наближенні кожній статті витрат повинен відповідати свій центр. Наскільки можливим є такий підхід до виділення центрів, виявлять дослідження інших умов, характерних для ЦОЕ. Розкид у відсотках, що спостерігається в статтях витрат енергії наведених енергобалансів, не може вплинути на загальний висновок про необхідність контролю за відповідними статтями енерговитрат у рамках окремих ЦОЕ. Крім того, в ЦОЕ буде здійснений достатньо точний облік, який дозволить легко формувати енергобаланси шахт для будь-якого періоду їх роботи.

Наступна вимога до ЦОЕ полягає у необхідності обліку всієї спожитої центром енергії. Ця вимога зумовлена повною відповідальністю керівництва ЦОЕ за обсяги споживання енергії. Мова йде про всі види енергії та палива, які використовує центр. Чіткий облік обсягів енергоспоживання не викликає сумніву відносно того, що енергія спожита безпосередньо в ЦОЕ. Це є основою для впровадження повної відповідальності за рівень витрат енергії в ЦОЕ. Локалізація обліку енергоспоживання ЦОЕ потребує детального аналізу існуючих на підприємстві систем розподілу енергії. Мова йде про розподільні системи електроенергії, газу, води, пари та ін. Якщо структура розподільної системи така, що забезпечує енергопостачання декількох ЦОЕ, то для обліку енергоспоживання необхідно встановити лічильники для кожного з них. Тому процес формування ЦОЕ, як правило, передбачає встановлення додаткових лічильників, а аналіз існуючих розподільних систем дозволяє визначити конкретні місця для їх встановлення.

Для розрахунку кількості додаткових лічильників можна користуватися методикою, яка визначає залежність їх кількості від рівня витрат коштів підприємством на оплату даного виду енергії ( $A$ ). Тоді сума коштів, необхідна для придбання додаткових лічильників, визначається за такою формулою:

$$C = \frac{APt}{100}, \quad (1.1)$$

де  $P$  – потенціальна економія енергії, яка буде досягнута завдяки встановленню додаткових лічильників, %;  $t$  – встановлений період окупності коштів, виділених на придбання лічильників, роки.

Типові значення параметра  $P$  наведені в табл. 1.2.1.

Значення параметра  $P$ 

Енергоресурс	Значення параметра $P$ , %
Електроенергія	3
Газ, нафта	5
Пара	5
Вода	5 – 10
Стиснене повітря	10

Кількість придбаних лічильників може бути меншою за необхідну для формування ЦОЕ (відповідно до переліку місць їх установлення в системах розподілу енергії). У цьому випадку лічильники встановлюють у місцях зі значним енергоспоживанням. Крім того, слід звернути увагу на характер споживання енергії.

Розглянемо, наприклад, процес формування ЦОЕ на вугільних шахтах. Оцінимо можливість їх створення відповідно до статей, наведених вище енергобалансів шахт. Для цього слід проаналізувати структури існуючих на шахтах систем розподілу електричної енергії.

Структура електричних мереж, що забезпечує розподіл електроенергії на поверхні шахти, залежить від цілого ряду чинників: значень навантажень (підйомні установки, компресори, вентиляційні установки), розташування їх на території поверхні, існуючої системи зовнішнього електропостачання шахти та інших. Розглянемо найбільш розповсюджені варіанти.

На рис.1.2.1 наведена принципова схема електропостачання шахти великої продуктивності з глибоким уводом напругою 110 кВ і двома головними знижувальними підстанціями (ГЗП).

ГЗП №1 розташована на основному проммайданчику, ГЗП №2 – на проммайданчику вентиляційного стовбура. Для розподілу енергії на поверхні передбачено 8 трансформаторних підстанцій. Підземні споживачі отримують живлення за відокремленою схемою від спеціальних розділових трансформаторів напругою 6/6 кВ.

Аналіз схеми виявив, що на підстанціях є комутаційні пристрої, які забезпечують живлення вентиляційних установок, компресорів, скіпового підйому, клітьового підйому, а також інших об'єктів технологічного комплексу поверхні. Існує також мережа живлення підземних електроустановок. Таким чином, спостерігається відповідність у структурі схеми розподілу електроенергії на поверхні шахти і в структурі наведених раніше енергобалансів. Така відповідність обґрунтована, бо енергобаланси повинні складатися (і склалися) за результатами обліку енергії на підстанціях. Очевидно, що якщо підстанції будуть забезпечені засобами обліку енергії, то це дозволить у передбачуваних центрах (ЦОЕ) контролювати складові, відповідні наведеним раніше енергобалансам.

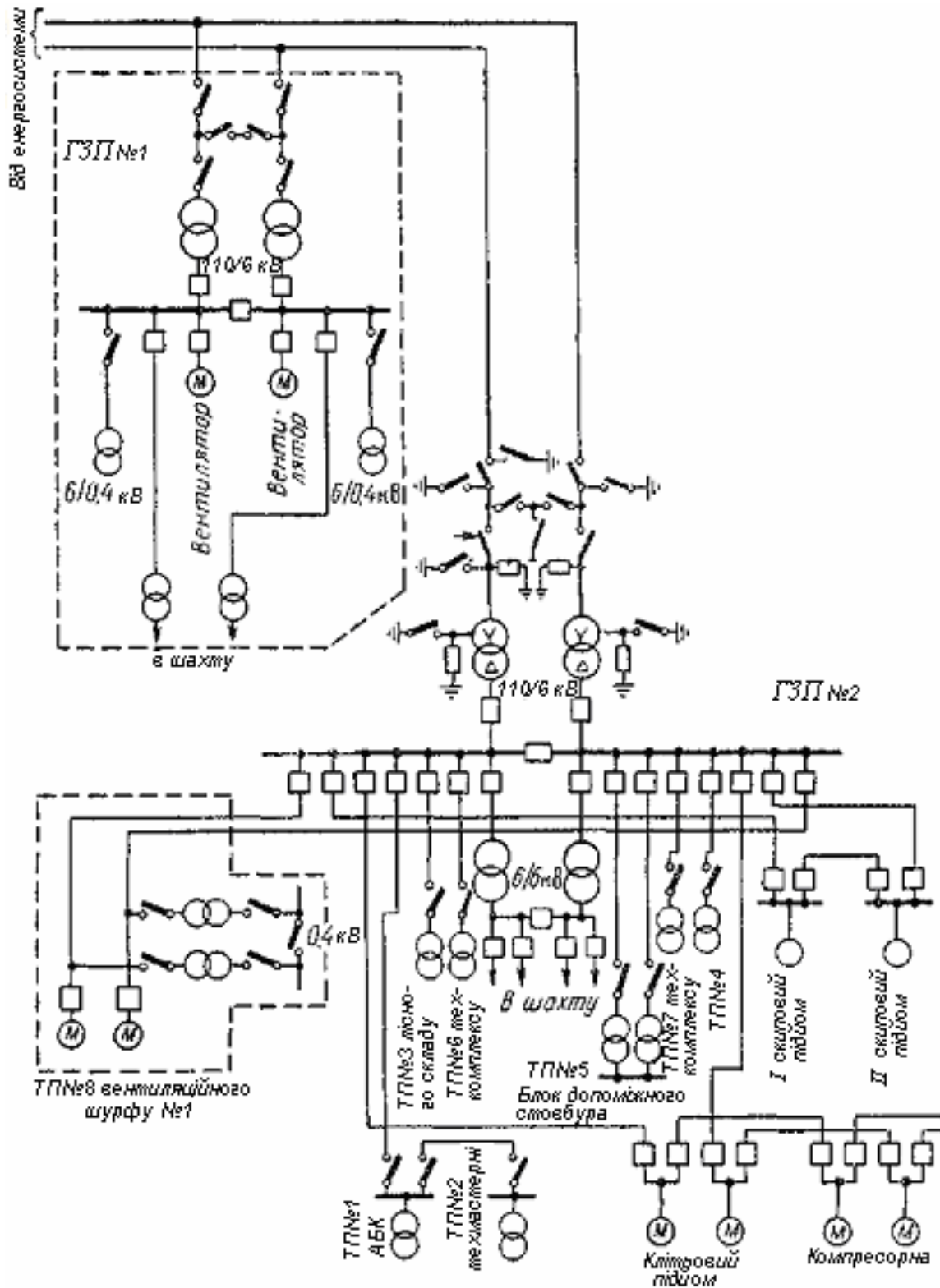


Рис. 1.2.1. Принципова схема живлення електроустановок на поверхні шахти з глибоким уводом напругою 110 кВ і двома ГЗП

Розглянемо наступну схему (рис.1.2.2). Ця схема електропостачання використовується при великій продуктивності шахти і має глибокий увід напругою 110 кВ.

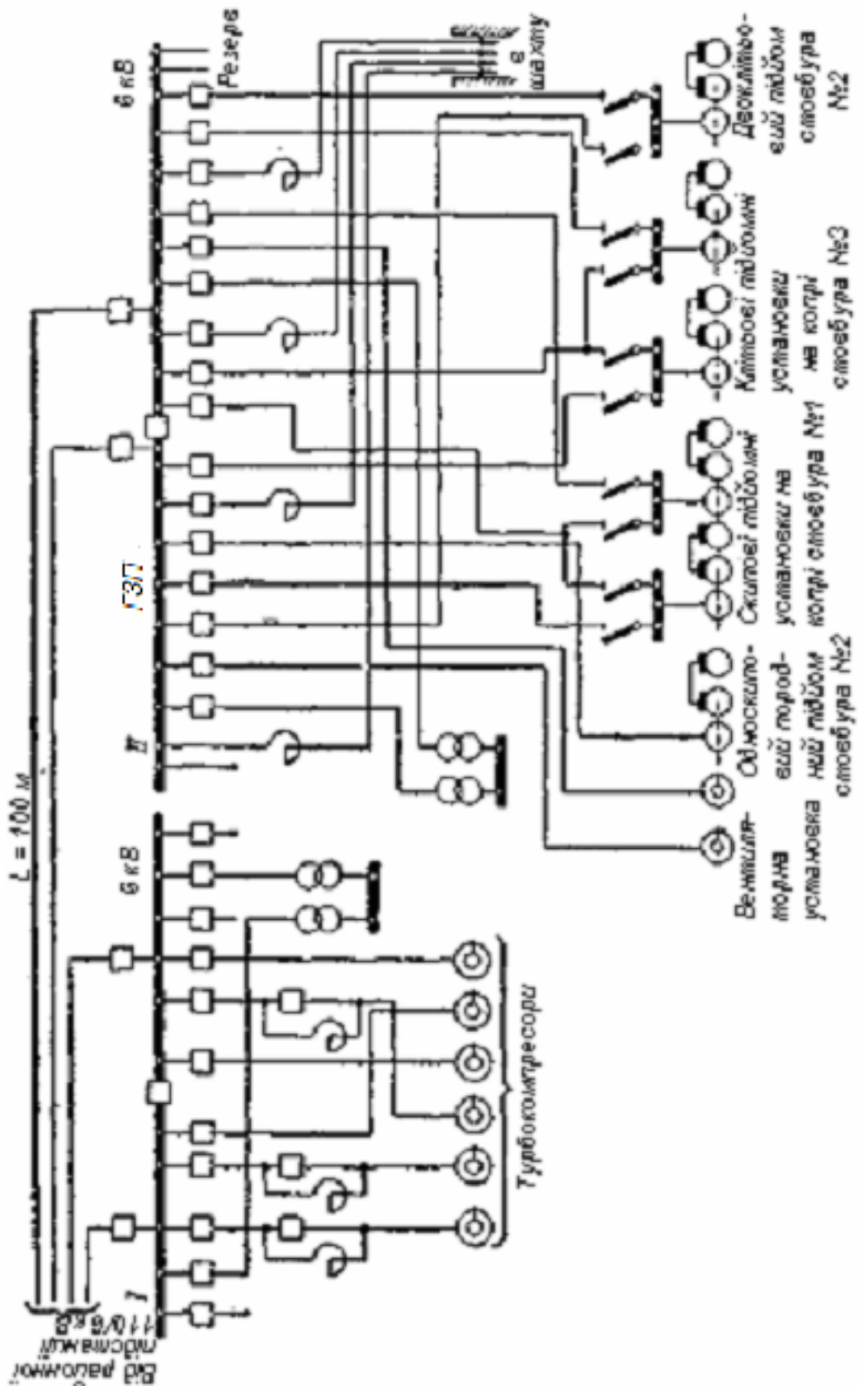


Рис. 1.2.2. Принципова схема живлення електроустановок на поверхні шахти з однією ГЗП

Система має одну ГЗП і потужну турбокомпресорну станцію. Враховуючи значну потужність турбокомпресорної станції, її живлення відокремлено від інших споживачів поверхні і здійснюється безпосередньо від районної підстанції. Живлення підземних споживачів здійснюється по чотирьох кабельних лініях. До системи живлення підключені вентиляційні, підйомні установки, що також підтверджує визначену раніше відповідність у структурі схеми розподілу енергії й енергобалансів.

Звичайно, схеми розподілу електроенергії на поверхні шахти можуть мати особливості, характерні для конкретної шахти. Наприклад, використовуються схеми живлення підземних ділянок шахти від ГЗП, розташованої на поверхні, через свердловини. Для зменшення складової ємнісного струму витоку використовують схеми відокремленого живлення підземних електроприймачів. Перелічені особливості по своїй суті не змінюють загальних принципів побудови систем електропостачання, тому висновки, зроблені вище, з можливими застереженнями можна вважати універсальними.

Деякі установки однакового призначення (наприклад, вентиляційні або компресорні установки) отримують живлення з використанням декількох вимикачів. Очевидно, що у разі створення відповідних ЦОЕ для забезпечення обліку енергії потрібно встановити декілька лічильників.

Вибір схем електропостачання підземних виробок залежить від низки чинників: глибини шахти, розмірів шахтного поля, віддаленості від стовбура ділянок, що розробляються, потужності електроприводів, способу розкриття родовища та ін. Живлення електроенергією установок ділянок видобування і підготовчих робіт здійснюється кабелями, прокладеними у стовбурі (понад 350м) або кабелями, прокладеними в свердловинах, спеціально пробурених для цього, або в шурфах. При будь-якому способі живлення, прокладання кабелів, живлячих водовідливні установки і споживачів пристовбурного двору, здійснюється через стовбур. Нагадаємо, що живлення підземних споживачів здійснюється від ГЗП, розташованих на поверхні шахти. Якщо розмістити в цих фідерах лічильники електричної енергії, то можна здійснювати облік електроенергії, що споживається установками під землею. Цей варіант простий в реалізації, проте має суттєвий недолік – неможливість контролю енергоспоживання окремих установок виробничих ділянок (видобутку, прохідницької та транспортної техніки, водовідливу). Оскільки обсяги підземного енергоспоживання значні, то контроль над роботою окремих ділянок вкрай необхідний. Тому, виходячи із загальних принципів побудови систем контролю і нормалізації, уявляється доцільним разом з ЦОЕ, розташованими на поверхні шахт, мати ЦОЕ під землею. Реалізація такого обліку енергії можлива у випадку, коли існують лічильники електричної енергії, які можна використовувати в шахті під землею.

Розглянемо існуючі схеми електропостачання установок підземних виробок і визначимо можливі місця для встановлення лічильників. По кабелях, що прокладаються у стовбурі, електроенергія надходить в центральну підземну підстанцію (ЦПП), яка розташовується в пристовбурному дворі шахти (рис.1.2.3).

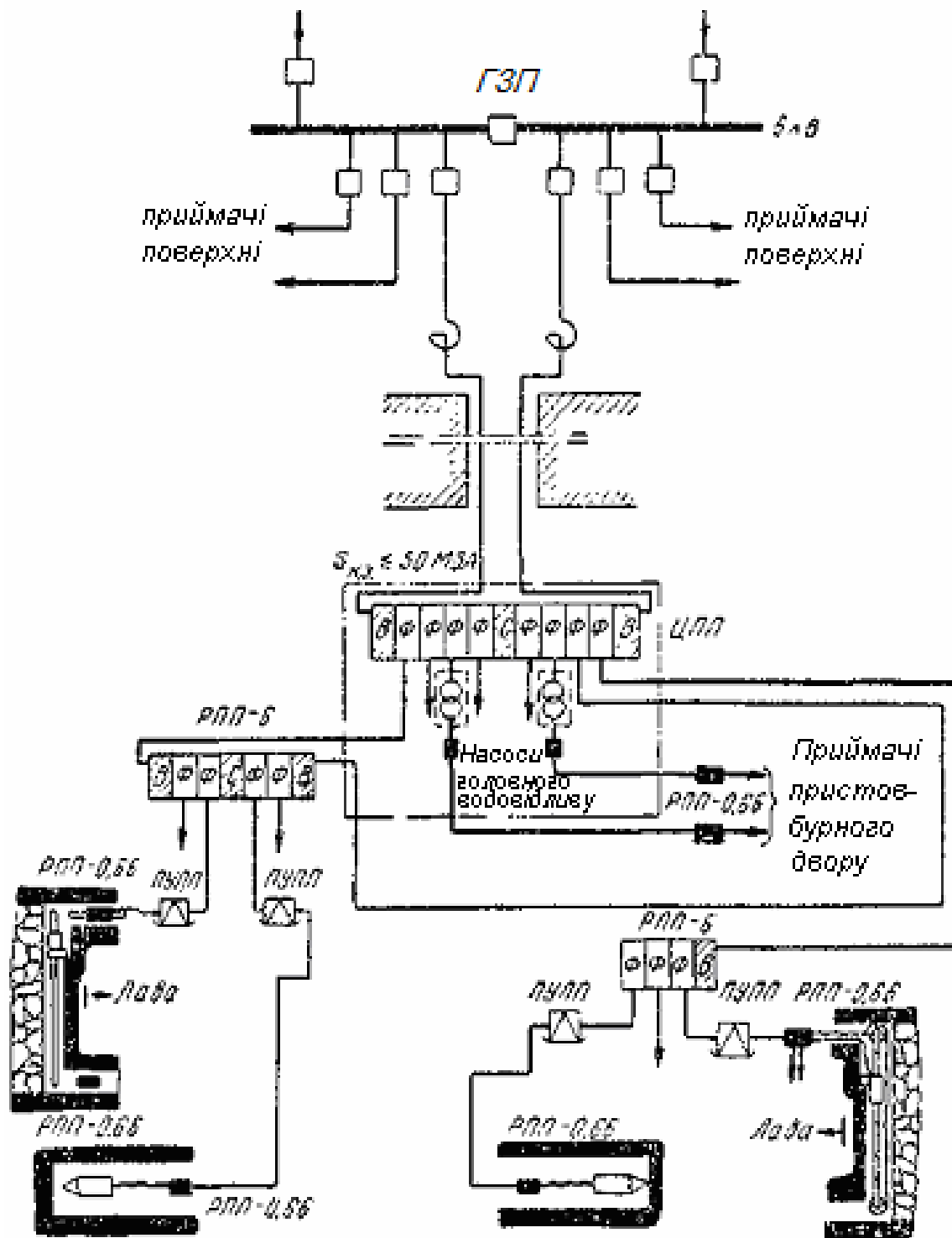


Рис. 1.2.3. Принципова схема підземного електропостачання установок вугільної шахти

Установлення ЦПП під землею характерно для всіх шахт України. Тільки при неглибокому розташуванні пристовбурного двору (до 100 м) установлення ЦПП є недоцільним, а живлення електроприймачів здійснюють з поверхні по кабелях низької напруги, прокладених у свердловині.

Електроенергія, що знаходить з ЦПП, розподіляється між підземними розподільчими пунктами високої напруги, дільничними підстанціями і

використовується для живлення установок видобутку вугілля та підготовки, а також підйомних установок. Інша частина використовується для живлення електроустановок пристовбурного двору (насосів головного водовідливу, трансформаторних перетворювальних підстанцій, електровозів та ін.). За наявності декількох горизонтів споруджується і декілька ЦПП. Розподіл електроенергії у підземних виробках шахти здійснюється за допомогою ряду розподільних пунктів (РПП-6), підземних дільничних стаціонарних (УПП) і пересувних (ПУПП) трансформаторних підстанцій. УПП і ПУПП живляться від РПП-6. Стаціонарні УПП використовують тільки при неможливості або недоцільності застосування пересувних підстанцій. Живлення всіх пересувних машин і механізмів здійснюється від пересувних підстанцій.

Розміщувати лічильники електроенергії на пересувних трансформаторних підстанціях проблематично. Нині підстанцій з установленими лічильниками не існує. При встановленні таких лічильників можуть виникнути труднощі в передачі сигналу, якщо облік енергії здійснюватиметься дистанційно. Виходячи з існуючої на цей день ситуації, доцільно розміщувати лічильники безпосередньо на ЦПП. Їх установлення в електричних ланцюгах фідерних вимикачів дозволить контролювати роботу найважливіших електроприймачів (видобуток, підготовка, транспорт, водовідлив). Аналіз виявив, що групи електроприймачів отримують живлення окремою лінією або декількома лініями. Це дуже важливо, оскільки існує можливість розподілу відповідних енерговитрат і виділення ЦОЕ. Таким чином, аналогічно електропостачанню поверхні шахти, підземне електропостачання побудовано так, що існує можливість для обліку електроенергії за визначеними раніше статтями підземного електробалансу. Це обумовлено тим, що, як правило, установки ділянок видобутку, підготовки, насоси водовідливу, електроспоживачі систем транспорту отримують живлення через окремі комутаційні пристрої. Виходячи з цього, формування ЦОЕ за статтями енергобалансу прийнятне і для підземних споживачів електроенергії. Звичайно, можливі варіанти, які припускають живлення через один комутаційний пристрій широкого кола електроприймачів різного призначення. У цьому випадку диференціацію обліку енергії доведеться проводити в РПП-6. Можливо, що в деяких варіантах доведеться розширювати ЦОЕ, включаючи до них споживачів різного цільового призначення. Зроблені доповнення підтверджують той факт, що можуть існувати виключення із загальних правил. У цьому разі питання створення ЦОЕ повинне вирішуватися безпосередньо з урахуванням особливостей шахти.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що в більшості випадків для ефективного обліку електроенергії на шахті достатньо встановити лічильники у фідерах ГЗП і ЦПП. Бажано, щоб енергоспоживання, що підлягає обліку, в сумі складало не менше 90% від загального енергоспоживання шахти. Облік споживання електроенергії окремими структурними підрозділами шахти (ЦОЕ) можна здійснювати лічильниками технічного обліку, які мають порівняно низьку точність і вартість. Це зумовлено тим, що підрозділи шахти не є юридичними особами, які проводять самостійні розрахунки за спожиту електроенергію. Це при існуючій структурі управління неможливо. Тому



необхідно шукати методи стимулювання енергозбереження в цих підрозділах і забезпечення рівня контролю, що дозволяє виявити дійсний стан справ у відповідному ЦОЕ. Для цього достатньо мати лічильники технічного обліку. Якщо цифри врахованої енергії виявляться меншими 90% від загального енергоспоживання шахти (з'ясується шляхом зіставлення сумарних цифр лічильників технічного обліку і лічильника комерційного обліку (лічильник на вході системи), то має сенс збільшити кількість лічильників, поширюючи облік на інші споживачі, розташовані як під землею, так і на поверхні шахти.

При створенні ЦОЕ необхідно визначити посадовців, які будуть персонально відповідати за використання енергії. Для цього необхідно проаналізувати існуючі системи управління підприємством саме з цих позицій. Завдання полягає у призначенні цих посадовців, з'ясуванні можливостей для створення структури ЦОЕ відповідно до встановлених принципів. Часто при формуванні ЦОЕ стикаються з проблемою, коли структурний підрозділ підприємства, на базі якого існує можливість створити ЦОЕ, підпорядкований різним особам. Прикладом може бути виробниче приміщення, в якому розташовані декілька цехів, що мають спільну систему розподілу енергії. У цьому випадку доцільна спроба розподілу зон відповідальності, що повинно супроводжуватися встановленням додаткових лічильників енергії. Якщо такий крок є надзвичайно витратним, то існує можливість пропорційного розподілу витрат енергії між окремими цехами.

Інша ситуація полягає в тому, що інколи за різні функції, пов'язані з уведенням у дію й експлуатацію виробничого обладнання, відповідають різні виробничі підрозділи. Кому з них повинна бути делегована відповідальність за ефективність енергоспоживання? Доцільно віднести її до підрозділу, який у більший мірі здатний впливати на показники енергоспоживання. Крім того, необхідно залучити до вирішення цих завдань і інші підрозділи, використовуючи важелі матеріального стимулювання персоналу.

Для умов вугільної шахти необхідно відповісти на питання, чи відповідає існуюча структура управління підходам до визначення ЦОЕ, запропонованим вище (створенням ЦОЕ відповідно до статей енергобалансів). Слід відзначити, що на цьому етапі завдання не полягає у створенні повної організаційної структури системи енергоменеджменту шахти. Розглядається задача формування окремої ланки цієї системи – управління ЦОЕ. Оптимальним варіантом для запропонованого підходу до визначення ЦОЕ є наявність у структурі управління шахтою посадовців, які відповідають за роботу виробничих дільниць, устаткування, що визначають витрати енергії відповідно до наведених енергобалансів (видобуток, прохідницькі роботи, транспорт, вентиляція, кондиціонування, компресорні установки, підйомні установки і т.п.). Звернемося до аналізу структури управління вугільною шахтою.

Структура управління шахтою не залишається постійною. Вона змінювалася раніше і продовжує змінюватися виходячи з умов, у яких працює шахта. Структура комбінатів у Радянському Союзі була перетворена в структуру вугільних об'єднань. У 1980 році права об'єднань були «урізані» і шахти отримали відносну самостійність. Проте, з погляду завдань наших

досліджень, важлива виробнича структура шахти, яка пов'язана з безпосереднім видобутком вугілля. Ця структура не належить до верхніх кіл управління шахти і залишається більш-менш постійною і відпрацьованою завдяки багаторічному досвіду видобутку вугілля. Типова структура управління шахтою наведена на рис.1.2.4. Організаційна структура управління шахтою будується за територіально-виробничим принципом, суть якого полягає в тому, що весь процес виробництва розчленовується за територіальними, об'ємними і попроцесними ознаками на відносно самостійні підрозділи. Відповідальність за виконання всіх функцій управління в кожному підрозділі покладається на їх керівників. Керованість об'єктів може бути забезпечена при правильному підході до формування виробничих підрозділів. На практиці найчіткіший розподіл установився при формуванні дільниць видобутку вугілля. Дільниці, як правило, створюються на базі однієї або двох (що знаходяться на невеликій відстані) діючих лав. Відповідають за роботу начальники дільниць видобутку. Тому має сенс організувати тут ЦОЕ, що дозволить контролювати енергоспоживання кожної дільниці і керувати цим процесом.

До створення ділянок гірничопідготовчих робіт, шахтного транспорту, вентиляції і техніки безпеки підходять по-різному. У багатьох випадках при однакових обсягах і умовах роботи на деяких шахтах створюють одну дільницю для даного процесу, а на інших – дві і більше. Так, при змішаному транспорті (колісному і конвеєрному) може бути створена друга дільниця шахтного транспорту для обслуговування конвеєрних ліній. Спорудження вентиляційних пристроїв у всій шахті здійснюється дільницею вентиляції і техніки безпеки, а відповідальність за їх стан і поточний ремонт несуть ті дільниці, на території яких розташовані ці пристрої. Передбачається на базі перелічених дільниць гірничопідготовчих робіт, шахтного транспорту, вентиляції і техніки безпеки створити відповідні ЦОЕ. Очевидно, що контрольоване енергоспоживання установок підготовчих дільниць, шахтного транспорту цілком залежить від організації робіт керівниками цих дільниць.

Споживання енергії вентиляційними установками залежить як від режимів експлуатації, обслуговування вентиляційних установок, так і від якості проектування і спорудження вентиляції дільниць шахти. Саме останнє значною мірою визначає витрати повітря. Тому доцільно ЦОЕ, що контролює витрату енергії вентиляційними установками, формувати на базі дільниці вентиляції і техніки безпеки. Ця ж дільниця може нести відповідальність за витрату енергії на кондиціонування повітря.

За електромеханічною службою шахти часто закріплюють функції ремонту та експлуатації підйомних установок, компресорів, насосів водовідливу. Безпосередньо ці функції виконує дільниця з ремонту стаціонарного обладнання. Контролюючи відповідне енергоспоживання, можна створити на цій основі три окремих ЦОЕ. За наявності обліку споживання електроенергії технологічним комплексом поверхні шахти доцільно створити ще один ЦОЕ, за який може відповідати начальник цієї дільниці.

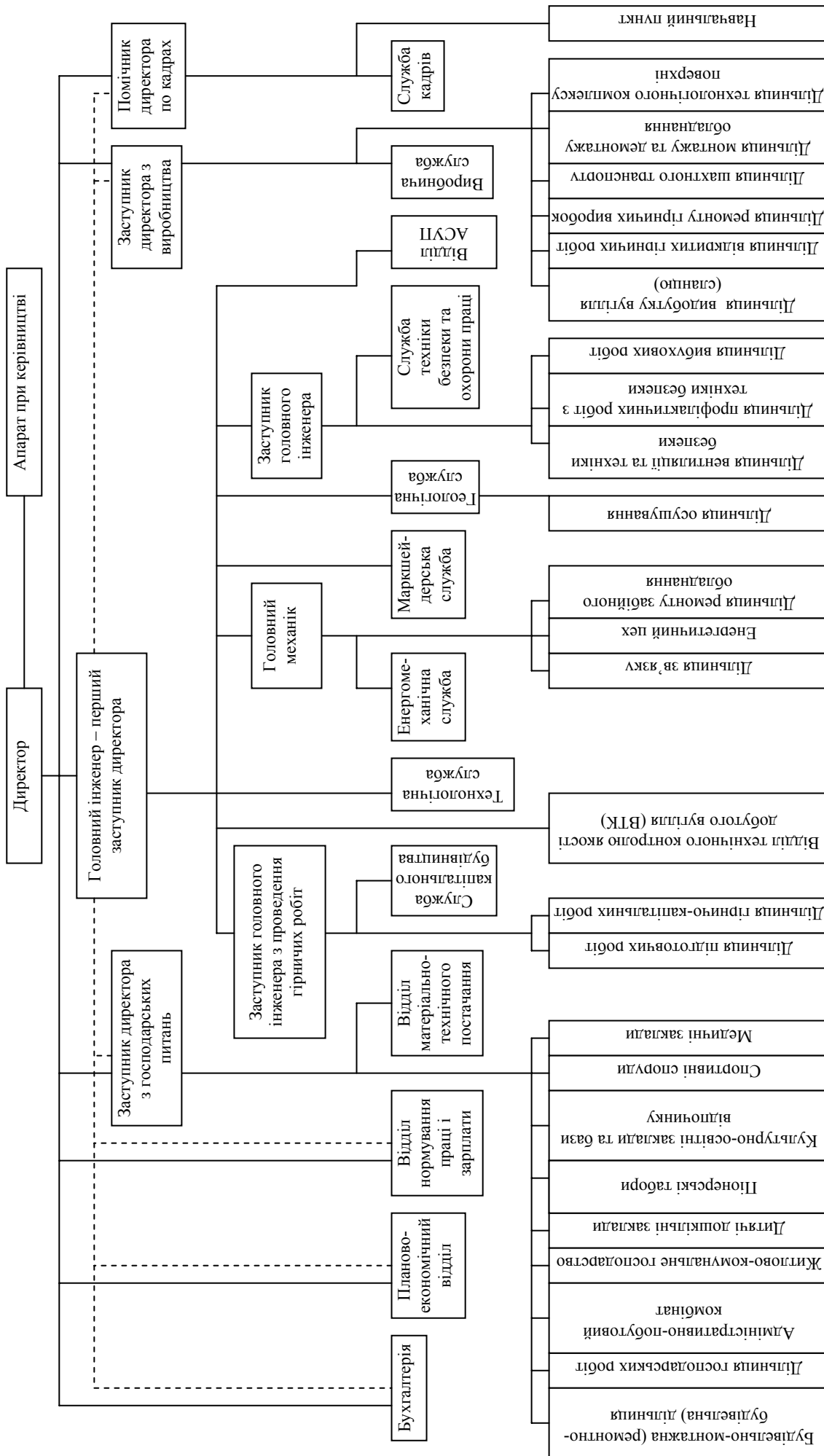


Рис. 1.2.4. Типова структура управління шахтою

Викладені вище пропозиції не слід сприймати як догму. Кожний випадок потребує уточнення діючої на шахтах структури управління. Необхідно з'ясувати, яку відповідальність несуть посадовці. Це може призвести до коригування деяких позицій. Таким чином пропонується сформуванню на шахті такі центри обліку енергії (табл.1.2.2).

Слід зазначити, що запропонована структура формування ЦОЕ відповідає структурі норм витрат електроенергії, яка наведена в стандарті „Методи визначення норм витрат електроенергії гірничими підприємствами” (ДСТ-30356-96). Отже, при впровадженні системи енергоменеджменту існуватиме можливість для контролю витрат енергії і зіставлення їх з наведеними нормами.

Повертаючись до переліку загальних вимог процедури формування ЦОЕ, звернемо увагу на те, що для їх одночасного виконання потрібний повний аналіз існуючої ситуації на виробництві. Потрібно проявити відповідну гнучкість при поєднанні окремих вимог, знайти раціональний шлях до вирішення цієї проблеми.

Таблиця 1.2.2

*Центри обліку енергії вугільної шахти*

Центри обліку енергії	Місця встановлення лічильників електроенергії	Начальники дільниць, відповідальні за енергоспоживання
Ділянки видобутку вугілля (одна або декілька)	ЦПП РПП-6	Видобутку
Підготовчі ділянки (одна або декілька)	ЦПП РПП-6	Гірничопідготовчих робіт
Підземний локомотивний транспорт	ЦПП РПП-6	Рейкового транспорту
Підземний конвеєрний транспорт	ЦПП РПП-6	Конвеєрного транспорту
Вентиляція	ГПП ЦПП РПП-6	Вентиляції і техніки безпеки
Водовідлив	ЦПП	Ремонту стаціонарного обладнання
Технологічний комплекс поверхні	ГЗП	Технологічного комплексу поверхні
Компресорні установки	ГЗП	Ремонту стаціонарного обладнання
Підйомні установки	ГЗП	Ремонту стаціонарного обладнання

**Контрольні питання**

1. Назвіть основні вимоги, яким повинен відповідати ЦОЕ.
2. Чому ЦОЕ повинен відповідати умові, пов'язаній зі значним енергоспоживанням?
3. Наведіть мотиви призначення в ЦОЕ посадової особи, яка б відповідала за ефективність споживання енергії.
4. Чому в ЦОЕ здійснюють облік всієї спожитої енергії?
5. Як визначають кількість додаткових лічильників енергії?

### 1.3. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО КОНТРОЛЬОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ У ЦЕНТРАХ ОБЛІКУ ЕНЕРГІЇ

Процедура контролю енергоспоживання в ЦОЕ здійснюється на основі розроблених критеріїв, які визначають ефективність використання енергії. Ці критерії повинні відображати реально існуючі зв'язки між рівнем енергоспоживання та технологічними параметрами, від яких залежить енергоспоживання. Саме з цієї точки зору виникає необхідність у визначенні контрольованих параметрів зі встановленням надалі їх зв'язку з витратами енергії. В системах енергоменеджменту такі зв'язки встановлюються у вигляді регресійної залежності, яку використовують у процесі управління енергоспоживанням. Математичні методи, що використовуються в енергоменеджменті, детально розглянуті в розділі 1.2.

Визначимо вимоги, яким повинні відповідати контрольовані технологічні параметри. Для обґрунтування цих вимог доцільно розглянути ланцюг перетворення енергії (рис.1.3.1).

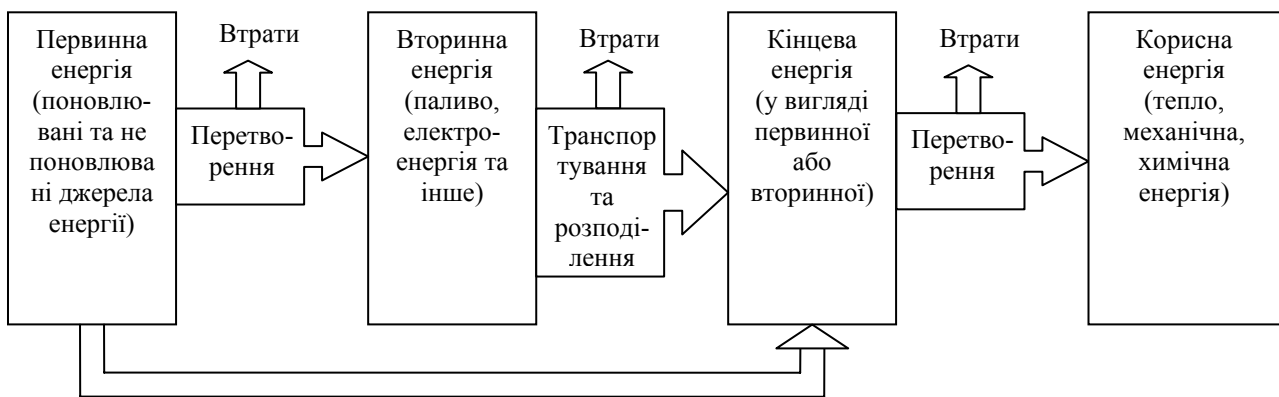


Рис. 1.3.1. Ланцюг перетворення енергії

Часто ланцюг перетворення енергії ілюструють з метою підкреслити факт наявності втрат енергії на всіх етапах, пов'язаних з її перетворенням. Завдання виділення параметрів, які впливають на енергоспоживання – інше. Проте розгляд цього ланцюга для вирішення поставленого завдання буде доцільним, бо в цьому випадку достатньо наглядно можна продемонструвати ті ділянки ланцюга перетворення, на яких здійснюватиметься ефективний контроль за використанням енергії (в рамках діючої системи енергоменеджменту). Ще одне зауваження. Ланцюг перетворення енергії, що наведений на рис. 1.3.1, відображує всі можливі стани енергії. В рамках конкретних умов підприємства ланцюг перетворення енергії може не мати повного набору наведених етапів, тобто може бути наданий в дещо іншому вигляді. Розглянемо, наприклад, ланцюг перетворення електричної енергії в енергію стисненого повітря на вугільній шахті (рис. 1.3.2).

Важливо встановити зв'язок між *цільовим* параметром (назвемо його так), для якого створена процедура перетворення початкової енергії (в даному

випадку електричної) в корисну (механічну), і показниками спожитої електричної енергії. Таким параметром є обсяг видобутого вугілля або виймання породи (прохідницькі роботи). Ще раз підкреслимо важливість цього параметра, обумовлену кінцевою метою вуглевидобутку. Очевидно, що на рівень витрат енергії впливатимуть інші параметри, як випадкові, так і ті, що мають детермінований характер.

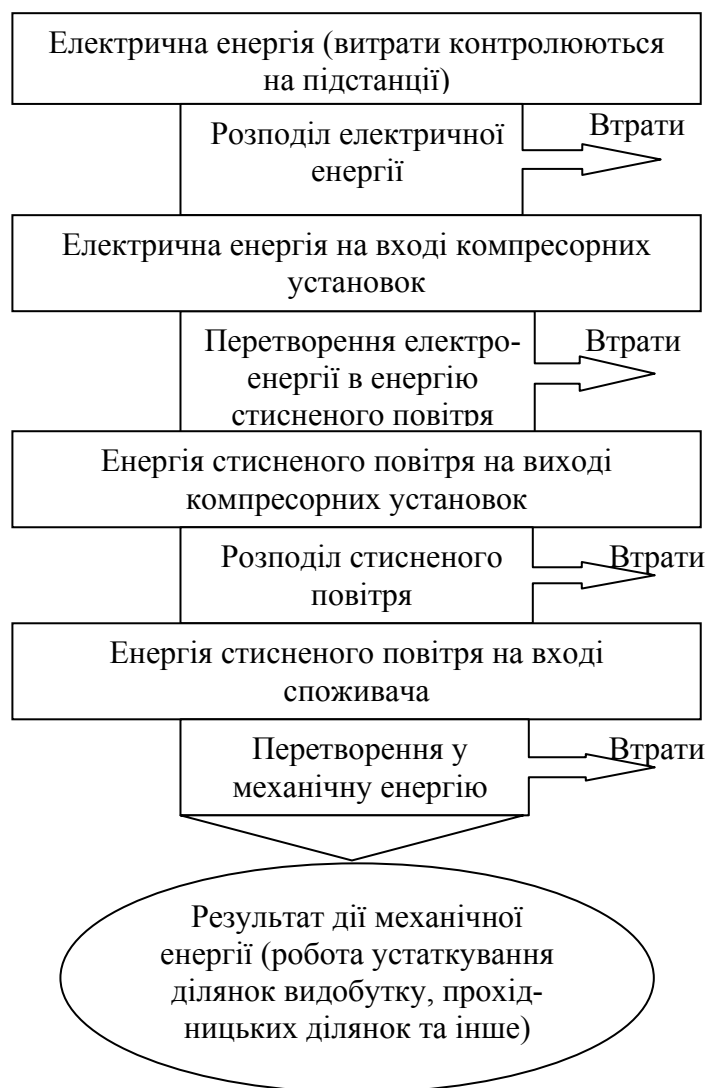


Рис. 1.3.2. Ланцюг перетворення електричної енергії в енергію стисненого повітря з наступним перетворенням в механічну енергію

Це, перш за все, втрати енергії на різних рівнях її перетворення і розподілу. Складний характер математичного опису цих витрат, які залежать від режиму роботи устаткування, структури і параметрів систем розподілу енергії, потребує розгляду рівнів енергоспоживання і параметрів, від яких вони залежать, як випадкових величин зі встановленням існуючих між ними кореляційних зв'язків та формуванням регресійної залежності. Зрозуміло, що зв'язок між **цільовим** параметром (масою видобутого вугілля, породи) і

витратами електричної енергії на живлення компресорних установок (рис.1.3.2) якнайповніше характеризує ефективність роботи всіх ланок ланцюга перетворення енергії. Тому, якщо створити відповідну регресійну залежність, то контролю ефективності використання енергії будуть підлягати **всі ланки існуючої системи**.

Саме тому в більшості випадків рівень енергоспоживання пов'язують з показником обсягу виготовленої продукції. Проте, існує реальна небезпека отримати дуже слабкий кореляційний зв'язок між цільовим параметром і енергоспоживанням, що утруднюватиме процедуру контролю. Це може бути обумовлено занадто довгим переліком етапів перетворення енергії, наявністю інших додаткових параметрів, що значною мірою впливають на рівні енергоспоживання. З цієї кількості **додаткових** параметрів, слід виділити керовані (залежні) параметри, які можуть бути легко змінені в процесі експлуатації устаткування, і малокеровані (незалежні) – ті параметри, зміна яких пов'язана з труднощами як технічного характеру, так і додатковими фінансовими витратами. До перших можна віднести режими роботи устаткування. Наприклад, ступінь завантаження магістральних конвеєрів за наявності бункерів для вугілля може бути доведений (і повинен бути доведений) до оптимального значення, при якому енерговитрати на транспортування мінімальні. Малокеровані параметри характеризуються принциповою можливістю їх зміни. Проте існує ряд обмежуючих позицій, які пов'язані з технічними проблемами, матеріальними витратами і ставлять під сумнів необхідність такої зміни. Прикладом може служити параметр протяжності шляху транспортування вугілля, породи. Так, в принципі, шлях руху вугілля з вибою до магістрального конвеєра потрібно скорочувати (і це робиться). У той же час умови транспортування в різних лавах різні. Це визначається безліччю інших параметрів, пов'язаних з гірничо-геологічними умовами, і зменшення шляху не завжди виправдано. Інший приклад, який можна навести, це параметр протяжності систем розподілу стисненого повітря в шахті. З одного боку, можливі роботи з оптимізації структури пневмомережі (і, отже, можливе зниження рівня втрат енергії). З другого боку, її протяжність залежить від розташування споживачів і не може бути радикально змінена.

Виходитимемо з того, що в процесі експлуатації устаткування залежні параметри внаслідок енергозберігаючої політики, яка проводиться на підприємстві, будуть зведені до оптимальних значень, що забезпечують мінімальні витрати енергії. При цьому варіація цих параметрів знизиться, їх дисперсія зменшиться, що призведе до зниження дисперсії в рівні споживання енергії, обумовленої впливом цих параметрів, тобто в цьому випадку впроваджувати керовані параметри в регресійну модель енерговитрат недоцільно. У разі залучення до аналізу малокерованого параметра з істотним розкидом його значень, слід чекати значних коливань енергоспоживання. Цей параметр слід урахувати при побудові регресійної залежності. Такий підхід до визначення параметрів дозволяє зменшити їх кількість у моделі. Поліпшуються умови проведення експериментальних досліджень для побудови регресійної залежності. Регресійна модель відображає лише рівні

*обґрунтованих витрат енергії*, зумовлених зміною малокерованих технологічних параметрів – параметрів, які слід сприймати такими, якими вони є, і які не підлягають примусовій зміні.

При формуванні регресійної залежності слід звернути увагу на існуючі кореляційні зв'язки між технологічними параметрами. Необхідно, щоб ці зв'язки не проявлялися або проявлялися незначною мірою. Це досягається зменшенням загальної кількості технологічних параметрів, які вводяться у модель.

Важливим моментом у процедурі контролю енергоспоживання є використання параметрів, *вимірювання* яких з необхідною точністю **можливе і не несе за собою особливих труднощів**. Оскільки в даному випадку йдеться мова в основному про споживання електричної енергії, то проблем з її вимірюванням не існує. Проте, при вимірюванні параметрів, від яких залежать витрати енергії, такі труднощі можуть виникнути. Тому при виборі цих параметрів необхідно **враховувати реальну можливість проведення вимірювань і забезпечення необхідної точності цих вимірювань**.

Часто з метою спрощення завдання щодо отримання більш тісного зв'язку між енергоспоживанням і параметрами розглядають неповний ланцюг перетворення енергії. При цьому виділяють одну або декілька ланок її перетворення. Наприклад, виділяють ланку з перетворенням одного виду енергії в інший. Очевидно, що в цьому випадку в регресійній моделі використовують проміжний параметр, який і визначає рівень споживаної енергії. Наприклад, у компресорних установках як такий параметр часто використовують об'єм стисненого повітря. Саме він у цьому випадку розглядається як цільовий параметр. Такий підхід доцільно застосовувати також у тому випадку, коли стиснене повітря використовується в різних цілях і немає можливості однозначно визначити продукт, на вироблення якого воно використовується. Відзначимо при цьому, що виділення із загального звена перетворення енергії її окремої частини з проміжним технологічним параметром призводить до **звуження межі контролю енерговикористання**. Дійсно, якщо за цільовий параметр прийняти об'єм повітря (рис. 1.3.2), що виробляється, то контролю ефективності використання енергії будуть підлягати тільки попередні стадії її перетворення (контролюватиметься система розподілу електроенергії, а також ефективність роботи компресора). Усі наступні етапи її перетворення контролю не підлягають. У цьому полягає недолік такого підходу. Проте, виходячи з практики використання систем контролю і нормалізації, цей підхід застосовують досить часто.

Слід також урахувати, що подібний розподіл ланцюга перетворення енергії має здійснюватися у тому випадку, якщо окремі ланки цього ланцюга відносяться до різних ЦОЕ і підпорядковані керівникам різних підрозділів.

При формуванні ЦОЕ звертають увагу на те, які параметри технологічних ліній вже контролюються, наскільки прийнятний такий контроль для використання отриманої інформації в системі енергоменеджменту. Якщо існуючий облік енергії відповідає вимогам, то це спрощує процедуру збору необхідної інформації.



Нижче, як приклад, наведена таблиця параметрів (цільових та додаткових), які часто використовують при визначенні рівнів споживаної установками енергії (табл.1.3.1).

Як бачимо з табл. 1.3.1, достатньо часто як основний (цільовий) параметр використовують показник обсягу виготовленої продукції. Якщо підрозділ підприємства спеціалізується на виготовленні декількох видів продукції, то бажано здійснювати контроль енергоспоживання на кожній технологічній лінії з окремим видом продукції, тобто формувати ЦОЕ на базі цих ліній. В умовах, коли виділення на цій основі окремих ЦОЕ проблематично (наприклад, при порівняно низьких показниках енергоспоживання окремих технологічних ліній), то можливе об'єднання в ЦОЕ декількох ліній. Для цього необхідно знайти загальний показник, що буде характеризувати обсяг виготовленої продукції.

Таблиця 1.3.1

*Цільові та додаткові параметри, від яких залежить енергоспоживання установок*

<b>Установка</b>	<b>Цільовий параметр</b>	<b>Додатковий параметр</b>
Вентилятори (потужні)	Об'єм повітря	–
Вентилятори (малопотужні)	Час роботи	–
Потужні насоси	Об'єм рідини	–
Малопотужні насоси	Час роботи	–
Конвеєри	Час роботи	–
Компресори	Об'єм повітря	Температура навколишнього середовища
Кондиціонування повітря	Температура навколишнього середовища	Вологість
Освітлення	Час роботи	Середньодобове значення температури

Наприклад, якщо цех спеціалізується на випуску декількох видів металевих виробів, то як основний (цільовий) параметр можливо використати показник маси всієї продукції, виготовленої в цеху. Якщо виникають труднощі при визначенні параметра, що характеризує загальні показники роботи підрозділу підприємства, то слід оцінити можливість використання для цього значення вартості продукції, виготовленої в ЦОЕ, тобто загальний висновок такий, що не слід суттєво ускладнювати цю процедуру.

Реєстрація даних про обсяги виготовлення продукції повинна співпадати в часі з реєстрацією показників енергоспоживання в ЦОЕ, тобто показники лічильників енергії мають фіксувати ті її обсяги, які були витрачені безпосередньо на вироблення конкретного виду продукції. Умова синхронності зняття показників є обов'язковою для достовірної оцінки досягнутого рівня

енергоефективності процесу (витрат енергії на одиницю продукції). Невиконання цієї умови призводить до суттєвої похибки при розрахунку енергоефективності, прийняття на цій основі помилкових рішень при керуванні процесом енергоспоживання.

При виборі параметрів необхідно орієнтуватися також на передбачуваний вид регресійної залежності (одиначна або мультирегресія). Важливо, щоб уведені в мультирегресію технологічні параметри не корелювалися між собою. За наявності сильного кореляційного зв'язку деякі із параметрів слід вилучити із моделі, що сприяє спрощенню встановленої залежності, підвищує ефективність її використання в умовах практики. Наявність такої залежності виявляється у процесі уведення в регресійну модель конкретних числових даних, що характеризують енергоспоживання в ЦОЕ.

Підсумовуючи, сформулюємо вимоги, що ставляться до вибору параметрів, які впливають на енергоспоживання в ЦОЕ:

- цільові параметри повинні відображати кінцеву мету використання енергії в ЦОЕ (наприклад, обсяг виробленої продукції);

- необхідно забезпечити, щоб ураховані технологічні параметри, що визначають рівень енергоспоживання, не були залежними (не корелюються або слабо корелюються);

- перелік додаткових параметрів при побудові регресійної залежності слід розглядати, орієнтуючись на малокеровані параметри, що схильні до випадкових змін в значних межах;

- повинна існувати можливість виміру цільових і додаткових параметрів з необхідною точністю.

Як приклад вибору параметрів, що визначають рівні енерговитрат, розглянемо деякі технологічні системи. У системах опалення приміщень за такий параметр часто вибирають показник кількості градусо-днів, який визначають за формулою

$$D = (T_0 - T_{cp})K,$$

де  $T_0 = 15,5^\circ\text{C}$  – базове значення середньодобової зовнішньої (за межами приміщення) температури повітря;

$T_{cp}$  – середньодобова зовнішня температура;

$K$  – кількість днів, протягом яких спостерігалася встановлена різниця температур  $(T_0 - T_{cp})$ .

Середньодобова зовнішня температура (рис.1.3.3)

$$T_{cp} = (T_{\max} + T_{\min}) / 2.$$

Розрахунок середньодобової зовнішньої температури  $T_{cp}$  здійснюється з припущенням, що температура поза приміщенням змінюється протягом доби за синусоїдальним законом (рис.1.3.3).

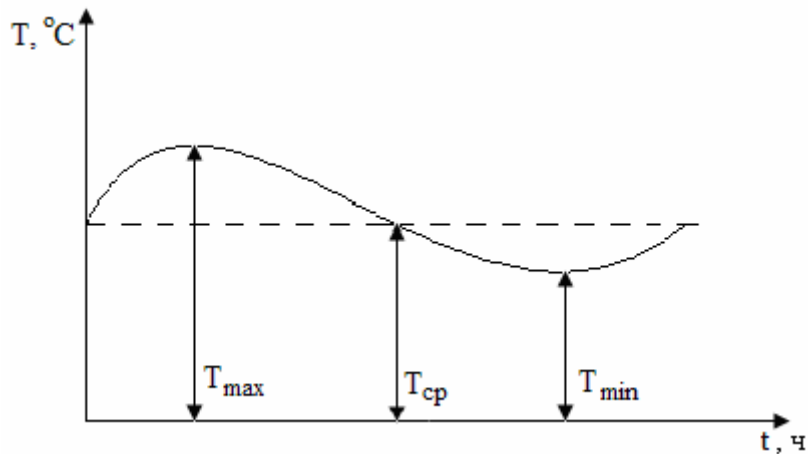


Рис. 1.3.3. Характер зміни температури за межами приміщення, що опалюється

Вважають, що при базовому значенні середньодобової зовнішньої температури (15,5 °C) приміщення можна не опалювати. Прийнятне для роботи персоналу в приміщенні значення температури підтримується без додаткових джерел тепла.

Таким чином, витрати енергії на опалення приміщення контролюються за допомогою регресійної залежності  $E(D)$ . Враховуючи те, що для опалення часто використовують декілька видів палива або енергії, то в регресійній залежності фіксують сумарне значення  $E$ . Якщо існує необхідність виділення окремих складових витрат енергії, то будують окрему залежність.

Для точного визначення  $T_{cp}$  використовують автоматичні реєстратори зовнішньої температури, які постійно її вимірюють з інтервалом у декілька хвилин. Із зареєстрованих протягом доби значень температур знаходять середнє значення  $T_{cp}$ .

Кількість градусо-днів може розраховуватися для різних періодів часу (тиждень, місяць). Табл. 1.3.2 ілюструє приклад розрахунку градусо-днів за тиждень.

Таблиця 1.3.2

*Розрахунок кількості градусо-днів за тиждень*

День	$T_{max}, °C$	$T_{min}, °C$	$T_{cp}, °C$	$D, °C$
Понеділок	8,5	6,5	7,5	8,0
Вівторок	7,5	6,5	7,0	8,5
Середа	8	6	7,0	8,5
Четвер	5,5	7	6,25	9,25
П'ятниця	5	7	6,0	9,5
Субота	6	7,5	6,75	8,75
Неділя	6,5	7,5	7,0	8,5
<b>Всього за тиждень</b>				<b>61</b>

Залежність  $E(D)$  часто використовують для контролю енергоефективності котельні. Тоді значення  $E$  відповідає обсягу виробленої в заданий термін теплової енергії.

Розглянемо процес вибору технологічних параметрів, що характеризують енергоспоживання у виробничих підрозділах вугільної шахти. При цьому будемо орієнтуватися на перелік визначених раніше ЦОЕ. Особливість вугільної шахти полягає в тому, що кінцевим результатом її роботи є видобуток вугілля. Тому основним цільовим параметром є об'єм видобутку вугілля. У той же час існує ряд допоміжних технологічних процесів, що супроводжують видобуток вугілля. Наприклад, прохідницькі роботи, функціонування системи водовідливу та ін. Енергоефективність цих процесів слід пов'язувати з іншими технологічними параметрами.

**Видобувні ділянки.** Оскільки вибір параметрів, від яких залежить енергоспоживання на видобувній дільниці, необхідний для подальшої побудови регресійної залежності, то слід визначити ті умови, при яких використання цієї залежності буде коректним. Така можливість існуватиме, якщо видобування відбуватиметься в однакових умовах. Зміну умов роботи видобувного устаткування слід чекати при закінченні робіт на виїмковій дільниці (горизонтальний спосіб підготовки) або ярусі (панельний спосіб підготовки) і переході на іншу. Тривалість процесів виймання вугілля залежить від розмірів дільниць (ярусів), а також швидкості видобування. Очевидно, що при невеликій протяжності дільниць роботи завершуватимуться швидше. При цьому частіше змінюватимуться умови роботи видобувного устаткування. Виходячи із середніх показників протяжності дільниць може складати близько 800 м. Відомо, що в несприятливих гірничо-геологічних умовах ця цифра може бути істотно зменшена, а час виймання вугілля скорочений.

Висловлене дозволяє нам орієнтуватися на побудові регресійної залежності, яка відображає енергоспоживання дільниць видобування вугілля протягом дії лави, де умови змінюються не так істотно. Введення в дію нової лави з новими умовами видобування вимагає поновлення процесу збору інформації для побудови регресійної залежності. Тривалість дії лави залежить від конкретних умов видобування вугілля і складає орієнтовно декілька місяців.

Перейдемо до питання визначення параметрів, від яких залежить енергоспоживання видобувної дільниці за зміну. Виходитимемо з вище сформульованих вимог до таких параметрів. Необхідні дані для визначення параметрів можна отримати, якщо проаналізувати регресійну залежність між продуктивністю праці робітника лави і такими параметрами, як потужність пласта, швидкість просування вибою, довжина лави. Відома також залежність питомих витрат (на тону вугілля) електроенергії (кВт·г/т) для видобувної дільниці шахти від швидкості виймання вугілля. Характерно те, що параметри, використані в попередніх дослідженнях, дозволяють визначити об'єми видобутку вугілля за місяць. Саме цей показник враховує і швидкість руху комбайна, і довжину лави, і потужність пласта. Більш того, інформація про об'єми видобутку вугілля в лаві за зміну фіксується (виходячи з відповідних вимірів) і передається диспетчеру шахти, а потім у відділ маркшейдера.

Щомісячний об'єм видобутку вугілля також фіксується, що дозволяє звіряти раніше отримані дані з видобутку вугілля в змінах. Отже, можна зробити висновок, що цільовим параметром, який визначає енергоспоживання видобувної ділянки, слід вважати об'єм видобутку вугілля за зміну ( $\text{м}^3/\text{зміну}$ ). Можна вибрати і показник добового видобутку вугілля ( $\text{м}^3/\text{добу}$ ), але в цьому випадку буде розглядатися тільки робота декількох змін і ефективність роботи кожної з них не буде урахована. Тому має сенс фіксувати енергоспоживання лави за зміну, а також видобуток за зміну. Очевидно, що це можливо за наявності відповідних засобів обліку енергоспоживання. Аналіз переміщення ( $\text{м}/\text{зміну}$ ) видобутку за зміну вугілля по шахті „Степова” ВАТ ДКХ (Павлоградвугілля) свідчить, що розкид її значень за окремими змінами невеликий. Це підтверджується також відомими висновками, що середня потужність споживання електроенергії (за зміну) при сталому технологічному режимі видобутку змінюється незначно. Середньоквадратичне відхилення також є невеликим. Таким чином, при побудові регресійної залежності  $E_{\text{доб}} = f(V_{\text{доб}})$  (де  $E_{\text{доб}}$  – енергоспоживання лави за зміну,  $\text{кВт}\cdot\text{г}/\text{зміну}$ ;  $V_{\text{доб}}$  – об'єм видобутку вугілля в лаві за зміну,  $\text{м}^3/\text{зміну}$ ) можна чекати незначного розкиду експериментальних даних, за якими будуватиметься залежність (дисперсія  $E_{\text{доб}}$  і  $V_{\text{доб}}$  невелика). Чи потрібно враховувати в регресійній залежності додаткові параметри? Відповідь на це питання можуть дати результати подальших експериментальних досліджень. При цьому повинна підтверджуватися адекватність запропонованої моделі. Проте на даному етапі завдання полягає в переліку можливих додаткових параметрів, що визначають рівень енергоспоживання. До таких можна віднести: кут падіння пласта ( $\alpha$ ), якщо він у процесі видобутку в лаві змінюється; коефіцієнт міцності вугілля ( $K_v$ ); сумарну потужність працюючого на дільниці електроустаткування ( $\sum P_d$ ). Уведення останнього параметра може бути виправданим, якщо змінюється потужність двигунів транспортних засобів, що працюють на дільницях в окремих змінах.

Слід припустити, що перелічені параметри корелюються з цільовим параметром – об'ємом видобутку вугілля, проте передбачити ступінь такого зв'язку на даному етапі неможливо. Необхідність введення додаткових параметрів або їх виведення з регресійної залежності виявиться в результаті аналізу експериментальних даних. Аналіз свідчить про те, що ні геологічна, ні маркшейдерська служби шахти не контролюють показники міцності вугілля, тому існують проблеми врахування цього параметра (на даному етапі). Сумарна потужність працюючого в зміну устаткування може бути легко зафіксована і за необхідності врахована у вигляді додаткової змінної. Існуючий зв'язок між добовим об'ємом видобутку вугілля і потужністю пласта ( $n$ ), швидкістю просування ( $v$ ), довжиною лави ( $l$ ) не виключає введення цих параметрів як додаткових у регресійну модель.

**Дільниці підготовчих робіт.** Так само, як і видобувні роботи, прохідницькі роботи виконуються в змінному режимі. Тривалість зміни – 6 годин. Від гірничого диспетчера в маркшейдерську службу шахти надходять відомості про переміщення прохідницьких робіт за зміну ( $\text{м}^3/\text{зміну}$ ). Ці дані характеризують швидкість проходки і використовуються для підрахунку об'єму

вибраної породи. Це можливо в результаті вимірів перерізу виробки. В геологічній службі підприємства є відомості про гірничо-геологічні умови проходки. Тут фіксують склад порід, аналізують їх властивості.

Ураховуючи той факт, що прохідницькі роботи за своїм характером та складом близькі до видобувних, має сенс скористатися частиною параметрів, які характеризують енергоспоживання видобувних дільниць, для оцінки їх впливу на енерговитрати прохідницьких дільниць. Таким чином, як цільовий параметр пропонується використовувати об'єм виймання породи за зміну  $V_{\text{прох}}$  ( $\text{м}^3/\text{зміну}$ ). Важливо, що цей параметр вимірюється кожною зміною. Важливо також те, що при одночасній реєстрації рівня витрат енергії може бути легко розрахована питома (на одиницю об'єму породи) витрата енергії.

Як і при розгляді видобувної дільниці, існує завдання транспортування і завантаження породи. Йдеться мова про транспортування породи в межах дільниці. Механізми, що виконують такі операції, можуть мати різну сумарну потужність (залежно від відстані до транспортних засобів). Відомо, що такі механізми отримують живлення від пересувних трансформаторних підстанцій, а їх енергоспоживання враховується в загальному енергоспоживанні прохідницької дільниці. Зміна сумарної потужності цих механізмів буде впливати на показники енерговитрат. Для того, щоб врахувати такий вплив як додатковий параметр, пропонується розглянути сумарну потужність працюючого на прохідницькій дільниці устаткування  $\sum P_n$  (кВт).

Питома витрата електроенергії при прохідницьких роботах так само, як і при проведенні видобувних робіт залежить від швидкості проходки  $v$  ( $\text{м}/\text{зміну}$ ) [9]. Важливим є той факт, що довжину проходки лави за зміну вимірюють, і отримана інформація передається гірничому диспетчеру. Тому значення  $v$  доцільно додати до параметрів, що розглядаються. Прохідницькі комбайни працездатні при певних кутах нахилу виробки. Кут нахилу визначає режими роботи механізмів і їх характеристики. Має сенс як додатковий параметр розглядати кут нахилу виробки  $\alpha_n$ . Важливим показником, що характеризує гірничо-геологічні умови роботи, є коефіцієнт міцності породи  $K_n$ . Існує верхня межа коефіцієнта міцності, при якій комбайн працездатний. Так, наприклад, для прохідницького комбайна ГПКС він складає до 5 одиниць. Збільшення міцності породи призводить до зростання енерговитрат. Тому доцільно включити цей параметр у загальний перелік. Слід підкреслити, що, на жаль, на вугільних шахтах цей параметр виміряють рідко, більше орієнтуються на склад гірських порід.

На першому етапі створення регресійної залежності необхідно ввести цільовий параметр  $V_{\text{прох}}$ . Подальший її аналіз з урахуванням статистичного матеріалу дозволить відповісти на питання про необхідність уведення інших параметрів. При проведенні підготовчих робіт так само, як і при видобувних роботах має сенс контролювати витрати енергії в перебігу зміни. Це виправдано, оскільки при цьому контролюватиметься ефективність виконання робіт протягом окремих змін і відповідальність за перевитрату енергії нестиме зміна, яка неефективно використовує енергію.

**Підземний шахтний транспорт.** При створенні центрів обліку енергії в системі шахтного транспорту слід звернути увагу на той факт, що конвеєрний і локомотивний транспорт обслуговується, як правило, робітниками різних дільниць. Очевидно, що на шахтах, де такий розподіл існує, доцільно виділити окремі центри обліку енергії.

У системі транспорту енерговитрати пропорційні видобутку маси вугілля на шлях його переміщення. Тому питомі енерговитрати визначаються в (кВт·г/т·км). Зрозуміло, що за цільовий параметр було б доцільним прийняти кількість тонно-кілометрів за певний проміжок часу. Однак, як правило, маса транспортованого вантажу не реєструється. Наявність акумулюючих бункерів у технологічній схемі транспортування вугілля призводить до того, що зв'язок між процесом видобутку вугілля і його транспортуванням послабляється (вугілля може тривалий час знаходитися в бункерах). Проте, важливим моментом у реалізації обліку об'єму вугілля і транспортованої породи є те, що до початку першої видобувної зміни (після ремонтної зміни) все вугілля і вся порода повинні бути піднятими на-гора. Це дозволяє достатньо точно (виходячи з об'ємів видобутку вугілля і об'ємів породи) реєструвати об'єм транспортованої породи. Причому, як правило, конвеєрний транспорт доставляє вугілля, а локомотивний – породу.

Пропозиція полягає в тому, щоб у ролі цільових параметрів використовувати:

- для конвеєрного транспорту – добовий об'єм видобутку вугілля в шахті  $V_{c.d}$  (м<sup>3</sup>/добу). Цей об'єм розраховують як суму об'ємів добового видобутку вугілля в лавах шахти. Нагадаємо, що інформація про об'єми видобутку вугілля за зміну окремими лавами реєструється у відділі маркшейдера;

- для локомотивного транспорту – добовий об'єм виймання породи підготовчими дільницями шахти  $V_{c.n}$  (м<sup>3</sup>/добу). Розраховується  $V_{c.n}$  шляхом підсумовування добових об'ємів вибирання породи на окремих дільницях. Ці цифри, як відзначалося раніше, реєструються службою маркшейдера.

У сталому технологічному режимі роботи вугільного підприємства протяжність транспортних магістралей змінюється незначно. Істотні зміни відбуваються при введенні в дію нової лави, нового етапу підготовчих робіт. У цьому випадку необхідно створювати нову регресійну залежність, оскільки використання раніше отриманих є некоректним. Орієнтуючись на сталий технологічний режим, визначимо додаткові параметри, від яких залежить енергоспоживання:

- сумарна потужність двигунів приводу системи транспорту  $\sum P_{mag}$ . Цей показник можна віднести до магістрального транспорту, оскільки оперативне встановлення додаткових конвеєрів або їх демонтаж супроводжуються зміною цього показника в невеликих межах;

- тонно-кілометри перевезення локомотивами додаткових вантажів і людей протягом доби (ТК). Цей параметр важко контролювати, проте при відповідних розпорядженнях керівництва шахти його значення можна отримати.

Зазначимо, що такий параметр, як уклон шляху в рамках діючої системи зі сталим режимом роботи не змінюється. Енергоспоживання залежить також від ступеня завантаження конвеєра, вагонеток. Отже, це ті параметри, які можна і потрібно змінювати. Їх значення в процесі експлуатації повинні бути оптимальними – тобто такими, які забезпечать мінімальні енерговитрати. Тому немає необхідності вводити їх в розряд додаткових параметрів. Поліпшення цих параметрів з точки зору підвищення енергоефективності транспорту супроводжується збільшенням коефіцієнта кореляції між енерговитратами і цільовим показником.

**Водовідливні установки.** Незважаючи на те, що водовідливні установки повинні бути забезпечені контрольними витратомірами, в дійсності ці вимоги не виконуються. Добовий приток води контролює екологічна служба шахти, причому цей контроль здійснюється раз на місяць (наприклад, на шахті «Степова» ВАТ ДКХ «Павлоградвугілля») непрямым методом. Вимірюється переріз канавок, по яких поступає вода, і швидкість руху води. Ясно, що такий контроль не може бути точним і не відображує динаміку зміни притока. У водозбірниках також відсутні прилади, які дозволяють контролювати обсяги води, що надходить. Часто для оцінки об'єму води геологи використовують показники продуктивності насосів водовідливу.

Очевидно, що цільовим параметром, який визначає енерговитрати водовідливної установки, повинен бути добовий об'єм відкачуваної з шахти води  $V_e$  (м<sup>3</sup>/добу). Для його вимірювання необхідно встановити витратоміри води (можна здійснити це на поверхні шахти при скиданні води у водозбірник).

У процесі експлуатації насосів на стінках трубопроводів відкладається твердий осадок, який зменшує переріз трубопроводу, збільшує його гідравлічний опір. При цьому енерговитрати на водовідлив зростають. Енерговитрати зростають і при зниженні ККД двигунів, пов'язаному з їх старінням. Урахування цих змін в регресійній залежності сприяло б більш точному розрахунку рівня енерговитрат. У той же час, така дія «узаконила» б такий стан справ (вважалось б це виправданим) у процесі контролю енергоспоживання. Насправді дії повинні бути такими, що виключають роботу системи в неоптимальному режимі (осадка в трубопроводах не повинно бути, обслуговування насосів повинне бути поставлено на необхідний рівень), тобто вказані параметри керовані і не можуть розглядатися як незалежні від втручання людини. Уведення їх в регресійну модель недоцільне. Ураховуючи консервативність системи водовідливу, ми не бачимо інших параметрів, що змінюються випадковим чином і значною мірою впливають на енергоспоживання. Тому прийнято, що додаткові параметри відсутні.

**Підйомні установки.** Перейдемо до розгляду параметрів, що контролюються при підйомі вантажу. На скиповому підйомі, як правило, фіксується кількість піднятих скипів з вугіллям і породою. Реєстрація здійснюється в автоматичному режимі. Проте при цьому можливий різний ступінь заповнення вантажем скипу. Тому достатньо точно визначити масу вантажу за кількістю скипів практично неможливо.



Буде доцільним, якщо судити про обсяг піднятого вугілля і породи, виходячи з цифр добового об'єму ( $V_{c.d.}$ ,  $V_{c.n.}$  м<sup>3</sup>/добу). Це можливо завдяки тому, що до початку першої видобувної зміни увесь об'єм вугілля і породи буде піднятим на поверхню. Про особливість реєстрації цих параметрів згадувалося раніше при розгляді режимів роботи шахтного транспорту.

Для клітьового підйому параметром, що визначає рівень енерговитрат, може служити маса вантажу, перевезеного протягом доби  $m_k$  (т/добу). На жаль, реєстрація цього параметра на шахтах не здійснюється. Існують певні труднощі технічної реалізації цього процесу. Скоріше за все цей параметр слід розглядати як резервний, уведення якого в регресійну залежність стане можливим після вирішення питання про його вимір.

В існуючих умовах для клітьового підйому пропонується розглядати значення добових енерговитрат як випадкову величину, залежну від параметрів, які наперед не визначені. Це означає, що регресія формується у такому вигляді:  $E = a$ , де  $a$  – постійна величина. У цьому випадку значення  $a$  розглядається як математичне очікування витрат енергії. Оскільки здійснюється оцінка значення  $a$ , то в цьому випадку будуються довірчі інтервали для значення математичного очікування. Цей підхід уявляється можливим для контролю енергоспоживання в період сталого режиму роботи вугільної шахти. Істотні зміни в технології добування, що супроводжуються зміною режиму роботи шахти, потребують формування нової регресійної залежності на основі експериментальних даних, отриманих у нових умовах роботи.

**Шахтні пневматичні установки.** Розглядаючи питання вибору параметрів, що визначають рівень енергоспоживання, слід у першу чергу звернути увагу на контрольовані параметри. Як правило, підлягає виміру тиск у пневмомережі на виході компресора. На жаль, такий параметр, як об'єм споживаного повітря, не вимірюється ні на виході компресорної станції, ні в точках його споживання. Вимірювання об'єму повітря безпосередньо на видобувних дільницях і підготовки було б вдалим рішенням, оскільки дозволило зв'язати ці показники з результатами діяльності цих дільниць (видобуток вугілля, виймання породи). Але це важко реалізувати. Реально виміряти споживання повітря на виході компресорної станції. Можна реєструвати показники добового споживання  $V_k$  (м<sup>3</sup>/добу). Установлення лічильника для визначення об'єму стислого повітря дозволить контролювати ефективність роботи компресорної станції. Ефективність роботи розподільної мережі (повітропроводу) в цьому випадку не підлягає контролю. Проте, як виявили дослідження, саме в пневмомережі втрачається значна частина енергії (втрати повітря досягають 40 %). Тому було б доцільним урахувувати значення цих втрат. Існують методики розрахунку втрат у повітропроводі, які дозволяють розрахувати їх значення виходячи з експериментальних вимірів, що здійснюються в режимі ненавантаженої мережі. Якщо для незмінної структури мережі обчислити значення втрат повітря в повітропроводах  $\Delta V_e$ , то можна розрахувати об'єм повітря, що споживається безпосередньо приймачами,  $V_n =$

$V_k - \Delta V_e$  (м<sup>3</sup>/добу). Структура мережі змінюється порівняно мало, тому такі виміри можна було б здійснювати з періодичністю раз на місяць.

Таким чином, за цільовий параметр, що визначає енергоспоживання компресорної станції, пропонується прийняти значення добового споживання повітря шахтними приймачами пневматичної енергії  $V_n$ . У спрощеному варіанті його можна замінити значенням добового об'єму споживання повітря на виході компресорної станції  $V_k$  (м<sup>3</sup>/добу).

У той же час контроль параметра  $V_n$  не дасть відповіді на питання про ефективність використання повітря при проведенні видобувних та прохідницьких робіт. Певною мірою це упущення можна усунути, вводячи в перелік додаткових параметрів добовий об'єм видобутку вугілля і виймання породи в шахті  $V_{y.n}$  (м<sup>3</sup>/добу). Це значення можна отримати як суму показників цих параметрів за змінами. Звичайно, слід чекати слабкої залежності рівня енерговитрат від цього параметра. Крім того, скоріше за все,  $V_{y.n}$  істотно корелюватиме з  $V_n$ . Однак зробити спробу введення цього параметра в регресійну модель необхідно.

Режими роботи компресорної установки значною мірою залежать від температури оточуючого повітря  $t_e$ , (°C). Оскільки компресорні станції в більшості випадків розташовуються на поверхні шахти, то сезонні зміни температури істотні і їх слід урахувувати. Таким чином, за додатковий параметр, що характеризує режим енергоспоживання, пропонується прийняти середню добову температуру оточуючого повітря  $t_e$ . Якщо виявиться, що цей параметр не має істотного впливу, то існуючі методи відсіву неістотних параметрів у регресійній моделі дозволять його вилучити.

**Вентиляційні установки.** Контроль продуктивності вентилятора головного провітрювання здійснюється службою вентиляції і техніки безпеки (ТБ) щомісячно, а також при зміні режиму роботи вентилятора. Очевидно, що вимір показника продуктивності вентиляційної установки  $Q$  (м<sup>3</sup>/добу) може бути основою для побудови регресійної залежності енерговитрат  $E$  від  $Q$ . Проте в цьому варіанті контролювалася б тільки робота вентилятора і не контролювалися режими роботи вентиляційної мережі. У той же час саме вентиляційна мережа приваблива з погляду можливостей економії споживаної вентилятором електроенергії. Саме зміна опору вентиляційної мережі приводить до помітних змін графіка електричного навантаження. Цю роботу виконує служба вентиляції і ТБ. Можливості для зміни навантаження вентилятора незначні. Вони обумовлені існуючими вимогами ТБ. Однак ці можливості існують. Отже, саме на базі цієї служби повинен бути створений центр обліку енергії вентилятора головного провітрювання. Але важко знайти загальний параметр, який характеризує стан вентиляційної мережі та визначає енерговитрати вентиляційної установки. Крім того, слід звернути увагу на той факт, що опір вентиляційної мережі відноситься до керованих параметрів.

У ситуації, що склалася, слід пригадати те, що система вентиляції повинна сприяти безпечному проведенню видобувних та прохідницьких робіт. Очевидно, можна пов'язати енерговитрати вентиляційних установок з добовим об'ємом видобутку вугілля і виймання породи  $V_{y.n}$  (м<sup>3</sup>/добу). Цей параметр

раніше пропонувалося використати при розгляді пневматичних установок. Як і раніше, слід чекати слабого кореляційного зв'язку цього параметра з рівнем енерговитрат. Якщо цей факт при аналізі регресійної залежності буде проявлятися, то необхідно подати енерговитрати у такому вигляді:  $E=const$ . У сталому режимі роботи вентиляційної мережі (без значних структурних змін) керуючі дії з боку служби вентиляції і техніки безпеки повинні приводити до оптимізації режиму енергоспоживання при виконанні вимог щодо безпеки робіт.

Очевидно, що при введенні в дію установок для підігріву повітря енерговитрати зростатимуть і будуть залежати від потужності калорифера. Рівень цих енерговитрат може бути легко розрахований. Ці енерговитрати слід розглядати відособлено і не включати в енерговитрати, що стосуються роботи вентилятора. Їх слід пов'язувати із зовнішньою температурою повітря.

Вентиляторні установки місцевого провітрювання, як правило, використовують при виконанні підготовчих робіт. Ці вентилятори отримують живлення від пересувних трансформаторних підстанцій. Їх енерговитрати відносять до енерговитрат зазначених робіт.

**Технологічний комплекс поверхні шахти.** Енерговитрати технологічного комплексу поверхні шахти в основному визначатимуться режимами роботи механізмів завантаження, дроблення, переміщення вугілля і породи. Тому має сенс орієнтуватися на відомі цифри добових об'ємів видобутку вугілля і виймання породи  $V_{y.n}$ . Раніше цей показник уже розглядався. Оскільки живлення устаткування технологічного комплексу поверхні шахти, як правило, здійснюється від одного фідера підстанції, то розділення вугільних і порідних потоків (для відокремленого контролю енергоспоживання) здійснити не вдасться. Немає необхідності в їх розмежуванні і з погляду загальної підлеглиості (в частині експлуатації і ремонту устаткування комплексу) одній особі – начальнику дільниці. З цієї причини як цільовий параметр слід розглядати значення  $V_{y.n}$ .

Режими роботи устаткування на поверхні шахти, енерговитрати, що пов'язані з освітленням будівель, значною мірою залежать від температури зовнішнього повітря  $t_6$ , °С. Взимку середньодобове значення температури знижуватимуться, а витрати енергії на освітлення зростатимуть. Пропонується як додатковий параметр прийняти середньодобове значення температури  $t_6$  (градус С). Визначені в статті параметри для розглянутих ЦОЕ зведені в табл.1.3.3.

Підсумовуючи отримані результати, слід зазначити, що на даний момент існують проблеми з виміру багатьох із наведених технологічних параметрів. Існує проблема обліку електричної енергії, що споживається підземними електроприймачами. Тому проведені дослідження слід розглядати як такі, що орієнтовані на перспективу. Впровадження результатів може здійснюватися поетапно у міру освоєння необхідних засобів виміру.

Параметри, від яких залежить енергоспоживання

Назва ЦОЕ	Цільовий	Додаткові
Ділянки видобутку вугілля	$V_{доб}$ (м <sup>3</sup> /зміну)	$\Sigma P_o$ (кВт) $v$ (м/зміну) $n$ (м) $l$ (м) $\alpha_n$ (град) $K_y$
Ділянки підготовчих робіт	$V_{пдох}$ (м <sup>3</sup> /зміну)	$\Sigma P_n$ (кВт) $v$ (м/зміну) $\alpha_n$ (град) $K_n$
Шахтний транспорт: - конвеєрний - локомотивний	$V_{c.d}$ (м <sup>3</sup> /добу) $V_{c.n}$ (м <sup>3</sup> /добу)	$\Sigma P_{маг}$ (кВт) ТК(т·км/добу)
Водовідлив	$V_v$ (м <sup>3</sup> /добу)	----
Підйомна установка: - вугільна - породи - клітьова	$V_{c.d}$ (м <sup>3</sup> /добу) $V_{c.n}$ (м <sup>3</sup> /добу) $m_k$ (т/добу)	—
Пневматичні установки	$V_n$ (м <sup>3</sup> /добу)	$V_{y.n}$ (м <sup>3</sup> /добу) $t_g$ (°C)
Вентиляційні установки	$V_{y.n}$ (м <sup>3</sup> /добу)	----
Технологічний комплекс поверхні	$V_{y.n}$ (м <sup>3</sup> /добу)	$t_g$ (°C)

### Контрольні питання

1. Назвіть складові ланцюга перетворення енергії.
2. Чому ефективність контролю енерговикористання підвищується з урахуванням у регресійній моделі всіх існуючих етапів перетворення енергії?
3. Чому в регресійну модель доцільно включати цільовий та малокеровані параметри?
4. Наведіть приклади визначення цільових та додаткових параметрів.
5. Як визначають кількість градусо-днів?

### 1.4. КОНТРОЛЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ

Контроль ефективності використання енергії в ЦОЕ запропоновано здійснювати на основі розроблених регресійних моделей. Нижче наведені особливості формування таких моделей, а також обґрунтовані принципи контролю енергоефективності.

Витрати енергії в ЦОЕ можна розглядати як випадкові величини, які змінюються в часі. Значення енерговитрат залежать від низки технологічних параметрів, які також змінюються випадково. Функціонування систем

контролю енергоефективності передбачає зіставлення фактичних енерговитрат в ЦОЕ з планованими. Якщо перші можуть бути безпосередньо виміряні, то заплановані отримують з регресійної залежності, побудованої за результатами раніше проведених спостережень (вимірювань). Таким чином, базою для формування планових показників енерговитрат служать математичні моделі, побудовані на основі регресійних залежностей. Крім того, для контролю енерговикористання необхідний кореляційний аналіз, який дозволить оцінити зв'язок між значенням енерговитрат і параметрами, що їх визначають.

Детально задачі математичної статистики, що пов'язані з енергоменеджментом, розглянуті в розд.2. У цьому параграфі акцентується увага на принципах побудови і використання регресійних залежностей для контролю енергоспоживання.

Перш за все необхідно обґрунтувати періодичність синхронних вимірювань витрат енергії (за показниками лічильників), а також значень відповідних технологічних параметрів у ЦОЕ. Така періодичність може визначатися тривалістю:

- виготовлення партії продукції;
- зміни;
- доби;
- тижня;
- місяця.

Періодичність вимірів залежить від динаміки протікання процесів енергоспоживання. Якщо енергоспоживання суттєво змінюється в часі, то виміри слід здійснювати частіше.

Існують різні методи збору інформації, необхідної для побудови регресійної залежності:

- ручний;
- за допомогою комп'ютерних систем обліку витрат енергії.

Кожний із цих методів має переваги та недоліки. Ручний метод вимірювання передбачає безпосередню участь обслуговуючого персоналу в реєстрації показань лічильників, встановлених в ЦОЕ. Недолік цього методу полягає у можливих помилках персоналу, допущених у процесі реєстрації показань лічильника. Проте цей метод простий і найбільш прийнятний у випадку, коли періодичність вимірювань значна.

Комп'ютерні системи обліку широко використовуються для реєстрації витрат енергії. Як правило, вони мають стандартний набір функціональних можливостей, забезпечують високу точність вимірювання параметрів із заданим інтервалом часу. Показання лічильників по інформаційним каналам зв'язку можуть бути передані безпосередньо в комп'ютер, що формує регресійну залежність. Недолік комп'ютерних систем обліку полягає в їх достатньо високій вартості, необхідності налагодження систем з вирішенням часто непростих завдань поєднання різних програмних продуктів. Крім того, автоматична реєстрація технологічних параметрів не завжди можлива.

Розглянемо задачу побудови регресійної залежності між двома параметрами. Формують вибірку експериментальних даних:

$$(x_1, y_1) (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n), \quad (1.2)$$

де  $x_i$  – незалежний технологічний параметр;  $y_i$  – залежний параметр (рівень енерговитрат). При зборі статистичної інформації для побудови регресійної моделі іноді виникають ситуації, при яких достовірність окремих спостережень (вимірів параметрів) викликає сумнів. Це може відбуватися внаслідок:

- звичайних випадкових коливань, обумовлених природою аналізованої генеральної сукупності;
- порушення умов отримання експериментальних даних (наприклад, синхронності визначення величин  $x_i, y_i$ );
- помилок, що виникають при реєстрації показань лічильників.

У тому випадку, коли спостереження, що відрізняються, пов'язані з природою явища, то виключати їх з розгляду не можна. Для виключення спостережень (різко виділених), обумовлених двома останніми переліченими факторами, користуються формальними методами. При цьому використовують змістовний аналіз даних або застосовують статистичні критерії. Статистичні критерії ґрунтуються на визначенні середніх значень і середньоквадратичних відхилень випадкових величин  $y_i$ . Перевищення рівнів малоімовірних відхилень вимагає виключення їх із сукупності даного виміру.

Для умов з відомими граничними значеннями параметрів  $x_i, y_i$ , (що характерно, наприклад, для рівнів видобутку і енергоспоживання вугільної шахти), можна використовувати змістовний аналіз даних. Його суть полягає в тому, що кожне із значень незалежної змінної  $x_i$ , а також залежної змінної  $y_i$  зіставляють з граничними значеннями цих параметрів  $x_{min}, x_{max}$  та  $y_{min}, y_{max}$ . Вибраковці (вилученню з вибірки) підлягають значення, що не задовольняють таким умовам:

$$x_{min} \leq x_i \leq x_{max} \quad i = 1 \dots n; \quad (1.3)$$

$$y_{min} \leq y_i \leq y_{max} \quad i = 1 \dots n. \quad (1.4)$$

Якщо якесь із значень  $x_i$ , або  $y_i$  виходить за зазначені межі, то з вибірки виключається як  $x_i$ , так і  $y_i$  (хоча один з цих параметрів може і не виходити за ці межі). Важливо правильно вибрати граничні значення  $x_{min}, x_{max}, y_{min}, y_{max}$ . Проте, як свідчать результати вимірів параметрів  $x, y$  для умов вугільних шахт, їх розкид невеликий, значні відхилення від середніх значень спостерігаються у край рідко і можуть бути пов'язані з помилками при отриманні показань лічильників та їх уведенні в базу даних. У цьому випадку логіка вибору вибірки  $x_{min}, x_{max}, y_{min}, y_{max}$  повинна бути такою: „цих значень параметрів у принципі бути не може”. Вилучивши змінні, що різко виділяються, можна перейти до подальшої обробки результатів експерименту.

Результати випробовувань, що фіксуються у статистичній вибірці, повинні бути однорідними. Однорідність випробувань є однією з найважливіших умов правильного застосування статистичних методів обробки спостережень. Щоб забезпечити однорідність випробувань, треба кожен їх серію проводити в стабільних умовах (використовуючи одні і ті ж самі прилади, проводячи експерименти в стислі терміни, пам'ятаючи, що багато чинників змінюються в часі). Отримавши експериментальні дані, необхідно ретельно проаналізувати умови самих випробувань.

Перевірка однорідності спостережень може бути здійснена статистичними методами. Для цього треба знати характер розподілу випадкової величини. В загальній формі задача про однорідність спостережень формулюється таким чином: чи сумісні елементи вибірки з гіпотезою про те, що всі вони отримані з однієї і тієї ж самої генеральної сукупності. При цьому можна користуватися відомими методами порівняння дисперсій, а також середніх значень.

Потім розглядають рівняння регресії як залежність середніх значень параметра  $y(a_y)$  від параметра  $x$  [ $a_y = \varphi(x)$ ]. Оскільки середні значення  $a_y$  є дійсними значеннями спостережуваної величини (без урахування випадкового фактора), то регресія відображує залежність між цими величинами, позбавлену випадкових нашарувань. При обмеженій кількості спостережень побудова залежності  $a_y = \varphi(x)$  не уявляється можливою. Може йти мова про побудову наближеної регресії  $\hat{y} = f(x) \approx a_y$ , де  $\hat{y}$  – оцінка середнього значення  $a_y$ .

На рис. 1.4.1 зображена лінійна залежність між параметрами  $\hat{y}$  і  $x$ , яка побудована за результатами спостережень.

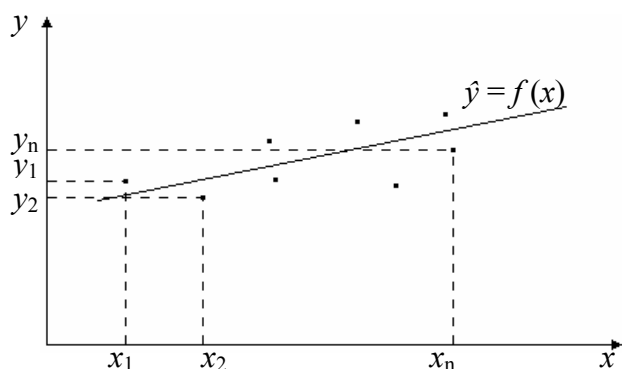


Рис. 1.4.1. Лінійна регресійна залежність  $\hat{y} = f(x)$

Залежність  $\hat{y} = f(x)$  будується на основі принципу найменших квадратів, який забезпечує мінімальне розсіювання  $S$  значень  $y_i$  навколо функції  $f(x)$ :

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2.$$

Орієнтовно вид залежності визначають за характером розташування експериментальних даних. Широкого розповсюдження набула лінійна регресія  $\hat{y} = \alpha + \beta x$ . Цей вид залежності найбільш поширений в діючих системах енергоменеджменту.

Тут коефіцієнт регресії [6]

$$\beta = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}. \quad (1.5)$$

Часто значення  $\beta$  виражають через вибіркві дисперсії  $S_x$ ,  $S_y$  та коефіцієнт кореляції  $r$ :

$$\beta = r \frac{S_y}{S_x},$$

де

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (y_i - y_0)^2}; \quad S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - x_0)^2}; \quad (1.6)$$

$$r = \frac{\sum (x_i - x_0)(y_i - y_0)}{(n-1)S_x S_y}; \quad x_0 = \frac{1}{n} \sum x_i; \quad y_0 = \frac{1}{n} \sum y_i.$$

Значення постійної складової отримують з рівняння

$$\alpha = \frac{\sum y_i - \beta \sum x_i}{n}. \quad (1.7)$$

Розглянемо основний принцип, який дозволяє використовувати регресійну залежність для контролю енергоспоживання. Припустимо, що така залежність для конкретного ЦОЕ побудована за експериментальними даними, отриманими в попередніх дослідах. Тоді фактичне значення енергоспоживання (параметр  $y$ ) у всіх наступних дослідах повинне зіставлятися з середнім (плановим) значенням  $a_y$ , що відповідає даному  $x$ . Якщо для  $x_{n+1}$  фактичне значення енергоспоживання  $y_{n+1}$  перевищує  $a_{y(n+1)}$ , то це свідчить про нераціональне використання енергії в ЦОЕ. Якщо показник фактичного енергоспоживання нижчий за середній, то це свідчить про ефективне енергоспоживання. Слід звернути увагу на той факт, що планові показники енергоспоживання належить отримувати з точної регресійної залежності  $a_y = \varphi(x)$ . Насправді ми маємо наближену залежність, що дозволяє отримати оцінку ( $\hat{y}$ ) істинного середнього значення  $a_y$ . Очевидно, в цьому випадку необхідно побудувати довірчі інтервали, всередині яких з високою довірчою ймовірністю знаходитиметься дійсна (точна) регресійна залежність  $a_y = \varphi(x)$ . Для випадку лінійної регресії будується довірча область, яка зображена на рис.1.4.2.

Пряма  $\hat{y} = \alpha + \beta x$  знаходиться всередині заштрихованої області, обмеженої довірчими інтервалами. Порядок побудови довірчих інтервалів викладений нижче.



Дисперсія середнього  $Y_0$  у  $n$  разів менша середньозваженої дисперсії за всіма окремими спостереженнями  $Y_i$ . Межі довірчого інтервалу для дійсного середнього значення параметра  $y$

$$y_{он} = y_0 - \frac{Sy}{\sqrt{n}} t_{1-p/2}; \quad y_{ов} = y_0 + \frac{Sy}{\sqrt{n}} t_{1-p/2}, \quad (1.8)$$

де  $t_{1-p/2}$  – квантилі  $t$ -розподілу (розподіл Стьюдента).

Так, наприклад, при  $p = 0,05$  довірна вірогідність  $1 - p = 0,95$ . Тоді при  $n = 5$ ,  $t_{1-p/2} = 2,78$ ;  $n = 10$ ,  $t_{1-p/2} = 2,26$ , при  $n \rightarrow \infty$  розподіл Стьюдента близький до нормального. Уже при кількості дослідів  $n = 10$  можна вважати, що цей розподіл близький до нормального. Розподіл Стьюдента дозволяє визначати довірчі інтервали навіть у разі проведення невеликої кількості експериментів.

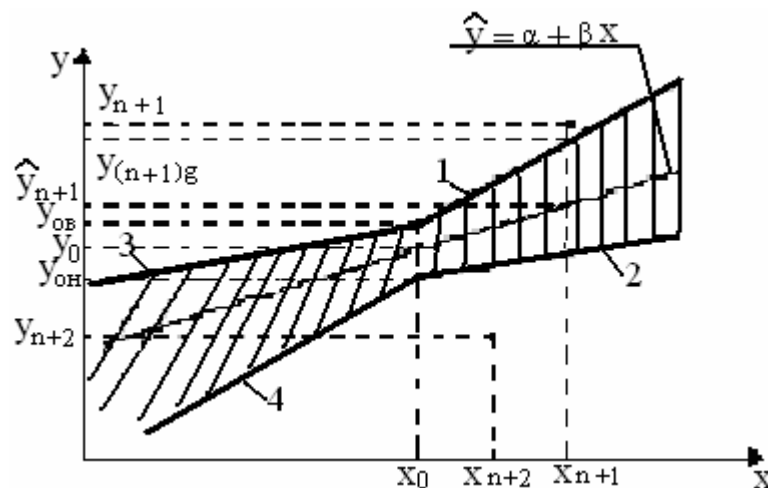


Рис. 1.4.2. Довірчі інтервали регресії

Межі довірчого інтервалу ( $\beta'$ ,  $\beta''$ ) отриманої оцінки коефіцієнта регресії  $\beta$

$$\beta' = \beta - t_{1-p/2} \frac{Sy\sqrt{1-r}}{Sx\sqrt{n-2}}; \quad \beta'' = \beta + t_{1-p/2} \frac{Sy\sqrt{1-r}}{Sx\sqrt{n-2}}. \quad (1.9)$$

За відомими с  $y_{он}$ ,  $y_{ов}$ ,  $\beta'$ ,  $\beta''$  розраховують значення відповідних коефіцієнтів  $\alpha$ :

$$\begin{aligned} \alpha'_1 &= y_{он} - \beta''\bar{x}; & \alpha''_1 &= y_{ов} - \beta''\bar{x}; \\ \alpha'_2 &= y_{он} - \beta'\bar{x}; & \alpha''_2 &= y_{ов} - \beta'\bar{x}. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Рис. 1.4.2 ілюструє довірчу область, побудовану з урахуванням розрахованих значень коефіцієнтів  $\alpha'_1, \alpha''_1, \alpha'_2, \alpha''_2, \beta', \beta''$ . Вона обмежена прямими:  $1 \rightarrow y = \alpha''_1 + \beta''x$ ,  $2 \rightarrow y = \alpha'_2 + \beta'x$ ,  $3 \rightarrow y = \alpha''_2 + \beta''x$ ,  $4 \rightarrow y = \alpha'_1 + \beta'x$ . У цій області з довірчою ймовірністю  $(1-p)^2$  розташована лінія дійсної регресії.

Розглянемо принцип контролю енергоспоживання. З урахуванням довірчих інтервалів усі значення фактичних енерговитрат, які попадають у заштриховану область, слід розглядати як такі, що відповідають плановим показникам. Якщо показники енерговитрат виходять за межі довірчих інтервалів (за заштриховану область), то значення  $y_{n+1}$ , наприклад, свідчить про нераціональне використання енергії в ЦОЕ на контрольованому етапі (зміна, доба, тиждень), а значення  $y_{n+2}$  свідчить про раціональне використання енергії (розташоване нижче заштрихованої області). Як буде розглянуто далі, зі збільшенням кількості дослідів заштрихована область звужується, що підвищує ефективність здійснюваного контролю.

Таким чином викладений основний принцип контролю енергоспоживання в ЦОЕ. Він полягає в тому, що показники фактичного рівня використання енергії зіставляються з плановими, отриманими із раніше побудованої регресійної залежності. Сама функціональна залежність *середнього* значення енерговитрат на об'єкті від прийнятих незалежних параметрів, які характеризують енергоспоживання, є межею поділу задовільних і незадовільних результатів роботи ЦОЕ. Якщо фактичні енерговитрати перевищують середнє значення (виходячи з регресії), то можна вважати, що енергетичні витрати будуть неправомірними. При цьому необхідно вжити заходи (в рамках діючої системи енергоменеджменту) до їх зниження.

Виходячи із самого принципу контролю енерговикористання, очевидно, можна ставити питання і про оцінку *рівня* незадовільної або задовільної роботи ЦОЕ. Дійсно, чим більші відмінності в значеннях фактичного та планового енергоспоживання, тим більшою мірою співробітники ЦОЕ заслуговують похвали або осуду (у разі перевитрат енергії). Тому іноді здійснюють розрахунок різниці  $y_{n+1} - \hat{y}_{n+1} = \Delta y_{n+1}$  і подають її у вигляді міри відмінності фактичних і планових енерговитрат. Якщо бути більш точним, то рівень відхилень слід розраховувати по відношенню до верхнього (у разі перевитрат енергії) або нижнього (у разі економії) рівнів довірчого інтервалу. Так, з рис. 1.4.2 перевитрата енергії визначається як  $\Delta y_{(n+1)g} = y_{n+1} - y_{(n+1)g}$ . Оскільки в різних експериментах рівні  $y_{(n+1)g}$  відрізняються, то рівень перевитрат (або економії) слід подавати у відносних одиницях, тобто у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta y_{(n+1)g}}{y_{(n+1)g}} \cdot 100\%.$$

У цьому варіанті параметр  $\delta$  залежить не тільки від абсолютної різниці  $\Delta y_{(n+1)g}$ , але і від рівня запланованого в даних умовах (при заданому  $x_{n+1}$ ) енергоспоживання. Це важливо, оскільки ці рівні в різних дослідах відрізняються, тобто параметр  $\delta$  відображує відсоток перевищення (або

економії) енерговитрат відносно планованого значення з урахуванням довірчих інтервалів. Розрахунок показника  $\delta$  – важливий момент аналізу, оскільки він може використовуватися в системі контролю і визначати той **рівень матеріального заохочення (або збитків)**, який буде застосований до ЦОЕ за результатами його роботи. Звісно, що цей показник необхідно зв'язати з матеріальними стимулами, що використовуються на підприємстві.

Якщо врахувати, що матеріальне стимулювання здійснюється з певними інтервалами часу (щомісячно), то доцільно користуватися інтегральним показником відхилень  $\sum \Delta y_{(n+1)g}$ , розрахованим як сума відхилень в перебігу місяця з урахуванням знаку окремих складових (економія або перевитрата енергії). Цей параметр отримав назву кумулятивної суми.

Звівши значення відхилень  $\Delta y_{n+1}$  (йдеться мова не тільки про вимірювання на  $n+1$  кроці, але і на всіх подальших кроках контролю) на такий високий рівень (рівень матеріальних стимулів), очевидно потрібно ставити перед собою задачу достатньо точного (виходячи з цілей контролю) розрахунку самої регресійної залежності, тобто необхідно відповісти на питання, наскільки **вид** регресійної залежності відповідає даним експерименту, а також на питання, наскільки отримана нами наближена регресія відрізняється від дійсної (питання довірчих інтервалів).

Як приклад розглянемо процедуру їх вирішення в умовах вугільних шахт. Відповідаючи на перше питання, необхідно звернути увагу на деякі особливості зв'язку енерговитрат з цільовими параметрами, що характерні для вугільних шахт. Ці особливості налаштовують нас на використання простої лінійної залежності першого порядку, де розглядатимуться енерговитрати залежно від цільових показників, характерних для конкретних ЦОЕ. Розглянемо ці доводи:

- лінійну регресію слід передбачити в дослідженнях, де правдивий закон „рівномірного накопичення”, тобто відомо, що  $y$  пов'язаний із зміною  $x$ , але не залежить від того, яка „кількість” параметра  $x$  накопичилося. Саме цей закон, на перший погляд, прийнятний для існуючої на шахтах залежності між енергоспоживанням і параметрами, від яких вона залежить (в першу чергу від об'єму видобутку);

- межі зміни параметрів, від яких залежить енергоспоживання в конкретному ЦОЕ, як правило, незначні. Це зумовлено сталим у перебігу багатьох років ритмом роботи вугільного підприємства, де робота чітко спрямована на отримання результату – видобутку вугілля. Тому в сталих режимах роботи підприємства показники видобутку вугілля, проходки варіюються в незначній мірі. При незначних межах зміни аргументу лінеаризація навіть істотно нелінійної залежності  $y = f(x)$  призводить до незначних похибок, тобто передбачається, що лінійна залежність характерна для вузького діапазону зміни аргументу  $x$ ;

- лінійна регресійна залежність має чіткі, однозначно трактовані показники, що характеризують ступінь залежності однієї випадкової величини від іншої (коефіцієнти кореляції, детермінації). Математичні вирази, що визначають коефіцієнти регресійної залежності, прості. Лінійна залежність

дозволяє легко розрахувати очікувану економію енергоресурсів, прогнозувати рівні енергоспоживання.

Поки що йдеться мова про найпростіші спостереження. Питання вибору виду регресійної залежності може розглядатися і в теоретичному плані. Якість складеного рівняння регресії визначається такими показниками, як залишкова дисперсія, коефіцієнт кореляції (або детермінації) та ін. Проте, загальні рекомендації такі, що на початковому етапі контролю енерговикористання слід прийняти просту залежність (в першу чергу лінійну першого порядку з однією незалежною змінною). У разі потреби (при низькій точності прогнозованих результатів) ця регресійна залежність може бути уточнена у міру накопичення експериментальних даних в окремих ЦОЕ. У кінцевому варіанті можна орієнтуватися на лінійну множинну регресію, де як незалежні змінні будуть використані цільові і додаткові параметри, що були запропоновані раніше.

Відповідь на друге питання (довірчі інтервали) також надзвичайно важлива. Важлива тому, що саме лінія регресії є межею поділу незадовільних і задовільних результатів роботи. Формування довірчих інтервалів та області (рис.1.4.2), усередині якої з високою ймовірністю знаходиться точне значення лінії регресії, дозволяє виділити ту область, усередині якої можна фіксувати прийнятні результати енергоспоживання (заштрихована область, рис. 1.4.2). І лише вихід результатів за межі цієї області розглядається як незадовільний (значення у розташовані вище) або задовільний (розташовані нижче) результат. У випадку, якщо довірчі інтервали будуть широкими, ефективність контролю енергоспоживання знижується. При цьому велика частина експериментальних даних опиниться в заштрихованій зоні і вони розглядатимуться як такі, що задовольняють плановим показникам. Звуження області спостерігатиметься при посиленні кореляційного зв'язку між залежною і незалежною змінними, а також при збільшенні кількості експериментів. Тому при побудові регресійної залежності слід звернути увагу на ширину області, що визначена довірчими інтервалами. Чим вужче ця область, тим ефективніше відбувається контроль (значна кількість результатів буде трактуватися як незадовільні або задовільні результати). Очевидно має сенс визначити максимальну ширину цієї області, при якій можна вважати контроль ефективним. Так, пропонується визначити значення  $(y_{ov} - y_{on})/y_0$  і виразити його у відсотках (рис. 1.4.2). Із рис.1.4.2 видно, що ці значення залежної змінної  $y$  отримані для середнього значення незалежної змінної  $x_0$ , яка в свою чергу отримана в  $n$  експериментах. Виникає питання, чому розглядаються значення  $y$ , які відповідають середньому значенню  $x_0$ ? Це виправдано виходячи з факту, що розсіяння змінної  $x$  відбувається в області середнього значення  $x_0$ , причому, як уже про це згадувалося, слід чекати невелику дисперсію значень  $x$ . Тому значення енерговитрат, характерні для  $x_0$ , відображають енерговитрати в інших експериментах. Задаючи рівень параметра  $\epsilon$  [ $\epsilon = (y_{ov} - y_{on}) \cdot 100\% / y_0$ ], ми тим самим визначаємо вимоги до довірчого інтервалу  $i$ , отже, до точності контролю рівня енерговитрат. Так, наприклад, якщо домагатися, щоб значення  $\epsilon$  не перевищувало 10%, то це значить, що в межах значень  $x$ , близьких до  $x_0$ , точність контролю енерговитрат, обумовлена наявністю довірчих інтервалів,

приблизно складе  $\pm 5\%$ . Очевидно, якщо значення  $\epsilon$  буде наперед визначеним, то формування регресійної залежності з необхідними довірчими інтервалами (обумовленими максимальним значенням  $\epsilon$ ) буде можливим тільки при проведенні певної кількості експериментів  $n$ . Нагадаємо, що зі збільшенням  $n$  область, обмежена довірчими інтервалами, звужується. Практична реалізація цієї вимоги полягає в тому, що кількість дослідів, необхідних для побудови регресії, повинна бути такою, щоб забезпечити значення  $\epsilon$  меншим, ніж вимагається. Тому побудова регресійної залежності буде пов'язана з попередньою оцінкою необхідної кількості експериментальних даних. Наведені міркування до процесу формування довірчих інтервалів справедливі і для випадку множинної регресії (з декількома незалежними змінними).

Наступні дослідження пов'язані з тим, щоб встановити відмінності звичайної постановки задачі регресійного аналізу (традиційної) від задачі, що розв'язується за допомогою регресії в системі енергетичного менеджменту. В традиційному підході побудова регресійної залежності пов'язана з необхідністю розрахунку значень залежної змінної  $y$  при відомому поєднанні незалежних змінних  $(x_1, x_2, \dots, x_m)$ . При цьому велика увага приділяється точності розрахунку прогнозованого параметра  $y$ . Урахування більшої кількості незалежних змінних, як правило, сприяє більш точному прогнозу значення  $y$ .

Прогноз значень  $y$ , виходячи з регресійної моделі, широко використовується в енергоменеджменті. Це важливо для прогнозу із заданою точністю рівня енерговитрат у майбутньому, коли відомі прогнозовані значення незалежних змінних (наприклад, обсягу видобутку вугілля у наступні періоди). Інша задача полягає у безперервному контролі рівня витрат енергії. Регресійна залежність дозволяє робити висновки про ефективність використання енергії (про хороші або незадовільні результати). При цьому слід зрозуміти, яке енергоспоживання необхідно вважати виправданим за існуючих умов експлуатації устаткування, технологічних ліній. Очевидно, що виправданим необхідно вважати таке енергоспоживання, при якому керовані параметри приймуть оптимальні значення, які визначають мінімум енерговитрат. Змінна складова енерговитрат буде пов'язана з варіацією параметрів, на які співробітники ЦОЕ впливати не можуть (це, наприклад, запланований підприємством обсяг випуску продукції, температура оточуючого повітря, кут нахилу пласта при видобуванні вугілля). Це – некеровані параметри (точніше сказати малокеровані, тобто такі, що, в принципі, керування ними в певних умовах можливе, проте воно не виправдано виходячи з інших міркувань). Звідси видно, що постановка традиційної задачі регресійного аналізу дещо відрізняється від постановки задачі, що стосується контролю енергоспоживання. Для осмислення цього факту наведемо приклад. Відомо, що енерговитрати на перевезення вугілля конвеєрним транспортом залежать від обсягу доставленого вантажу, а також ступеня завантаження конвеєра. Очевидно, що обсяг вантажу – некерований параметр, а ступінь завантаження конвеєра – керований. Більш того, ступінь завантаження повинен бути таким, щоб забезпечити мінімум енерговитрат (оптимальний). Очевидно, що **виправданим** слід вважати енергоспоживання при оптимальному завантаженні

з урахуванням можливих варіацій обсягу вантажу. Ясно, що в регресійну залежність слід ввести некерований параметр – обсяг вантажу. Саме збільшення обсягу вантажу виправдовує додаткові енерговитрати. Немає необхідності для введення в модель параметра, який характеризує ступінь завантаження конвеєра (керована змінна). Дійсно, якщо такий параметр ввести, то експлуатація устаткування з різним ступенем завантаження буде **виправданою** і при зниженні ступеня завантаження конвеєра розраховані за допомогою регресійної залежності питомі енерговитрати (запланований рівень енерговитрат) зростуть і не входитимуть у суперечність зі збільшеними фактичними питомими енерговитратами. При цьому обслуговуючий персонал не вживатиме ніяких дій щодо оптимізації ступеня завантаження, адже в цьому випадку результати контролю свідчатимуть про те, що ситуація з енерговикористанням в ЦОЕ нормальна.

Із сказаного виходить, що в регресійну модель слід уводити некеровані змінні. Саме це дозволить формувати залежності, що відображають **виправдане** обставинами енергоспоживання, і застосовувати їх для контролю ефективності використання енергії в ЦОЕ. Саме з цих позицій виходили раніше при формуванні переліку параметрів, що визначають рівні енерговитрат (були виділені некеровані цільові і додаткові параметри). Перевага такого підходу до формування регресійної залежності полягає в тому, що зіставлення фактичних енерговитрат з плановими в даному варіанті дозволить контролювати процес оптимізації керованих параметрів в ЦОЕ, тобто контролювати процес наведення порядку з енерговикористання в ЦОЕ. Розглянемо, як це може впливати на експериментальні дані. Нехай  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – незалежні параметри (керовані та некеровані),  $y$  – залежний параметр (енерговитрати). Очевидно, що варіація  $y$  складатиметься із частин, що визначаються варіацією незалежних параметрів. Умовно таку залежність можна ілюструвати рис. 1.4.3.

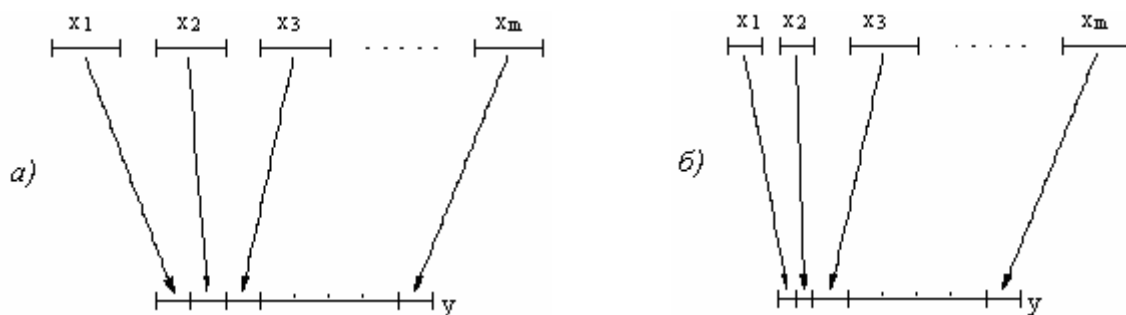


Рис. 1.4.3. Схема зв'язку між параметрами  $y$  та  $x$

На рис. 1.4.3 схематично зображені межі зміни незалежних параметрів ( $x_1, x_2, \dots, x_m$ ), а також межа зміни параметра  $y$ , розбита на відповідні складові, що визначаються змінами  $x_1, x_2, \dots, x_m$ . Рис. 1.4.3,а відповідає стану справ до контролю енерговитрат в ЦОЕ. Нехай  $x_1, x_2$  – керовані параметри, які після створення на підприємстві системи енергоменеджменту та наведення ладу в енерговикористанні були оптимізовані (досягли значень, при яких енерговитрати, пов'язані зі зміною цих параметрів, мінімальні). Ясно, що межі

зміни  $x_1$  та  $x_2$  звужаються. При цьому звужиться межа зміни параметра  $y$ , тобто після відповідної керуючої дії, пов'язаної з оптимізацією параметрів в ЦОЕ, ситуація відповідатиме рис. 1.4.3,б. Таким чином, проведення в ЦОЕ заходів з оптимізації керованих змінних призводить до звуження межі зміни  $y$ . Якщо регресійна залежність, яка встановлює зв'язок між некерованими параметрами  $x_3, \dots, x_m$  і властивістю  $y$  була сформована до контролю енерговитрат в ЦОЕ (рис. 1.4.3,а), то після проведення керуючих дій (при введенні в експлуатацію системи енергоменеджменту, рис. 1.4.3,б) спостерігатимемо звуження межі зміни енерговитрат ( $y$ ), і, отже, зосередження експериментальних даних ближче до лінії регресії  $[y = f(x)]$ . У разі лінійної залежності першого порядку ( $y = \alpha + \beta x$ ), це проявиться в збільшенні коефіцієнта кореляції між залежною випадковою величиною  $y$  (енерговитрати) і некерованим параметром  $x$  (як правило, цю роль виконує цільовий параметр). При використанні множинної регресії (декілька некерованих параметрів:  $x_3, \dots, x_m$ ) зростатиме коефіцієнт множинної кореляції, тобто в процесі контролю енерговикористання стохастичний зв'язок між випадковими величинами посилюватиметься. Для оцінки ступеня впливу незалежної змінної на залежну використовують також коефіцієнт детермінації  $d$ , який дорівнює квадрату коефіцієнта кореляції  $r$  ( $d = r^2$ ). Параметр  $d$  вимірює ту частку загальної дисперсії залежної змінної  $y$  в рівнянні регресії, яка може бути пояснена варіацією аргументів  $x$ , що входять у рівняння, тобто в запропонованому підході до формування регресійної залежності параметр  $d$  показуватиме ту частку дисперсії енерговитрат, яка обумовлена зміною некерованих параметрів. Якщо система енергоменеджменту працюватиме ефективно, то ця частка зростатиме, а частка дисперсії, обумовлена керованими параметрами, зменшуватиметься.

Загальний висновок такий. При ефективному контролі енергоспоживання в ЦОЕ коефіцієнт кореляції змінних регресійної залежності, складеної за вищевикладеним принципом, **повинен зростати**. Процес зростання  $r$  (і пов'язаного з ним  $d$ ) слід розглядати як показник плідної роботи колективу ЦОЕ щодо зменшення енергоспоживання. Зрозуміло, що процес зростання не може бути нескінченним. Очевидно, що після закінчення певного проміжку часу енерговитрати в ЦОЕ будуть мінімізовані, а значення  $r$  стабілізується. Подальший процес контролю полягатиме в тому, щоб значення  $r$  не зменшувалося.

Слід обговорити також умови, в яких контроль енергоспоживання в ЦОЕ на основі регресійної залежності можливий. Ураховуючи той факт, що регресія будується за результатами вибіркового даних з генеральної сукупності, то необхідно забезпечити **однорідність** цих даних. Існують критерії, які дозволяють виконати таку перевірку. В першу чергу неоднорідність може проявитися за наявності структурних змін в об'єкті. Наприклад, установлення в ЦОЕ нового обладнання, яке істотно зменшує рівень енерговитрат. Як приклад можна розглянути процес переведення видобувних робіт вугільних шахт в іншу лаву з іншими умовами видобутку і т.п. Тому зрозуміло, що всякі структурні зміни в об'єкті повинні супроводжуватися або формуванням нової регресійної залежності, або коректуванням залежності, що раніше використовувалась, з

урахуванням уведених змін.

Перший варіант, наприклад, слід застосовувати на початковому етапі робіт з видобутку вугілля в новій лаві. У цьому випадку в перебігу декількох днів необхідно отримувати дані про енергоспоживання в ЦОЕ і про значення параметрів, що його визначають. За цими даними з урахуванням необхідних довірчих інтервалів будують регресійну залежність. Після її побудови здійснюють контроль енергоспоживання в ЦОЕ у перебігу періоду експлуатації лави. Такий підхід слід застосовувати і при виконанні підготовчих робіт. Зміна регресійної залежності буде виправдана також при застосуванні нової структури мережі розподілу стисненого повітря, нової структури системи водовідливу тощо.

У другому варіанті здійснюють коректування існуючої регресійної залежності. Це можливо в тому випадку, якщо наперед відомий той результат, до якого призведе зміна в структурі об'єкта (йдеться мова про результат, пов'язаний зі зміною енергоспоживання). Наприклад, установа нового скребкового конвеєра на дільниці видобутку вугілля приведе до економії електричної енергії приблизно на 0,5 кВт·г/тонну. Зрозуміло, що таке коректування вплине на кут нахилу  $\beta$  регресії (у разі лінійної залежності). Можливе також коректування постійної складової енерговитрат  $\alpha$ . Це відбувається при введенні в дію постійно працюючого в ЦОЕ устаткування, при його виведенні з експлуатації або зміні його потужності. Коректувати залежність повинен енергоменеджер, запропонувавши при цьому чітке обґрунтування для своїх дій. Треба розуміти, що коректування залежності є вимушеною дією. Ця дія являє собою альтернативу варіанта зі збором нової інформації для побудови лінії регресії (тобто розглянутого вище першого варіанта). Недолік першого варіанта полягає в тому, що необхідно мати час для формування нової вибірки даних. У перебігу цього періоду контроль за енерговикористанням в ЦОЕ здійснюватися не буде (центр не має необхідної регресійної залежності).

Слід звернути увагу на той факт, що процес контролю енергоспоживання в ЦОЕ *не є пасивним*. Дійсно, зіставлення фактичних енерговитрат з плановими потребує виконання персоналом центру дій, направлених на зниження енергоспоживання. Це означає, що змінюватиметься розташування експериментальних даних відносно лінії регресії, що призведе до коректування регресійної залежності. Тому необхідно, щоб період контролю не віддалявся в значній мірі за часом від моменту формування регресії (рис. 1. 4.4).

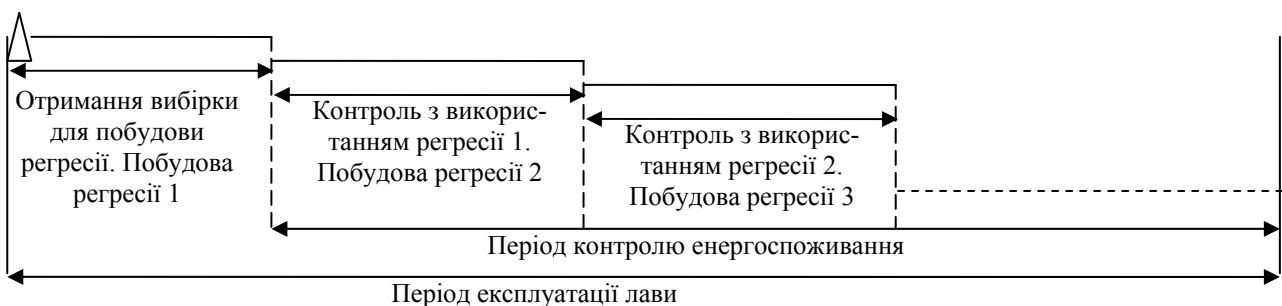


Рис. 1.4.4. Контроль енергоспоживання ділянки видобутку вугілля



Розглянемо цей процес на прикладі дільниці видобутку вугільної шахти. Послідовне формування регресійної залежності для різних етапів контролю назвемо процесом отримання „стандартної” залежності. Проте, в практиці енергоменеджменту використовують поняття „цільової” регресійної залежності.

Йдеться мова про те, що на кожному етапі контролю разом зі „стандартною” регресійною залежністю формується також цільова залежність, що відображує прагнення енергоменеджера посилити вимоги до економії енергії в ЦОЕ, тобто ці залежності завищують вимоги до ефективності енерговикористання, розташовуючи цільову лінію регресії нижче стандартної (рис.1.4.5).

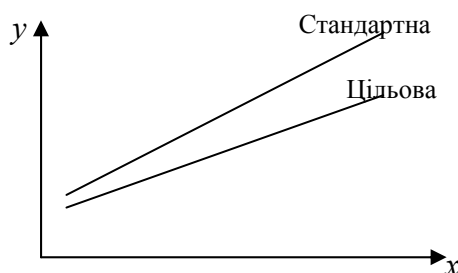


Рис. 1.4.5. Стандартна та цільова лінії регресії

Один з можливих способів побудови цільової регресії полягає в тому, що спочатку будують стандартну лінію регресії. Потім реєструють дані, що розташовані нижче цієї лінії, і розглядають їх як нову вибірку для побудови цільової регресійної залежності. При такому підході до побудови цільова залежність відобразить кращі результати роботи ЦОЕ. Якщо ці результати підтверджуватимуться на етапі контролю, то це свідчатиме про позитивні результати роботи ЦОЕ і про те, що тут безперервно піклуються про зниження енерговитрат. Цільову регресію можна одержати також шляхом зміни значень  $\alpha$  та  $\beta$  на певний відсоток відповідно до лінії стандарту (процентний підхід до формування цільової лінії регресії). Якщо на етапі контролю результати роботи ЦОЕ незадовільні, то необхідно розібратися в причинах відставання. Якщо відставання не має підстави, то доцільно „невиконану” стандартну лінію регресії залишити на наступний термін. Якщо ж додаткові витрати енергії обґрунтовані, то за отриманими на етапі контролю даними формується нова стандартна залежність згідно з рис. 1.4.4. Аналіз отриманих результатів дозволить вибрати необхідний для ефективного контролю період дії наступної регресійної моделі. Слід пам'ятати, що за цей період треба виконати необхідну кількість вимірів, за якими буде побудована нова модель, яка забезпечить необхідну точність контролю. При отриманні щоденних результатів експерименту, а також результатів за робочими змінами, характерних, наприклад, для розглянутих умов вугільної шахти, очевидно можна орієнтуватися на період дії регресійної моделі – один місяць.

Викладений підхід до формування стандартної регресійної залежності припускає поступове поліпшення ситуації з енерговикористанням в ЦОЕ. Саме стандартна залежність виконує функцію поділу незадовільних та задовільних результатів. Матеріальне стимулювання має бути орієнтоване на показники стандартної регресії. Цільова регресія виконує роль „задовільної практики” і служить орієнтиром для ефективних дій у сфері енергозбереження.

Ще одне питання, яке слід обговорити. Вище був викладений принцип контролю енергоспоживання в ЦОЕ, пов'язаний із зіставленням фактичних енерговитрат з плановими (отриманими на регресійній моделі). Ефективність роботи оцінювалася виходячи з відмінності фактичних та планованих показників. Таким чином був отриманий кількісний критерій оцінки роботи ЦОЕ. Наступні міркування були пов'язані з коефіцієнтом кореляції між залежною та незалежною змінними. Його підвищення на кожному кроці контролю свідчить про поліпшення ситуації з енерговикористанням. Таким чином, визначається ще один з можливих критеріїв оцінки енергоефективності. Певну інформацію про ефективність роботи ЦОЕ можна отримати, аналізуючи коефіцієнт кореляції між енерговитратами та незалежним параметром. Підвищення коефіцієнта кореляції свідчить про поліпшення ситуації з контролем енергоспоживання. Зрозуміло, що таке зростання повинне проявитися і в кількісній оцінці роботи ЦОЕ. Дійсно, при цьому слід чекати зменшення енерговитрат, пов'язаних з оптимізацією керованих параметрів. Збільшення коефіцієнта кореляції позитивно позначається на точності контролю. При цьому звужуються довірчі інтервали та все більше даних фактичного енергоспоживання класифікуються як задовільні або незадовільні результати.

У певних випадках низький коефіцієнт кореляції може призвести до того, що параметр  $x$  в регресійній моделі  $\hat{y} = \alpha + \beta x$  виявиться несуттєвим і значення у оцінюватимуть за його середнім значенням. При цьому, провівши енергозбережні заходи в ЦОЕ, необхідно контролювати значення коефіцієнта кореляції. Його збільшення свідчитиме про те, що ситуація з контролем використання енергії поліпшується. Після закінчення певного періоду часу значення  $r$  може істотно зрости, що дозволить повернутися до розгляду регресійної залежності  $\hat{y} = \alpha + \beta x$ . При цьому за рахунок збільшення  $r$  чинник  $x$  розглядатиметься як істотний.

За результатами контролю ефективності використання енергії в ЦОЕ повинні складатися звіти. При цьому забезпечується наявність і достовірність отриманої інформації. Результати співставлення показників фактичного енергоспоживання з плановими можуть бути подані у вигляді графіків, таблиць, діаграм. Періодичність звітування в ЦОЕ зв'язують з прийнятими термінами реєстрації показань лічильників і технологічних параметрів. Нові дані в графіках, таблицях, діаграмах з'являються безпосередньо після наступних вимірювань. Приклади результатів контролю у вигляді графіків і таблиць наведені відповідно на рис.1.4.6 та в табл. 1.4.1.

Накопичена (кумулятивна) сума відхилень (табл. 1.4.1) дозволяє оцінити ступінь відмінності показників фактичного енергоспоживання від планового за

деякий період часу, протягом якого здійснюють декілька вимірювань. При цьому показники відхилення, отримані при окремих вимірюваннях, додаються. Таким чином, при щотижневих вимірюваннях можна, наприклад, зафіксувати результат накопичення відхилень енергоспоживання за місяць. Цей показник важливий для загальної оцінки ефективності роботи ЦОЕ протягом місяця.

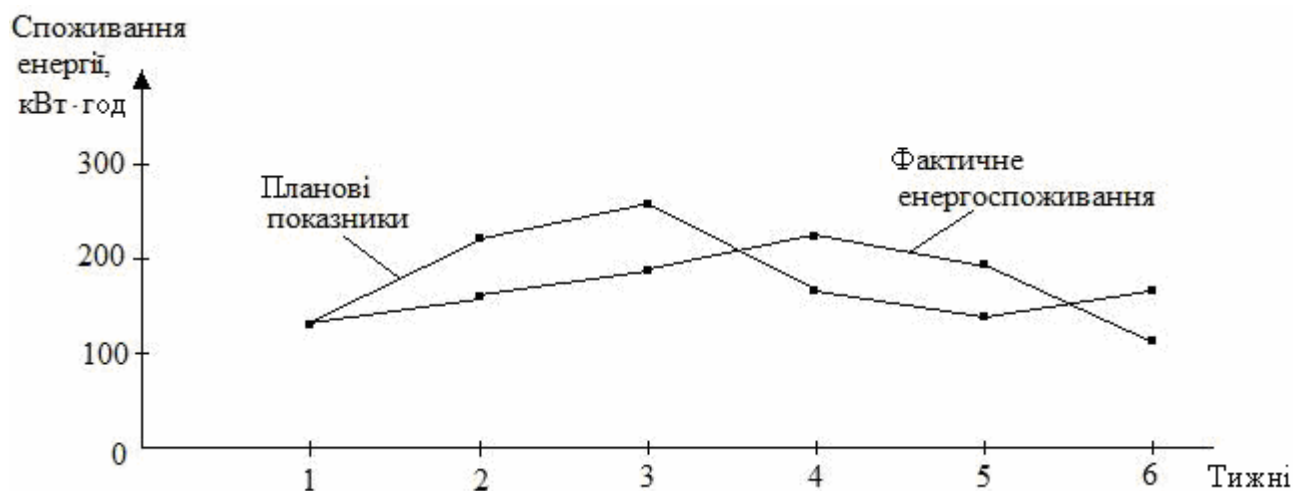


Рис. 1.4.6. Графічне подання результатів контролю енергоспоживання

Таблиця 1.4.1

*Контроль енергоспоживання*

Номер тижня	Фактичне енергоспоживання, кВт·год	Планові показники, кВт·год	Відхилення, кВт·год	Накопичена (кумулятивна) сума відхилень, кВт·год
1	170	170	0	0
2	180	210	- 30	- 30
3	200	250	- 50	- 80
4	230	180	50	- 30
5	200	170	30	0
6	150	170	- 20	- 20

Нерідко інформацію, отриману в ЦОЕ, подають у вигляді діаграми відхилень. Так, згідно з табл.1.4.1 діаграма має вигляд як на рис. 1.4.7. Діаграма характеризує щотижневий стан справ у Центрі.

На рис. 1.4.8 наведений графік накопиченої (кумулятивної) суми відхилень (побудований за даними табл. 1.4.1), який свідчить про те, що в цілому протягом місяця робота ЦОЕ була ефективною (фактичне енергоспоживання не перевищило планового показника).

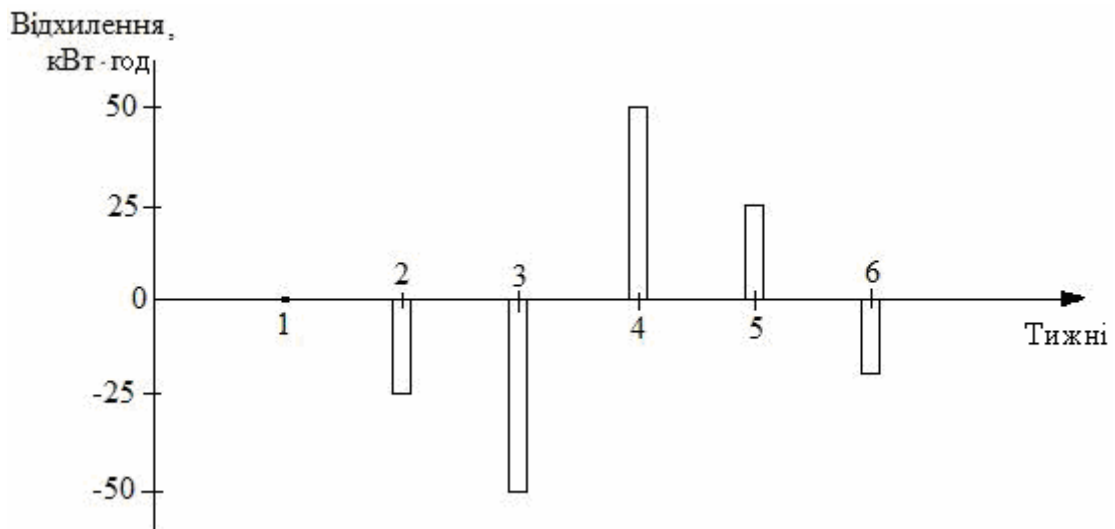


Рис. 1.4.7. Діаграма відхилень енергоспоживання

Аналізуючи звіти окремих ЦОЕ промислового підприємства, можна зробити висновки щодо ефективності споживання енергії кожним із них. Результати зіставлення показників енергоефективності повинні доводитися безпосередньо до виконавців робіт і сприяти покращенню ситуації в центрах з низькими показниками.

Звіти, що формуються в ЦОЕ, є основою для складання звітів великими підрозділами підприємства, які мають ці центри. Об'єднані звіти, як правило, стосуються більших проміжків часу (квартальні, річні). Вони характеризують загальну ситуацію на підприємстві і є основою для визначення стратегічних завдань у сфері енергозбереження.

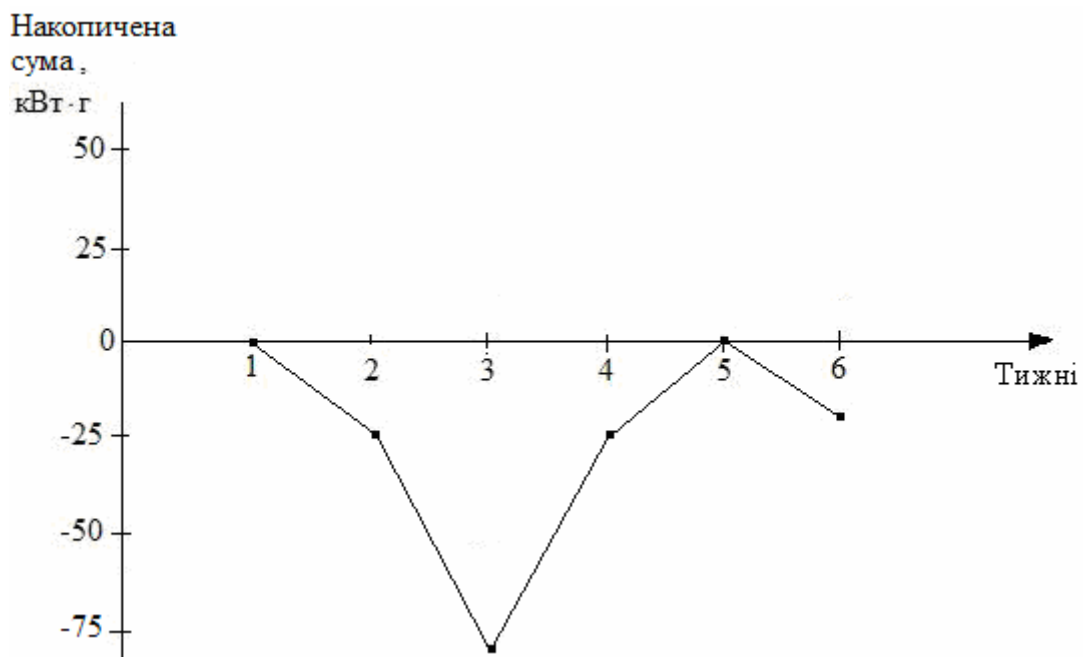


Рис. 1.4.8. Графік накопиченої суми відхилень

Для ефективної роботи системи енергоменеджменту необхідно створити в стінах підприємства структуру, яка на основі аналізу ситуації в ЦОЕ буде приймати відповідні рішення і контролювати хід їх виконання. Орієнтовний склад групи з контролю енерговикористання такий:

- керівник підприємства;
- керівник ЦОЕ;
- енергоменеджер;
- головний бухгалтер;
- начальник технічного відділу.

Завдання групи полягає в:

- координації дій у сфері енергозбереження в рамках підприємства;
- контролі виконання намічених заходів з енергозбереження;
- сприянні енергоменеджеру у виконанні його функцій.

Із перелічених завдань групи випливає, що керування процесами енергоспоживання здійснюється на рівні керівництва підприємства із залученням усіх відповідальних за ефективність споживання енергії в окремих ЦОЕ, а також енергоменеджера – вагової ланки в ланцюзі цієї системи. Так як мова йде про матеріальну відповідальність ЦОЕ за показники енергоефективності, то до складу групи повинен входити головний бухгалтер підприємства. Технічну оцінку запропонованим заходам з енергозбереження дає начальник технічного відділу.

Як правило, керівником групи проводяться тижневі обговорювання (оперативні наради) ситуацій, що виникають у центрі, а також місячні виробничі наради. При цьому аналізуються результати роботи за тиждень, місяць, квартал, приймаються до виконання намічені заходи з енергозбереження, розподіляється і контролюється хід виконання завдань між членами цієї групи.

Функціонування системи енергоменеджменту передбачає тісний зв'язок групи контролю енергоспоживання з виробничими підрозділами підприємства (ЦОЕ). Трудові колективи повинні бути інформовані про стан справ у підрозділах і брати активну участь у вирішенні поставлених завдань. Періодичні обговорювання ситуації безпосередньо в трудовому колективі повинні спрямовуватись у русло виявлення причин нераціонального використання енергії, палива, а також розробки конкретних заходів щодо поліпшення стану справ. Цю діяльність спрямовують і контролюють керівники ЦОЕ.

Створення системи енергоменеджменту на виробничому підприємстві – достатньо складний і порівняно тривалий процес. Необхідно обґрунтувати раціональну структуру побудови системи, створити механізм взаємодії її окремих ланок, визначити функції енергоменеджера і керівників підприємства. Детальне викладення послідовності і змісту цих дій краще розглядати на конкретному прикладі. Тому наступні параграфи присвячені процесу формування систем енергоменеджменту вугільних шахт. Вугільна шахта має свої особливості в структурній побудові виробництва, режимах його роботи, складі енергобалансів. Ці особливості повинні бути досліджені і враховані при побудові та функціонуванні системи енергоменеджменту. Деталізація процесу,

поглиблений аналіз його складових є методичною основою для створення аналогічних систем в інших галузях промисловості та сільському господарстві.

### *Висновки*

У системах енергетичного менеджменту контроль енергоспоживання окремих ЦОЕ здійснюють за допомогою регресійних моделей. Лінія регресії є межею поділу задовільних і незадовільних показників роботи. При цьому контролюється ступінь відмінності фактичного енергоспоживання від планового.

Оскільки в практиці використовують наближену регресійну залежність, контроль енергоспоживання слід здійснювати з урахуванням довірчих інтервалів. Рівень відхилень слід розраховувати відносно верхнього (у разі перевитрати енергії) або нижнього (у разі економії) рівнів довірчого інтервалу. Матеріальне стимулювання в ЦОЕ повинне зв'язуватися з показниками контролю (рівнями відхилень, кумулятивною сумою).

Доведено, що в умовах, характерних для вугільної шахти, можна орієнтуватися на лінійну регресійну залежність. У разі потреби (при низькій точності прогнозованих результатів) залежність може бути уточнена. В кінцевому варіанті можна застосовувати множинну лінійну регресію.

Для забезпечення необхідної точності контролю енергоспоживання необхідно встановити межі довірчих інтервалів, які відповідають заданому рівню параметра  $\epsilon$ . Необхідний рівень досягається при врахуванні певної кількості експериментальних даних, що формують лінію регресії.

Показано, що в системах енергоменеджменту доцільно використовувати регресійну залежність, яка містить некеровані параметри. У цьому випадку залежність відображатиме рівень „виправданого” енергоспоживання. У процесі контролю енергоспоживання керовані параметри повинні бути оптимізованими. При цьому коефіцієнт кореляції зростає, а рівень енерговитрат зменшується.

У період контролю енергоспоживання необхідно періодично поновлювати регресійні моделі. Це пов'язано з тим, що в процесі контролю впровадження енергозберігаючих заходів змінюються режими роботи технологічного устаткування, а іноді й структура об'єкта.

Підвищення коефіцієнта кореляції свідчить про поліпшення ситуації з контролем енергоспоживання. Це підвищення позитивно впливає і на точність контролю. При цьому звужуються довірчі інтервали і все більше даних фактичного енергоспоживання розглядаються як задовільні або незадовільні.

### **Контрольні питання**

1. Що впливає на періодичність вимірів витрат енергії та вибір значень технологічних параметрів у центрі (ЦОЕ)?
2. Назвіть та розкрийте сутність методів збору інформації для побудови регресійної залежності.
3. Чому результати випробувань повинні бути однорідними?
4. У чому полягає сутність контролю ефективності споживання енергії за допомогою регресійної залежності?

5. Для чого в процесі контролю ефективності енергоспоживання враховують довірчі інтервали?
6. Чому в регресійну модель вводять некеровані технологічні параметри?
7. Чому регресійні моделі час від часу поновлюють?
8. Який вигляд мають звіти про результати контролю енерговикористання?
9. Назвіть склад та функції групи з контролю енерговикористання підприємства.

### **1.5. РОЗРОБКА ТИПОВОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ**

Важливим чинником, закладеним у системах контролю і нормалізації, є персональна відповідальність керівників окремих підрозділів виробництва за використання енергоресурсів. У той же час система повинна мати ланку (службу), яка буде організовувати та координувати загальну діяльність системи енергоменеджменту – службу енергоменеджменту.

У розглянутій нижче структурі системи служба енергоменеджменту не діє самостійно. В своїй діяльності вона спирається на активну позицію структурних підрозділів, де енергія використовується. Тому в структуру системи енергоменеджменту введені основні виробничі підрозділи шахти, на основі яких створені центри обліку енергії (ЦОЕ). Відповідальність за ефективність використання енергії в ЦОЕ несуть посадовці, які керують цими підрозділами. Питання формування ЦОЕ розглядалися раніше. Важливо доповнити посадові інструкції цих керівників відповідними пунктами, які стосуються завдань енергозбереження.

Інформація, що надходить з центрів обліку енергії і підлягає аналізу, повинна доповнюватися даними про стан виробничих ділянок, устаткування, плановані показники видобутку вугілля тощо. Тому в системі енергоменеджменту мають бути задіяні допоміжні служби підприємства, які зараз виконують свої звичайні функції. Зрозуміло, що з уведенням нової системи ці функції будуть розширені.

Відомо, що важлива роль у процесі управління повинна належати керівництву шахти. Керівництво шахти повинно бути задіяним у системі енергоменеджменту в мірі, що визначається підпорядкованістю йому ЦОЕ, служб, які безпосередньо беруть участь у роботі самої системи.

На рис. 1.5.1 наведена структура системи енергоменеджменту вугільної шахти. Вона включає існуючі на шахті структурні підрозділи. Оскільки система має досить розгалужену структуру, то має сенс на початковому етапі викласти загальний принцип її функціонування. Це дозволить зрозуміти сутність більш детального викладення функцій окремих ланок, порядку їх взаємозв'язку, послідовності дій. Отже, зупинимося на принципі функціонування системи.

Інформація про витрати енергії, значення параметрів, які визначають ці витрати, надходить з ЦОЕ в службу енергоменеджменту. Запит на інформацію здійснюється з певною періодичністю (як правило щодня). Інформацію про

стан виробничих дільниць у цей період отримують також інші служби і відділи: маркшейдерська, геологічна служби, відділ економіки та ціноутворення, гірничий диспетчер.

На основі інформації, що надходить, та застосовуючи регресійні математичні моделі, служба енергоменеджменту зіставляє фактичні енерговитрати з плановими. Ця процедура здійснюється для значень параметрів, отриманих в одних і тих самих умовах (для однорідних даних). Необхідну інформацію про однорідність результатів експериментів одержують в маркшейдерській та геологічній службах. Певну інформацію про стан ділянок видобутку, підготовки, шахтного транспорту можна отримати у гірничого диспетчера.

Зіставлення фактичних і планових енерговитрат у центрах обліку енергії дозволяє зробити висновки про ефективність використання енергії окремими структурними підрозділами.

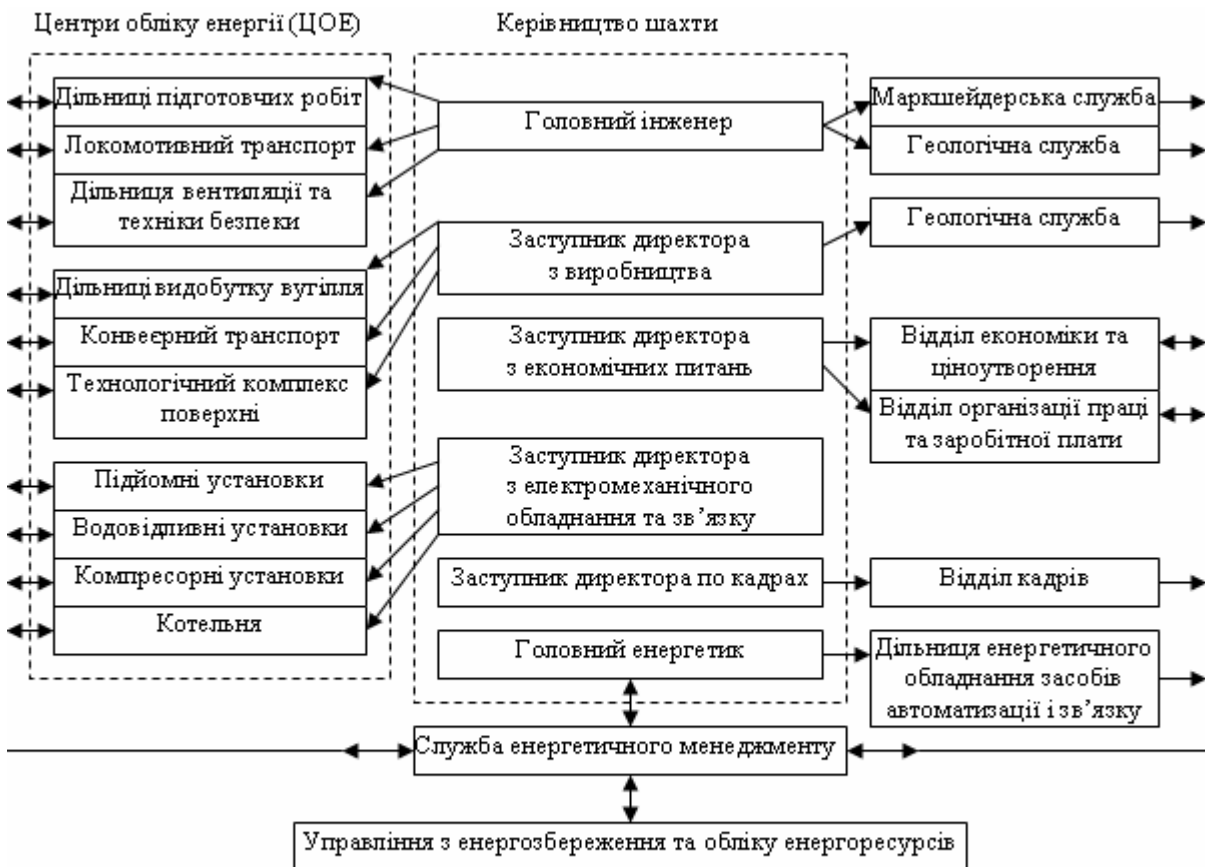


Рис. 1.5.1. Структура системи енергоменеджменту вугільної шахти

Результати зіставлення у вигляді графіків відхилень енергії, накопиченої суми відхилень надходять до керівництва шахти, а також в ЦОЕ. Керівництво шахти разом із службою енергоменеджменту аналізує результати задовільної і незадовільної роботи окремих ЦОЕ. Такий аналіз проводиться в рамках оперативних нарад за участю посадовців, які відповідають за енергоспоживання в окремих ЦОЕ. В результаті розглядаються оперативні заходи з поліпшення



ситуації в ЦОЕ з низькими показниками ефективності енергоспоживання. Окрім оперативних нарад, які дозволяють швидко реагувати на ситуацію з енергоспоживання, періодично проводяться виробничі наради. Тут мають бути присутні керівники всіх відділів, служб, дільниць, а також керівники підприємства, тобто представники всіх ланок (рис. 1.5.1). На виробничих нарадах підбивають підсумки діяльності системи в звітному періоді (протягом місяця), а також формуються і доводяться до виконавців (в ЦОЕ) планові показники. Планові показники енергоспоживання формує служба енергоменеджменту спільно з відділом економіки і ціноутворення. Пропозиції з матеріального стимулювання працівників ЦОЕ із задовільними (високими) показниками використання енергії вносить служба енергоменеджменту спільно з відділом праці і заробітної плати.

Результати поточного контролю енергоспоживання, а також результати виробничих нарад мають обговорюватися в ЦОЕ. Слід заохочувати ініціативу співробітників ЦОЕ, спрямовану на поліпшення ситуації з енерговикористання.

Визначено основні функції підрозділів запропонованої системи енергоменеджменту. Треба пам'ятати, що мова йде в основному про підрозділи, які зараз діють на шахті і виконують свої основні виробничі функції. Наскільки ці функції відповідають вимогам створеної системи? Які додаткові функції необхідно забезпечити для ефективної дії системи енергоменеджменту? Аналіз типових посадових інструкцій керівників підрозділів шахти дозволяє дати відповідь на сформульовані питання. Це стосується всіх підрозділів, окрім служби енергоменеджменту, яка є новою службою і складає основу створюваної системи. Нижче наведені результати такого аналізу.

*Служба енергетичного менеджменту* – забезпечує життєдіяльність системи енергоменеджменту. Посада, яку займає енергоменеджер на шахті, повинна відповідати характеристикам, наведеним у класифікаторі професій. Наведені в класифікаторі обов'язки енергоменеджера є основою для написання посадової інструкції. Ці позиції мають бути доповнені пунктами, характерними для умов гірничого підприємства. Виходячи з цього енергоменеджер:

- збирає первинні дані, що стосуються витрат енергії шахтою і ЦОЕ, а також параметрів, що визначають енерговитрати;
- складає енергобаланс шахти;
- складає звіти про енерговитрати в ЦОЕ;
- контролює:
  - виконання програми енергозбереження;
  - виконання завдань у системі енергоменеджменту;
  - стан контрольно-вимірального устаткування;
  - процес навчання персоналу щодо енергозбереження;
  - процес інформаційного забезпечення системи енергоменеджменту;
- аналізує:
  - стан споживання енергоресурсів в ЦОЕ;
  - потенціал енергозбереження, що технічно досягається;
  - енергобаланси підприємства;

- значення питомих витрат енергії;
  - рівень фінансових витрат на придбання енергоресурсів;
  - пріоритети впровадження енергозберігаючих заходів;
  - порядок заохочення персоналу шахти за високі показники енергоефективності;
- формує пропозиції з управління енерговикористанням в ЦОЕ до:
    - зниження питомих енерговитрат;
    - впровадження енергозберігаючих заходів;
    - удосконалення системи енергоменеджменту;
  - планує зниження енерговитрат, а саме:
    - формує програму енергозбереження шахти;
    - забезпечує перспективне планування рівня енерговитрат по підприємству в цілому і по окремих підрозділах;
  - здійснює нормування витрат енергії на роботи, що виконують в окремих ЦОЕ. За необхідністю розробляє методики розрахунку питомих норм витрат енергії;
  - інформує керівництво шахти про показники ефективності роботи ЦОЕ, запропоновані заходи щодо енергозбереження, перспективні плани підвищення енергетичної ефективності.

Зрозуміло, енергоменеджер відповідає за весь процес енергозбереження на шахті. Таку структуру служби енергоменеджменту можна віднести до інтегрованого типу. Перевага інтегрованої структури полягає в тому, що одна особа компетентна у всіх питаннях енергозбереження на шахті, бере участь у розробці ефективної енергозберігаючої політики, а також в управлінні цим процесом. Використання цієї структури характерне для середніх підприємств з порівняно невеликою річною вартістю споживання енергоресурсів.

Уявляється логічним створення служби енергоменеджменту в складі електромеханічної служби шахти. В структурі системи, яка розглядається, енергоменеджер підпорядкований головному енергетику шахти. Йому підпорядкована також ділянка „енергетичного обладнання, засобів автоматизації і зв'язку”, завданням якої є енергозабезпечення об'єктів, ремонт енергетичного устаткування, засобів виміру тощо, тобто мова йдеться про надзвичайно важливі з погляду енергоменеджменту питання енергозабезпечення й обліку енергоспоживання. Тому слід визнати позитивним факт підпорядкування енергоменеджера особі, яка здатна вирішити важливі для енергоменеджера питання, пов'язані з його професійною діяльністю.

*Центри обліку енергії (ЦОЕ).* Аналізуючи посадові інструкції керівників виробничих підрозділів, можна прийти до висновку, що деякі їх позиції віддзеркалюють ті функції, які зобов'язана реалізовувати система енергоменеджменту. Наприклад, практично на всіх виробничих дільницях слід підвищувати продуктивність праці (що сприяє зниженню питомих витрат енергії), здійснювати підбір та встановлення механізмів і устаткування, експлуатувати обладнання в режимах, що забезпечують мінімальні витрати енергії; своєчасно здійснювати технічне обслуговування та ремонт обладнання (останні сприяють підвищенню коефіцієнта корисної дії), передавати

інформацію про виконання робіт на дільниці гірничому диспетчеру. Дотримання всіх цих пунктів сприяє підвищенню ефективності енергоспоживання, але не в повній мірі враховує особливості функціонування системи енергоменеджменту. Перш за все слід визначити зв'язки ЦОЕ із службою енергоменеджменту, забезпечити активну участь працівників виробничих дільниць у вирішенні питань з енергозбереження. Тому пропонується до посадових інструкцій керівників ЦОЕ ще додати такі додаткові позиції, обов'язкові для виконання:

- брати участь у розробці й упровадженні на дільниці заходів щодо зниження витрат енергії. Своєчасно інформувати службу енергоменеджменту про виконання цих заходів;
- своєчасно (в перебігу доби) інформувати службу енергоменеджменту про причини, що викликали значні зміни витрат енергії на дільниці, зокрема, про введення в дію (або виведення) нового енергоємного устаткування, зміну гірничо-геологічних умов видобутку тощо;
- інформувати робітників виробничої дільниці про результати аналізу ефективності використання енергії, виконаного службою енергоменеджменту;
- вносити пропозиції до заохочення робітників дільниці за високі показники ефективності використання енергії.

Слід звернути увагу на пункт, що вимагає подання інформації в службу енергоменеджменту про нестандартну ситуацію з енергоспоживання. Це здається суттєвим, оскільки дозволяє енергоменеджеру визначити особливість ситуації, причини її виникнення. Аналіз дозволить зробити висновок про обґрунтованість зміни рівня енергоспоживання.

Важливо також забезпечити зворотний зв'язок між службою енергоменеджменту і ЦОЕ. Робітникам дільниці повинні бути відомі: оцінка їх діяльності, слабкі позиції в енерговикористанні, принципи матеріального заохочення в сфері енергозбереження.

Розглянемо функції інших служб шахти, які зобов'язані забезпечувати ефективну роботу системи енергоменеджменту.

*Енергомеханічна служба шахти.* Необхідність визначення функцій енергомеханічної служби шахти полягає в тому, що цій службі підпорядкований цілий ряд ЦОЕ: підйомні, водовідливні та компресорні установки, котельня. Службу очолює головний механік шахти (заступник директора з електромеханічного обладнання та зв'язку). Він підпорядкований безпосередньо директору шахти і оперативно – головному інженеру шахти.

Розглянемо ті позиції типової посадової інструкції головного механіка, які стосуються питань енергозбереження:

- забезпечує безперебійне постачання шахти електричною, тепловою, пневматичною енергією, встановлює норми витрат і економії енергоресурсів;
- розробляє заходи щодо економії електроенергії, тепла і палива на виробничі потреби шахти;
- здійснює нормування водоспоживання і водовідведення;

- аналізує і оцінює стан енергомеханічного господарства, використання основного і допоміжного устаткування, виконання заходів щодо економії води, палива, електроенергії.

Аналіз сформульованих пунктів виявив, що енергомеханічна служба є на даний час ключовою ланкою, яка здійснює контроль за використанням енергії. Очевидно, що це необхідно використати при створенні системи енергоменеджменту, зберігши при цьому існуючі позиції посадової інструкції. Доповнення до посадової інструкції головного механіка шахти повинні сприяти чіткій роботі системи енергоменеджменту. Керівництво шахти зобов'язано виконувати роль ланки, яка аналізує результати роботи служби енергоменеджменту та віддає необхідні розпорядження. Тому посадову інструкцію пропонується доповнити пунктами:

- аналізує результати контролю енерговикористання в ЦОЕ, який здійснює служба енергоменеджменту;
- контролює виконання енергозберігаючих заходів в ЦОЕ;
- матеріально стимулює співробітників ЦОЕ, які мають високі показники ефективності використання енергії;
- бере участь в розробці прогнозів енергоспоживання шахти.

Розглянемо функції структурного підрозділу енергомеханічної служби шахти – *дільниці ремонту стаціонарного устаткування (ДРСУ)*.

Дільницю очолює начальник, підпорядкований головному механіку шахти. Входячи до складу електромеханічної служби шахти, дільниця виконує ряд важливих з погляду створюваної системи енергоменеджменту функцій. Перш за все підрозділ відповідає за експлуатацію установок, які виділені в окремі ЦОЕ. До таких відносяться: підйомні та водовідливні установки, підземні і поверхневі компресорні установки, котельня. Начальник ДРСУ виконує роль особи, яка відповідає за рівень енергоспоживання цих установок в перелічених ЦОЕ. Тому до посадової інструкції начальника дільниці слід внести додаткові пункти, що наведені вище і стосуються керівників, визначених в структурі системи енергоменеджменту ЦОЕ.

Через те, що ДРСУ об'єднує декілька ЦОЕ, то на начальника дільниці покладена велика відповідальність, а тому істотно зростає перелік його обов'язків. Отже, має сенс у цих ЦОЕ визначити осіб, які несуть відповідальність за енергоспоживання безпосередньо на робочих місцях.

*Головний енергетик шахти* підпорядкований головному механіку. Він безпосередньо відповідає за ефективне використання енергії на шахті. Це впливає з його посадової інструкції. Традиційно вирішенням питань підвищення енергоефективності на шахтах займається відділ головного енергетика. Головний енергетик входить до складу керівництва шахти, тому доцільно підпорядкувати йому службу енергоменеджменту. Звернемося до аналізу типової посадової інструкції головного енергетика. Виділимо пункти, що стосуються задач енергозбереження:

- безперебійне постачання шахти електричною і тепловою енергією;

- своєчасне укладення договорів на використання електричної і теплової енергії;

- внесення пропозицій з розробки норм витрат, контролю виконання норм витрат енергії, заходів економії електроенергії, тепла і палива;

- подання пропозиції до заохочення працівників служби за зразкове виконання своїх посадових обов'язків.

Виконанню цих функцій у значній мірі сприяє дільниця енергетичного обладнання, засобів автоматизації і зв'язку.

З урахуванням функцій системи енергоменеджменту посадова інструкція головного енергетика має бути доповнена пунктами:

- безпосереднє керівництво службою енергоменеджменту вугільної шахти;

- забезпечення нормального функціонування технічних засобів, що задіяні в роботі системи енергоменеджменту;

- внесення пропозицій до заохочення енергоменеджера за високі показники в роботі;

- проведення аналізу справ з енерговикористання на шахті та інформування разом з енергоменеджером на нарадах створену на шахті групу контролю за енерговикористанням.

Аналізуючи пункти типових посадових інструкцій головного механіка та головного енергетика шахти можна прийти до висновку, що вони у деякій мірі дублюють одна одну. Це пояснюється тим, що посада головного енергетика входить до складу енергомеханічної служби шахти. При введенні на шахті посади енергоменеджера частина їх функцій, яка стосується розробки заходів з енергозбереження, нормування витрат енергії та інших позицій делегується для виконання енергоменеджеру. Керівному складу залишаються функції контролю виконання цих позицій, визначення стратегічних напрямів у сфері енергозбереження.

*Виробнича служба шахти.* Її очолює заступник директора з виробництва. Йому підпорядковані важливі виробничі дільниці видобутку вугілля, його транспортування і відвантаження замовнику. Саме тут сконцентрована важлива для системи енергоменеджменту інформація, що пов'язана з об'ємами змінного, добового видобутку, даними відвантаження вугілля тощо. Деякі пункти типової посадової інструкції заступника директора із виробництва безпосередньо пов'язані з задачами енергоменеджменту:

- збирає, систематизує та накопичує інформацію (видобуток вугілля шахтою за добу, зміну, видобуток вугілля дільницями, проходка по шахті, відвантаження вугілля споживачам), забезпечує достовірність оперативного обліку об'ємів видобутого вугілля і вугілля на вугільному складі (як правило цю інформацію отримує гірничий диспетчер);

- аналізує техніко-економічні показники виробничо-господарської діяльності шахти за місяць, квартал, рік з питань;

- узагальнює і розповсюджує передовий досвід колективів і працівників, які мають високі виробничі показники.

Ці пункти мають бути доповнені такими, що стосуються функціонування створеної системи енергоменеджменту:

- аналізує інформацію, яка надходить від енергоменеджера, про ефективність роботи підлеглих йому ЦОЕ;
- бере участь у розробці і керує впровадженням заходів з енергозбереження;
- вживає заходи щодо усунення нераціонального використання енергії в підлеглих йому ЦОЕ;
- забезпечує доступ до інформації, необхідної для роботи системи енергоменеджменту;
- формує пропозиції до заохочення співробітників за високі показники в енерговикористанні або залучання їх до дисциплінарної відповідальності у разі нераціонального використання енергії.

Участь заступника директора з виробництва в роботі створеної на шахті групи контролю енерговикористання дозволить забезпечити ефективний зворотний зв'язок у системі та виконання розроблених заходів.

*Технічна служба шахти.* Цю службу очолює головний інженер шахти. Положення про технічну службу шахти є посадовою інструкцією головного інженера. Головний інженер разом з директором шахти несе відповідальність за результати виробничої діяльності. Йому підпорядковані деякі виробничі дільниці, на базі яких створені ЦОЕ. Виділимо ті завдання, що розглянуті в типовій посадовій інструкції головного інженера і мають безпосереднє відношення до функціонування системи енергоменеджменту. Головний інженер:

- розподіляє матеріально-технічні ресурси шахти, розраховує норми на ведення гірничих робіт;
- керує розробкою планів розвитку гірничих робіт і заходів щодо технічного вдосконалення виробництва;
- скликає наради і заслуховує звіти інженерно-технічних робітників виробничих ділянок;
- надає директору шахти пропозиції про призначення, звільнення, переміщення, заохочення працівників шахти.

Аналіз виявив, що посадова інструкція головного інженера відтворює функції виробничого характеру і меншою мірою стосується завдань енергоефективності. Це пов'язано з тим, що сфера енергозбереження у першу чергу підпорядкована енергомеханічній службі шахти. У той же час роль головного інженера у вирішенні проблем енергоефективності повинна бути більш виразною і конкретною. Його діяльність у системі енергоменеджменту зобов'язана гарантувати впровадження технічно й економічно обґрунтованих енергозберігаючих заходів, їх якісне виконання в установлені терміни.

Пункти посадової інструкції мають бути доповнені іншими, що визначають роль головного інженера у функціонуванні системи енергоменеджменту:

- аналізує інформацію, отриману від служби енергоменеджменту, бере участь у розробці енергозберігаючих проектів, контролює виконання заходів з енергозбереження;

- бере участь у формуванні перспективних планів з підвищення енергетичної ефективності виробництва;

- формує пропозиції до преміювання і заохочення співробітників ЦОЕ за високі показники енергоефективності.

Слід підкреслити, що посада головного інженера є ключовою в керівному складі шахти. Технічна служба є важливою ланкою в зворотному зв'язку енергоменеджера з об'єктом управління – ЦОЕ.

*Заступник директора з економічних питань.* Він очолює економічну службу шахти і підпорядкований безпосередньо директору шахти. Йому підпорядковані два відділи: економіки та ціноутворення і відділ організації праці та заробітної плати. Функція цих відділів у системі енергоменеджменту повинна зводитися в основному до стимулювання енергозбереження на підприємстві. Тому у вирішенні цих завдань доцільно спиратися безпосередньо на заступника директора з економічних питань. Виділимо пункти його посадової інструкції, що мають відношення до енергоефективності виробництва:

- контролює впровадження у встановлені терміни технічно обґрунтованих норм виробництва а також витрачання фонду заробітної плати;

- керує і координує діяльність усіх підрозділів шахти по складанню перспективних планів розвитку виробництва;

- забезпечує обґрунтованість і взаємне погодження всіх показників при розробці планів;

- керує розробкою положення про преміювання працівників шахти, визначає доцільні форми матеріального заохочення.

Зрозуміло, що ці позиції слід конкретизувати, виходячи з умов функціонування систем енергоменеджменту:

- розробляє пропозиції щодо преміювання співробітників усіх ланок системи енергоменеджменту, виходячи з показників роботи системи;

- бере участь у розробці перспективних планів підвищення енергоефективності виробництва.

Роль економічного стимулювання повинна зводитися до того, щоб безпосередньо на робочих місцях існувало бажання робітників економити енергію. Для цього необхідно обґрунтувати порядок стимулювання виконавців і затвердити відповідне положення про преміювання. Аналізуючи перспективні плани розвитку вугільної шахти, слід враховувати енергозберігаючі аспекти, які тісно пов'язані з технологіями вуглевидобутку, наявністю енергоефективного обладнання.

*Геологічна служба шахти.* Службу очолює головний геолог шахти, підпорядкований головному інженеру. Основне завдання цієї служби полягає в забезпеченні шахти геологічними і гідрогеологічними інформаційними матеріалами, необхідними для планування видобутку вугілля, проектування

ведення гірничих робіт. Саме з цієї точки зору служба представляє інтерес для успішного функціонування системи енергоменеджменту. Дійсно, геологічні умови видобутку вугілля значною мірою визначають енерговитрати. Це стосується як видобувних, так і прохідницьких робіт, енерговитрат на водовідлив, на підйом вугілля тощо. Тому енергоменеджер повинен отримувати інформацію, що характеризує зміни умов видобутку. Цей чинник значною мірою може пояснити існуючі коливання енерговитрат. Працюючи в тісному контакті з енергоменеджером, ця служба сприятиме правдивому (з погляду зниження енерговитрат) плануванню видобутку та проведення підготовчих робіт.

Служба забезпечує необхідною інформацією ЦОЕ „Водовідливні установки”, оскільки вона вимірює приплив води в гірничі виробки і розраховує очікуваний водоприплив.

До пунктів посадової інструкції головного геолога, що стосуються функціонуванню системи енергоменеджменту, слід віднести:

- розробляє документацію про стан гірських порід;
- інформує керівництво шахти про зміну гірничо-геологічних умов при підході до них очисних робіт (тектонічні порушення, значна водоносність і газоносність тощо);
- розробляє пропозиції щодо більш раціонального ведення і розвитку гірничих робіт.

Пропонується посадову інструкцію доповнити такими пунктами:

- інформує службу енергоменеджменту про зміну гірничо-геологічних умов ведення очисних та підготовчих робіт;
- бере участь у формуванні планових показників підвищення енергетичної ефективності видобутку вугілля з урахуванням існуючих гірничо-геологічних умов.

З погляду зміни гірничо-геологічних умов видобутку вугілля важливо знати такі параметри, як потужність пласта, довжина лави, нахил, тобто ті параметри, що впливають на енерговитрати. При виконанні прохідницьких робіт важливо знати склад порід, тектонічні порушення та ін. При розробці планових показників видобутку вугілля важливо звернути увагу на той факт, що питомі енерговитрати залежать від продуктивності шахти. З цієї точки зору участь головного геолога у визначенні завдань енергозбереження є обов'язковою.

*Маркшейдерська служба.* Очолює службу головний маркшейдер, який підпорядкований головному інженеру шахти. З положення про службу випливає, що відділ проводить збір важливої для системи енергоменеджменту інформації. Так, маркшейдерська служба:

- вимірює обсяги виконаних робіт з проходки гірничих виробок, просування очисних забоїв і видобутку вугілля, а також залишків вугілля на складах і забезпечує достовірність цих даних;
- бере участь у вивченні геологічної структури родовища вугілля, існуючих тектонічних порушень, відповідає за документацію очисних і



підготовчих робіт, бере участь у формуванні заходів щодо раціонального ведення робіт;

- визначає обсяги піднятої породи.

Аналіз ситуації виявив, що у відділі міститься інформація про об'єми видобутку вугілля і виймання породи (змінні і добові показники). Причому міститься інформація відносно кожної виробничої дільниці, що дуже важливо для оцінки реальної продуктивності праці і контролю ефективності роботи ЦОЕ.

Посадову інструкцію головного маркшейдера пропонується доповнити пунктами:

- інформує службу енергоменеджменту про зміну гірничо-геологічних умов ведення очисних та підготовчих робіт;
- інформує службу енергоменеджменту про показники видобутку вугілля за зміну і добу в окремих ЦОЕ, а також обсяги виконаних прохідницьких робіт, залишки вугілля на складах;
- бере участь у формуванні планових показників підвищення енергетичної ефективності видобутку вугілля з урахуванням існуючих гірничо-геологічних умов.

Важливою складовою ефективною роботи системи енергоменеджменту є отримання об'єктивної інформації про обсяги виконаних робіт. На шахтах здійснюється достатньо ефективний контроль цих параметрів. Це спрощує умови функціонування системи енергоменеджменту, сприяє підвищенню достовірності контролю енергоефективності виробничих процесів.

*Гірничий диспетчер шахти* здійснює оперативне управління виробництвом у перебігу зміни. Він є працівником виробничої служби і підпорядкований заступнику директора з виробництва. Диспетчер володіє важливою інформацією, необхідною для роботи системи енергоменеджменту. Функції диспетчера зводяться до управління та контролю виконання: плану видобутку вугілля, проведення підготовчих робіт, роботи підземного транспорту, відвантаження вугілля в залізничні вагони та ін. Деякі функції безпосередньо стосуються роботи системи енергоменеджменту. Диспетчер зобов'язаний:

- фіксувати втрати робочого часу, що пов'язані з аваріями агрегатів, машин, механізмів і порушеннями затвердженої технології на всіх виробничих дільницях, визначати причини простоїв; оперативно вживати заходи з їх усунення і ліквідації. На основі аналізу причин простоїв обладнання диспетчер надає відомості керівництву шахти. Необхідно, щоб цю інформацію отримували також енергоменеджер. Для цього слід увести відповідну позицію в посадову інструкцію диспетчера.

*Управління з енергозбереження та обліку енергоресурсів.* Такі підрозділи створені в деяких вугільних об'єднаннях з метою координації дій у сфері енергозбереження. Функції управління полягають у безперервному контролі енергоефективності вуглевидобутку шахт об'єднання, розповсюдженні передового досвіду у цій сфері, налагодженні матеріального стимулювання в

межах об'єднання. У разі наявності на шахті служби енергоменеджменту управління діє в тісному контакті з енергоменеджером.

*Відділ кадрів шахти* очолює заступник директора по кадрах. Його функція в роботі системи енергоменеджменту полягає в тому, що він зобов'язаний підбирати кадри відповідної кваліфікації для роботи системи, а також сприяти підвищенню кваліфікації робітників.

Бажано, щоб службу енергоменеджменту очолював фахівець, який навчався за спеціальністю „Енергетичний менеджмент”. На шахті може бути введена будь-яка з розглянутих в класифікаторі професій: енергоменеджер, професіонал з енергетичного менеджменту, спеціаліст (фахівець) з енергетичного менеджменту. Ці посади повинні відповідати сходам професійного росту енергоменеджера, терміну його роботи за спеціальністю. На посаді енергоменеджера може працювати також людина з вищою освітою на базі бакалавратів: „Електротехніка”, „Енергетика”, „Електромеханіка”. У такому випадку передбачено підвищення кваліфікації цих осіб за напрямом підготовки „Енергетичний менеджмент”.

Ефективна робота системи енергоменеджменту можлива, якщо кожна її ланка буде усвідомлювати свою роль і мати уявлення про роботу системи в цілому. Необхідна інформація може бути отримана на курсах підвищення кваліфікації. Програми підготовки повинні враховувати особливості категорій слухачів, їх функції в системі енергоменеджменту. Наприклад, керівники ЦОЕ зобов'язані чітко уявляти собі завдання системи, знати її структуру, принцип функціонування. Вони зобов'язані також знати основні заходи з енергозбереження, що стосуються їх підрозділів, і вміти оцінити їх енергоефективність.

Важлива роль у роботі системи відведена керівництву шахти. В рамках підвищення кваліфікації ці посадові особи повинні зрозуміти свої функції, порядок взаємодії окремих ланок системи. Програма підготовки повинна передбачати ознайомлення керівників з передовими технологіями вуглевидобутку, новим обладнанням, що забезпечить підвищення енергоефективності.

При підвищенні кваліфікації робітників інших підрозділів системи слід звернути увагу на викладення функцій, які безпосередньо стосуються цих структур. Мова йде про маркшейдерську, геологічну службу, гірничого диспетчера та інших.

Процес підвищення кваліфікації може здійснюватися безпосередньо на вугільній шахті або в діючих регіональних центрах енергозбереження та енергоменеджменту. Навчання можуть проводитися також у приміщеннях дирекції виробничого об'єднання. Це дозволить створити навчальні групи з фахівців однакового профілю різних вугільних шахт, сприятиме розповсюдженню передового досвіду функціонування систем енергоменеджменту.

Слід зазначити, що напрями енергозбереження постійно вдосконалюються, з'являються нові технології, розробляється енергоефективне обладнання. Накопичується певний досвід проведення заходів з

енергозбереження безпосередньо на робочих місцях. Тому персонал системи енергоменеджменту зобов'язаний періодично підвищувати свою кваліфікацію, обмінюватись досвідом роботи.

#### *Висновки*

Розглянута структура системи енергоменеджменту вугільної шахти, що створена на основі діючої структури управління шахтою. Ключовою ланкою системи є служба енергоменеджменту.

Проаналізовані посадові інструкції шахтного персоналу і внесені доповнення до них згідно з функціями системи енергоменеджменту.

Сформульовані кваліфікаційні вимоги до енергоменеджера вугільної шахти, визначені зміст і порядок підвищення кваліфікації посадових осіб, задіяних у роботі системи.

### **Контрольні питання**

1. Чому систему енергоменеджменту доцільно створювати на базі діючої структури управління підприємством?
2. Назвіть основні підрозділи вугільної шахти, на базі яких створені центри обліку енергії (ЦОЕ).
3. Чому в системі енергоменеджменту шахти задіяні маркшейдерська та геологічна служби?
4. Назвіть основні обов'язки енергоменеджера.

## **1.6. ОРГАНІЗАЦІЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯМ**

У попередньому розділі запропонована структура системи енергоменеджменту вугільної шахти. Виникає необхідність у визначенні процесу взаємодії її окремих ланок. Особливість системи полягає в тому, що вона розроблена на базі існуючої структури управління вугільною шахтою. Таким чином необхідно враховувати існуючий на шахті порядок взаємодії окремих структурних підрозділів. Певний відбиток на цю взаємодію накладають посадові інструкції, які затверджують перелік службових обов'язків і визначають ієрархію керування. Раніше були запропоновані доповнення до посадових інструкцій, які враховують умови функціонування створюваної системи енергоменеджменту. Для визначення процесу взаємодії структурних підрозділів системи доцільно використати принципи функціонування, характерні для системи контролю і нормалізації.

Урахування послідовності дій щодо створення системи енергоменеджменту в часі дозволить визначити послідовність кроків служби енергоменеджменту, встановити зв'язок служби з функціонуванням інших структурних підрозділів, викласти зміст взаємодії та повною мірою розкрити механізм ухвалення рішень. Отже, розглянемо декілька етапів робіт, які необхідно виконати на шахті.

*Підготовчі роботи.* Перед уведенням в дію створюваної на шахті системи енергоменеджменту необхідно провести підготовчі роботи, пов'язані з

аналізом існуючих систем розподілу енергії (в першу чергу електричної), виділенням ЦОЕ, встановленням необхідних лічильників, призначенням і визначенням обов'язків осіб, які відповідають за використання енергії в ЦОЕ. Підготовчі роботи виконує в основному служба енергоменеджменту.

Схеми систем розподілу енергії (електричної, теплової, стисненого повітря) енергоменеджер може отримати у відділі головного енергетика шахти. Аналіз систем розподілу і енергобалансів шахти (ця інформація на шахтах, як правило, існує) дозволяє створити ЦОЕ, причому слід орієнтуватися на запропоновані раніше варіанти їх реалізації. Особи, які будуть відповідати за енергоспоживання в ЦОЕ, призначаються керівництвом шахти, причому керівниками, в підпорядкуванні яких знаходяться відповідні виробничі дільниці. Рекомендується призначати відповідальними за енергоспоживання безпосередніх керівників виробничих дільниць.

Необхідно також забезпечити встановлення технічних лічильників енергії в ЦОЕ. Це треба для того, щоб для всіх без винятку споживачів даного виду енергії, що знаходяться в ЦОЕ, здійснювався її облік. Допускається встановлення в рамках ЦОЕ декількох лічильників одного виду енергії. Це, як правило, спостерігається в тому випадку, коли ЦОЕ має декілька потужних споживачів енергії з відособленими системами розподілу.

Можливий варіант, при якому ЦОЕ використовує різні види енергії. У цьому випадку треба здійснювати облік усіх видів спожитої енергії і, як наслідок, установлювати відповідні лічильники технічного обліку. Планові показники енергоспоживання в ЦОЕ треба формувати для кожного виду енергії. Для цього, як зазначалося раніше, використовують регресійні моделі.

*Збір інформації про витрати енергії.* Вважатимемо, що центри обліку енергії визначені, посадові інструкції їх керівників доповнені необхідними пунктами і можна приступити до введення в дію системи енергоменеджменту. Наступний етап полягає в *зборі інформації*, необхідної для формування планових показників енергоефективності окремих ЦОЕ. Про яку інформацію йдеться мова? Служба енергоменеджменту отримує з ЦОЕ дані стосовно споживання окремих видів енергії (в першу чергу електричної) за певний проміжок часу. Такий контроль здійснюється позмінно або щодня. При цьому значення цільових і додаткових параметрів, рівні споживання енергії слід реєструвати синхронно (одночасно), а інформацію про витрати енергії в ЦОЕ – зосереджувати в службі енергоменеджменту. Це може здійснюватися в автоматичному режимі (при встановленні комп'ютерних систем контролю) або в режимі ручного збору інформації, виходячи з показань лічильників енергії. В останньому випадку збір інформації здійснює персонал служби енергоменеджменту. Бажано, щоб показання з лічильників знімала одна особа. Тоді можливість виникнення помилки при реєстрації значень буде зведена до мінімуму. Необхідно, щоб показання лічильників фіксувалися в *картках обліку енергоспоживання* окремих ЦОЕ, причому в момент здійснення контролю. Зіставлення показань з раніше внесеними дозволяє уникнути механічних помилок у процесі реєстрації. Важливо, щоб реєстрація показань лічильників співпадала із закінченням *визначеного інтервалу роботи* ЦОЕ (зміни, доби), а

також відповідає параметрам (цільовим, додатковим), які фіксуються в процесі цього інтервалу часу.

Інформацію про цілові і додаткові параметри, що відповідають певним інтервалам роботи ЦОЕ, служба енергоменеджменту отримує в маркшейдерській та геологічній службах, у гірничого диспетчера, а також в інших відділах шахти., Інформацію про значення цих параметрів збирає служба енергоменеджменту. Необхідно, щоб вона підтверджувалася відповідними документами. В картках обліку енергії разом з показаннями лічильників фіксуються значення цілових і додаткових параметрів. Таким чином, картка містить необхідну інформацію (експериментальні дані) для побудови регресійної залежності. Якщо дані реєструвати з початку місяця, то до його кінця отримаємо необхідну їх кількість для побудови регресії. При недостатній кількості даних збір інформації продовжується. Це може мати місце у випадку, якщо довірчі інтервали регресії розширені і необхідна точність контролю не досягається.

Ще одне зауваження. У випадку, якщо частина додаткових параметрів (або їх повний перелік) не реєструється (тобто вимірювання цих параметрів не передбачено), в картку обліку вносять тільки значення енерговитрат і значення технологічних параметрів, що вимірюються. У разі одиночної регресії в картку вносять ціловий параметр. Слід звернути увагу на той факт, що енерговитрати поточного періоду визначаються як різниця показань лічильника, які фіксуються, і попередніх даних.

У період контролю ефективності використання енергії в ЦОЕ (регресійна залежність вже побудована за результатами експериментальних даних попереднього періоду) отримані експериментальні дані використовують для поточної оцінки енергоефективності. При цьому результати фактичного енергоспоживання зіставляють з плановими (отриманими з регресійної залежності). Таким чином, збір даних та їх реєстрація в картках енергоспоживання здійснюють протягом двох періодів: період накопичення даних з метою побудови регресії і період контролю ефективності використання енергії із застосуванням побудованої регресії.

Визначимо особливості збору інформації за наявності комп'ютерних систем обліку енерговитрат. У цьому випадку показання лічильників безпосередньо передаються в комп'ютер, який встановлено у приміщенні служби енергоменеджменту. Існує можливість реєстрації цих значень з певною дискретністю (наприклад, 30 хв). Звісно, що значення енерговитрат у різних ЦОЕ мають бути зафіксовані у момент закінчення періоду аналізу (зміни, доби) і внесені в картку обліку енергії. Одночасно мають бути отримані і внесені в картку обліку значення контрольованих технологічних параметрів. Наступні дії аналогічні варіанту збору інформації в ручному режимі. Особливість може полягати лише в тому, що дані про енергоспоживання в ЦОЕ, що знаходяться в комп'ютері, можуть бути безпосередньо (без занесення в картку обліку енергії) перенесені в програму, яка забезпечує побудову регресійної залежності. Програма може встановлюватися в цьому ж комп'ютері. В картках обліку фіксуватимуться тільки технологічні параметри.

### *Розробка планових показників енергоспоживання в ЦОЕ.*

Експериментальні дані, отримані на попередньому етапі, служать основою для побудови регресійної залежності. Така залежність формується для кожного ЦОЕ, причому для кожного із видів споживаної енергії використовується окрема залежність. Як правило, обмежуються тільки застосуванням регресійних залежностей, що характеризують використання в ЦОЕ значних обсягів енергії. Для шахтних ЦОЕ – це електрична енергія. Для побудови регресії необхідно отримати певний обсяг експериментальних даних. Кількість цих даних має бути такою, щоб забезпечувалася необхідна точність контролю. Раніше розглядалося питання щодо забезпечення необхідної точності виходячи з області, обмеженої довірчими інтервалами. Якщо при обмеженій кількості даних цієї точності досягти не вдається, то контроль ефективності використання енергії здійснюється виходячи із значення коефіцієнта кореляції ( $r$ ). Цей підхід може використовуватися для контролю в початковий період роботи системи, що характеризується обмеженою кількістю експериментів, а також в наступний період, якщо той характеризується значним розкидом значень енергоспоживання і порівняно малим коефіцієнтом кореляції.

Експериментальні дані в обчислювальну машину вводять енергоменеджер по мірі їх надходження (за зміну, добу). Від тривалості інтервалів збору даних для побудови регресії залежить і кількість вимірів. Якщо контрольованим періодом є місяць, то при щоденному зборі інформації отримуємо 30 значень експерименту, при щозмінному зборі інформації – 90 (тризмінний графік роботи). Якщо контрольований період складає рік, то отримуємо 12 значень при щомісячній реєстрації і 52 – при щотижневій.

*Контроль ефективності використання енергії в ЦОЕ.* Його здійснюють у перебігу контрольованого періоду (наприклад, місяця) шляхом зіставлення показників фактичного енергоспоживання з плановим (останнє отримують з регресійної залежності, побудованої виходячи з результатів діяльності ЦОЕ в попередньому місяці). Якщо при отриманих значеннях технологічних параметрів (цільових, додаткових) фактичні енерговитрати перевищують визначені довірчими інтервалами регресії, то результат роботи ЦОЕ оцінюється як незадовільний. Ступінь перевищення, що виражається в абсолютних значеннях і відносних одиницях (у відсотках), характеризує ступінь незадовільної роботи ЦОЕ (погано, надзвичайно погано і т.п.). Якщо показники фактичного енергоспоживання менше значень, що визначені областю довірчих інтервалів, то реєструється позитивний результат роботи ЦОЕ. Аналогічно визначається і показники отриманої економії. Якщо показник фактичного енергоспоживання потрапляє в область, обмежену довірчими інтервалами, то фіксується факт енерговитрат ЦОЕ „в межах норми”. У період контролю (протягом місяця) регресійна залежність не підлягає зміні. Виняток становить ситуація, при якій в ЦОЕ впроваджується нове енергозберігаюче устаткування, що приводить до істотного зменшення енерговитрат. У цьому випадку коректується або нахил лінії регресії, або постійна складова енерговитрат. Переведення робіт з видобутку вугілля в нову лаву, проведення нових підготовчих робіт – усе це вимагає нових експериментальних даних для

побудови нової регресійної залежності, яка враховує умови проведення робіт, що змінилися.

Порядок взаємодії служби енергоменеджменту з ЦОЕ має бути таким, щоб результати контролю роботи ЦОЕ були доведені до персоналу, який безпосередньо працює з обладнанням, що споживає енергію. Для цього керівники ЦОЕ звертаються в службу енергоменеджменту й отримують інформацію, що стосується результату контролю. Періодичність запитів має відповідати періодичності здійснюваного контролю (контролюється робота в ЦОЕ протягом зміни або протягом доби). Зміст інформації, яка надходить в ЦОЕ, включає оцінку його діяльності. Для цього показник перевитрат енергії наводять в абсолютних і відносних одиницях (у відсотках). При економії енергії наводять цифри, які характеризують показник отриманої економії. Отримані керівниками ЦОЕ дані про результат роботи змін видобутку вугілля та проходки дозволяють проаналізувати роботу окремих ланок, виявити передовиків виробництва. Ця інформація має передаватися безпосередньо на робочі місця і служити основою для обговорення результатів роботи і з'ясування причин завищеного енергоспоживання в період роботи окремих змін.

Інформація про відхилення показників енергоспоживання від планових в окремих ЦОЕ наводиться у вигляді графіка відхилень, побудову якого доцільно передбачити в комп'ютерній програмі. Крім графіка відхилень програма формує значення кумулятивної (накопиченої) суми. Тут здійснюється інтегрування значень відхилень, що дозволяє службі менеджменту зробити висновки про ефективність роботи ЦОЕ протягом певного періоду часу. Період визначається з початку місяця, що підлягає контролю. В кінці місяця значення накопиченої суми і буде інтегрованою оцінкою роботи ЦОЕ протягом місяця. Значення суми відіграє значну роль у матеріальному заохоченні співробітників ЦОЕ.

Зворотний зв'язок у процесі контролю енергоспоживання в ЦОЕ полягає в тому, що керівники підрозділів зобов'язані інформувати службу енергоменеджменту про всі зміни рівня енергоспоживання. При цьому фіксуються моменти зміни встановленої потужності устаткування, що використовується, зміни міцності порід, потужності пласта тощо. Це дозволяє енергоменеджеру виявити причину різких «стрибків» енерговитрат, що значно відрізняються від планових показників. Такого роду обмін інформацією має бути оперативним і враховувати динаміку зміни ситуації. Для вугільних шахт оперативність є абсолютно необхідною, виходячи з динамічності процесу видобування, мінливості його умов. Служба енергоменеджменту зобов'язана реагувати на зміну ситуації і по можливості пропонувати прийнятні рішення, що дозволяють зменшити енергоспоживання. Процес обміну інформацією між службою енергоменеджменту і ЦОЕ ілюструє рис. 1.6.1.

Встановлений порядок обміну інформацією сприяє підвищенню оперативності контролю енергоспоживання і керування цим процесом. Це обумовлено тим, що відбувається безпосередній (без проміжних ланок) обмін інформацією між службою, що здійснює контроль, і підрозділом, що використовує енергію.

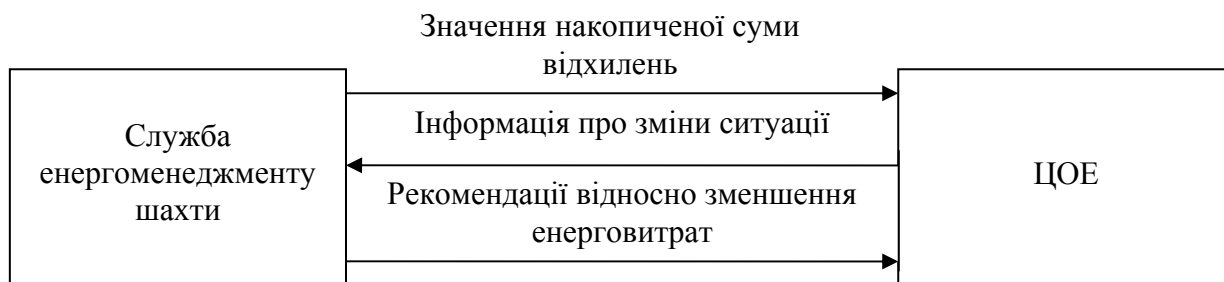


Рис. 1.6.1. Процес обміну інформацією між службою енергоменеджменту і ЦОЕ

Проте слід підкреслити, що керуючі дії з боку енергоменеджера носять рекомендаційний характер. Це обумовлено статусом енергоменеджера. Його посада не віднесена до керівних посад шахти. Роль керівництва шахти в управлінні енерговикористанням є важливою і підлягає розгляду (в рамках іншого розділу).

*Управління енерговикористанням в ЦОЕ.* Оперативне управління енерговикористанням в ЦОЕ здійснюється безпосередньо під керівництвом осіб, які відповідають за використання енергії. Це, як правило, начальники відповідних виробничих дільниць. Отримана ними від служби енергоменеджменту інформація складає основу для управління енергоспоживанням. Сутність відповідних дій зводиться до активізації позиції персоналу, який обслуговує енергоємне технологічне устаткування. Завдяки вмілим діям персоналу енерговитрати можуть бути зведені до мінімуму. При цьому ліквідується робота устаткування в режимі холостого ходу, досягається його оптимальне завантаження, застосовуються ефективні методи вуглевидобутку, проходки та ін. Слід зазначити, що в шахтних умовах увага акцентується на виборі раціональних технологій ведення робіт і раціональних режимів роботи устаткування. Важливим моментом є з'ясування *причин* перевитрат або економії енергії. Такий аналіз здійснюється у присутності осіб, які обслуговують устаткування (на виробничих нарадах), в процесі зіставлення даних з попередніми результатами (адже планові показники енергоспоживання отримані виходячи з експериментальних даних цієї ж виробничої дільниці). Безпосередній виконавець зобов'язаний знати, що його дії контролюються, зауваження керівника є обґрунтованими і ситуація має бути виправлена.

При економії енергоресурсів з'ясування факторів поліпшення показників енергоспоживання важливо для того, щоб розповсюдити отриманий досвід. Раціональні режими роботи устаткування повинні використовуватися всіма виробничими дільницями, що задіяні в аналогічних роботах. Для розповсюдження досягнутих результатів треба, щоб керівники окремих робочих змін, виробничих дільниць обмінювалися досвідом. Розповсюдження передового досвіду слід здійснювати в рамках нарад, які проводить керівництво шахти. Проте, такий обмін може відбуватися і на етапі оперативного управління, пов'язаного з обміном інформацією між керівниками ЦОЕ, персоналом, який обслуговує устаткування (на виробничих нарадах ЦОЕ).



Важливим моментом у досягненні позитивного результату управління режимами енергоспоживання є заохочення персоналу, який обслуговує устаткування в ЦОЕ. Для цього, в першу чергу, необхідно застосувати матеріальне стимулювання, наприклад, преміювання співробітників. Воно має бути конкретним (стосуватися особи, яка керує цим устаткуванням) і обґрунтованим. Міра заохочення залежить безпосередньо від результатів економії енергії. Для цього слід використовувати показники накопиченої суми відхилень. Керівники ЦОЕ повинні *об'єктивно* оцінювати роботу своїх підлеглих. Слід підкреслити, що ефективність управляючих дій керівників ЦОЕ у сфері енергозбереження значною мірою залежить від правильно обраного шляху стимулювання персоналу.

Таким чином, при виконанні оперативного управління важливо:

- з'ясувати причини перевитрати або економії енергії;
- виробити раціональну управляючу дію і реалізувати її;
- організувати обмін позитивним досвідом;
- стимулювати процес підвищення енергетичної ефективності.

Слід надати особливу увагу забезпеченню ЦОЕ наглядною інформацією про положення справ в енергозбереженні. Інформаційні листи слід вивішувати у приміщенні, де найчастіше збираються робітники дільниць і де є можливість обмінятися думками. У цьому приміщенні доцільно проводити виробничі наради. Інформація повинна бути подана у вигляді графіків відхилень, накопиченої суми відхилень. Необхідно щотижня обновляти графіки. Таким чином, тут розглядаються результати роботи ЦОЕ у перебігу контрольованого періоду. Друкування тижневих графіків для кожного ЦОЕ здійснює служба енергоменеджменту шахти. Якщо в ЦОЕ забезпечується змінний режим роботи, то на графіку відхилень можуть бути наведені показники відхилень від планових завдань, що стосуються окремих виробничих змін. Для цього рекомендується біля кожного значення, що характеризує рівень відхилення, ставити знак, який визначає приналежність результату до даної зміни. Рис. 1.6.2 ілюструє цей підхід.

Такі графіки ілюструють положення справ з енергозбереження в окремих змінах, що є цікавою темою для обговорення і виявлення факторів успішної роботи одних бригад і незадовільної роботи інших. Аналіз цієї інформації керівником дільниці дає йому підставу для об'єктивної оцінки роботи зміни і, відповідно, для обґрунтованого матеріального заохочення робітників.

Отже, виділимо позитивні сторони запропонованої організації оперативного контролю й управління енерговикористанням в ЦОЕ:

- центри безпосередньо не беруть участь у формуванні планових показників ефективності енерговикористання. Цю інформацію служба енергоменеджменту одержує від інших служб, що забезпечує незалежність самої процедури формування показників;

- забезпечується активний обмін інформацією між ЦОЕ і службою енергоменеджменту, що відповідає високій динамічності технологічних процесів вуглевидобутку.

- створюються надійні умови для пошуку рішень, що підвищують ефективність енерговикористання безпосередньо на робочих місцях. До цього процесу залучається колектив виробничої дільниці.
- включається в дію механізм матеріального заохочення співробітників ЦОЕ за високі показники енергоефективності при виконанні робіт.

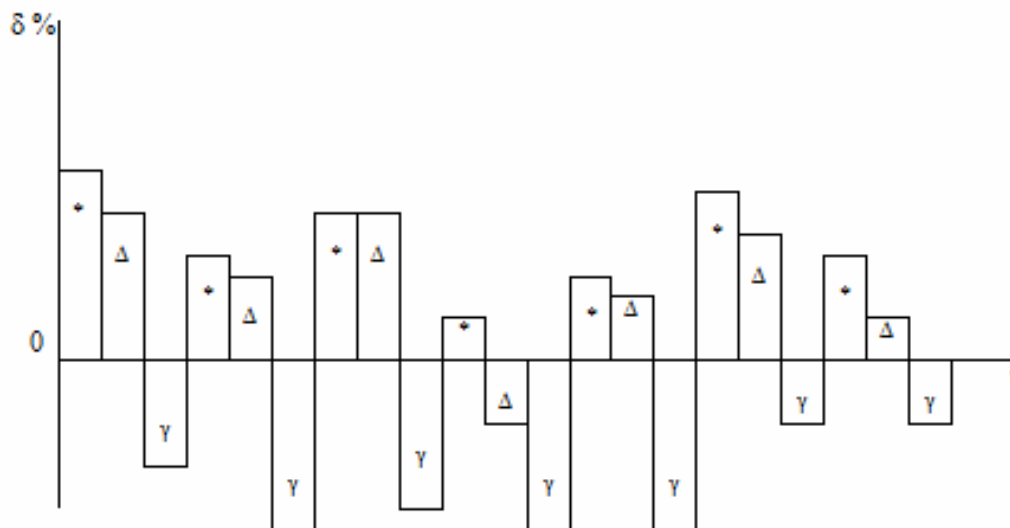


Рис. 1.6.2. Діаграма показників відхилень у виробничих змінах:  
\* – перша зміна; Δ – друга зміна; γ – третя зміна

Недолік оперативного контролю й управління полягає в тому, що при ньому розглядаються тільки тактичні завдання в сфері енергозбереження. Службовий стан енергоменеджера не відповідає рівню, що забезпечує необхідні масштабні дії в сфері енергозбереження. Тому до керування процесом залучається керівництво шахти. Саме тому в структурі системи енергоменеджменту задіяні практично всі ланки керівництва шахти. Широкий перелік керівних посад, що входять в систему, визначений також існуючою структурною підлеглистю виробничих дільниць цим особам. У цій ситуації служба енергоменеджменту має бути генератором нових ідей, забезпечувати їх технічне і економічне обґрунтування.

### Контрольні питання

1. Сформулюйте зміст підготовчих робіт з упровадження систем енергоменеджменту.
2. Як забезпечується достовірність інформації про витрати енергії в ЦОЕ?
3. Назвіть особливості збору інформації за наявності комп'ютерних систем обліку енерговитрат.
4. У чому полягає сутність оперативного управління енерговикористанням в ЦОЕ та як воно здійснюється?

## **1.7. ДІЯЛЬНІСТЬ КЕРІВНИЦТВА ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ТА ФУНКЦІОНУВАННІ СИСТЕМ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

Раніше були визначені механізми управління енерговикористанням у підрозділах вугільної шахти – центрах обліку енергії (ЦОЕ). Ці механізми діють на локальному рівні (служба енергоменеджменту – ЦОЕ), а їх завдання полягає в „тактичних” діях, направлених на підвищення енергоефективності. Вищий рівень управління може бути забезпечений завдяки участі в роботі системи енергоменеджменту керівництва шахти. Загальні функції керівництва шахти в сфері енергозбереження зводяться до:

- визначення стратегічних завдань підприємства в цій сфері;
- контролю виконання рішень, що стосуються підвищення енергетичної ефективності вуглевидобутку;
- стимулювання персоналу шахти за високі показники, досягнуті в енергоефективності.

Розглянемо ці позиції виходячи з особливостей функціонування вугільної шахти, а також із структури запропонованої раніше системи енергоменеджменту.

Ключове завдання шахти в сфері енергозбереження полягає в зниженні питомих витрат енергії на видобуток вугілля (підвищення енергоефективності видобутку). Це завдання повинно розв'язуватися з урахуванням екологічних аспектів. Першочерговою є проблема складування породи. Конкретні дії керівництва шахти можуть пов'язуватися з вирішенням глобальних проблем, наприклад, упровадженням нових енергозберігаючих технологій видобутку вугілля, нового обладнання з високими енергетичними показниками. Необхідно проводити політику скорочення частки енерговитрат у собівартості продукції. З цієї точки зору підвищення енергоефективності вуглевидобутку співпадає з метою економічної політики шахти.

Система енергоменеджменту є важливою структурно оформленою ланкою, за допомогою якої керівництво шахти може здійснювати політику енергозбереження. Для цього необхідно сприяти впровадженню системи та створити необхідні умови для її функціонування. Виходячи з цього, керівництво шахти:

- здійснює підбір персоналу для систем енергоменеджменту з урахуванням необхідної кваліфікації;
- гарантує наявність і доступність ресурсів для впровадження системи енергоменеджменту;
- забезпечує необхідні умови роботи системи.

Перш за все необхідно створити службу енергоменеджменту, залучаючи до цього процесу фахівців відповідного профілю. Вони розробляють „Положення...” про цю службу, де викладають принципи її функціонування, порядок взаємодії структурних підрозділів. Зміст „Положення...” повинні знати особи, які безпосередньо беруть участь в роботі системи. Усі особи, від яких у значній мірі залежить ефективність роботи системи (це, насамперед, керівники

центрів обліку енергії, головний енергетик, його помічник), повинні навчатися і отримати певні навички в організації роботи системи. Таке навчання можна організувати в діючих центрах енергозбереження та енергоменеджменту в рамках підвищення кваліфікації цих службовців (з періодичністю в декілька років). Для створення служби енергоменеджменту підприємство виділяє ресурси на придбання необхідних технічних засобів (лічильників енергії, комп'ютера для обробки інформації). Необхідно визначити умови обслуговування цих засобів, а також виділити кошти на їх експлуатацію.

Відповідно до запропонованої структури системи енергоменеджменту, керівництво шахти також бере безпосередню участь в її функціонуванні. В службі енергоменеджменту накопичується певний матеріал, що відображує ефективність роботи ЦОЕ. Ця інформація передається в ЦОЕ і його керівник вживає оперативні заходи до усунення недоліків. Але не всі існуючі в ЦОЕ проблеми можуть бути ліквідовані на розглянутому рівні. Вагомість прийнятих рішень і розширення можливостей для їх виконання забезпечуються участю в цьому процесі керівництва шахти. У якій формі можлива ця участь? У практиці функціонування систем контролю і нормалізації керівництво підприємства входить до складу створеної *групи контролю енерговикористання*. Як правило, в групу включають посадовців, які беруть безпосередню участь в роботі системи. Виходячи зі структури запропонованої системи енергоменеджменту вугільної шахти, до списку групи доцільно додати керівний склад підприємства:

- головного інженера шахти;
- заступника директора з виробництва;
- заступника директора з економічних питань;
- заступника директора з електромеханічного устаткування і зв'язку;
- заступника директора по кадрах;
- головного енергетика шахти.

Широкий перелік керівних посад у списку групи контролю енерговикористання обумовлений існуючими зв'язками в структурі системи управління шахтою, строгою підлеглистю виробничих дільниць шахти конкретним посадовцям. До складу групи вводять керівників ЦОЕ, що виконують роль ланки, яка зв'язує групу безпосередньо з виробничими дільницями. Необхідно включити також керівників відділу економіки і ціноутворення, а також відділу праці і заробітної плати, що дозволить приймати необхідні рішення стосовно матеріального стимулювання. До складу групи має входити керівник служби енергоменеджменту. Він володіє необхідною інформацією, що характеризує ефективність роботи системи в цілому. На нього покладається функція організації роботи групи, формування переліку завдань, що підлягають вирішенню. Передбачається, що група проводитиме *щотижневі і щомісячні наради*.

*Щотижневі (оперативні) наради* передбачають обговорення результатів роботи ЦОЕ за тиждень. Народа може проводитися за селекторним зв'язком. Керівництво шахти отримує інформацію від енергоменеджера про результати

роботи виробничих ділень (ЦОЕ). Обговорюються фактори незадовільної і задовільної роботи, а також проблеми, що виникли. Енергоменеджер пропонує шляхи вирішення цих проблем. Пропозиція обговорюється і керівник підприємства ухвалює конкретне рішення, яке підлягає виконанню. Інформація про ухвалене рішення доводиться до керівника ЦОЕ і, відповідно, до безпосередніх виконавців. Рис. 1.7.1 ілюструє зміст щотижневих нарад.

*Щомісячні (виробничі) наради* передбачають збір групи у повному складі. Спочатку заслуховують звіти керівників ЦОЕ про виконання доручень, отриманих на попередньому засіданні. Звіти обговорюються. Потім інформує енергоменеджер. Готуючись до участі в нараді, енергоменеджер упорядковує зведені дані про роботу ЦОЕ в перебігу місяця, аналізує ці результати і робить висновки. У висновках повинна міститися інформація про стан справ в ЦОЕ, існуючі проблеми. Мають бути наведені показники накопичених сум відхилень, питомих витрат енергії. До щомісячних нарад енергоменеджер зобов'язаний підготувати проекти з енергозбереження в ЦОЕ. Проекти мають технічне й економічне обґрунтування і враховують реальні можливості ЦОЕ щодо їх втілення. За тиждень до наради розроблений енергоменеджером проект передається до ЦОЕ для його аналізу і рецензування. Рецензентом проекту виступає керівник відповідного ЦОЕ.



Рис. 1.7.1. Схема проведення щотижневих нарад групи контролю енерговикористання

На нараді енергоменеджер доповідає про досягнені результати роботи ЦОЕ, оперуючи конкретними цифрами. Необхідно оцінити ефективність роботи кожного ЦОЕ. Мають бути надані конкретні рекомендації до поліпшення стану справ у підрозділах з незадовільними показниками роботи. Доповідь енергоменеджера повинна обговорюватися. У процесі дискусії виробляється загальна думка групи з питань, що розглядаються. Керівники підприємства, яким підпорядковані відповідні ЦОЕ, ухвалюють рішення, спрямовані на поліпшення ситуації з енерговикористання. Присутні на засіданні керівники ЦОЕ приймають розпорядження до виконання. Якщо йдеться мова про впровадження проектів з енергозбереження, то обговорюються можливості для їх фінансування (із заступником директора з

економічних питань), придбання необхідного устаткування, його встановлення і запуску в експлуатацію (з головним інженером шахти). Розробляється відповідне розпорядження. При цьому встановлюють терміни виконання проекту, визначають етапи виконання робіт.

Важливо, щоб виконання рішень, прийнятих на нараді, було доручено конкретним особам. Має бути чітко визначений зміст доручень, установлені терміни їх виконання, обумовлена можливість для надання допомоги іншими підрозділами шахти при вирішенні поставлених ЦОЕ завдань.

Щокварталу до порядку денної щомісячної наради вводиться пункт корегування планових показників ефективності енерговикористання на наступний квартал. При цьому орієнтуються на можливості для покращення існуючих показників енергоефективності в кожному ЦОЕ. Це здійснюють шляхом формування цільових ліній регресії разом з існуючими лініями регресії. Вони відповідають більш високим показникам енергоефективності і враховують резерви зниження питомих витрат енергії в ЦОЕ. Цільові регресії формує енергоменеджер, виходячи з існуючих регресійних залежностей. Це може здійснюватися шляхом:

- побудови нової лінії регресії за експериментальними даними (точками), що розташовані нижче існуючої стандартної лінії регресії. У цьому випадку цільова регресія відтворює позитивну тенденцію зниження витрат енергії, що спостерігалася в окремих експериментах (рис. 1.7.2);

- зменшення постійної складової витрат енергії ( $\alpha$ ), а також нахилу лінії регресії коефіцієнта ( $\beta$ ) у наведеній на рис. 1.7.2 залежності  $E = \alpha + \beta P$  на встановлений відсоток (наприклад, 5%, 10%). Зменшення параметра у відсотках має бути обґрунтованим і відповідати можливостям ЦОЕ;

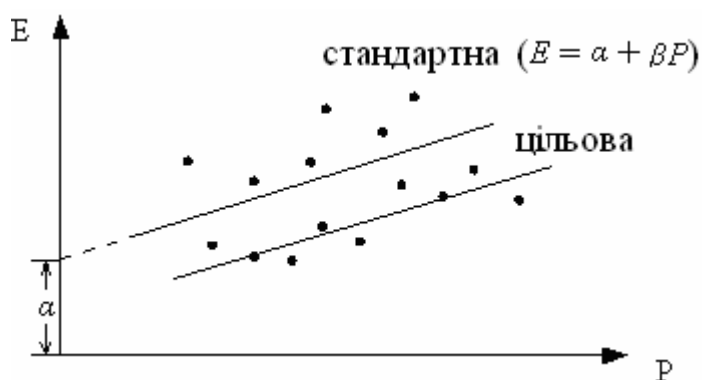


Рис. 1.7.2. Побудова цільової лінії регресії:  $E$  – витрати енергії в ЦОЕ;  $P$  – параметр, від якого залежать витрати енергії, наприклад, видобуток вугілля

- зменшення значень параметрів  $\alpha$  або  $\beta$  виходячи із розрахованих заздалегідь показників економії постійної складової енерговитрат або змінної складової, що пов'язані з упровадженням в ЦОЕ нових заходів з енергозбереження (встановлення нового енергоефективного обладнання, технологічних ліній).

Встановлення цільових показників дозволяє визначити резерви зменшення питомих витрат енергії у виробничих підрозділах шахти і є орієнтиром для вдосконалення роботи ЦОЕ, забезпечення в наступні періоди мінімально можливих в існуючих умовах енерговитрат.

Порядок стимулювання персоналу за високі показники, досягнуті в енергоефективності, розглядають на щомісячних нарадах групи контролю енерговикористання. До кінця місяця енергоменеджер має необхідну інформацію для оцінки рівня ефективності використання енергії в окремих ЦОЕ. Для цього використовують значення накопиченої суми відхилень. Накопичення, що здійснюється з початку місяця і до його кінця, визначає ефективність роботи ЦОЕ протягом цього періоду. Матеріальне стимулювання працівників шахти також здійснюється щомісячно. Ці терміни співпадають, що спрощує порядок заохочення працівників виходячи безпосередньо з результатів їх діяльності. Пропозиції на преміювання працівників подають керівники ЦОЕ. Вони аналізують результати роботи окремих змін, бригад, вивчають графіки накопиченої суми відхилень і на базі отриманих результатів формують відповідні пропозиції. Здійснюється розподіл загальної суми премії між працівниками виробничої дільниці з урахуванням вкладу кожного із них. Виникає питання щодо нарахування загальної суми преміальних. Зрозуміло, що тут повинні зіставлятися результати роботи окремих ЦОЕ і враховуватися реальні цифри досягнутої ними економії енергоресурсів. Таку інформацією має служба енергоменеджменту. При зіставленні повинні аналізуватися показники накопичених сум відхилень окремих ЦОЕ. Якщо накопичена сума відхилень зафіксувала перевитрату енергії, то премія не нараховується. Уся нарахована сума преміальних погоджується із заступником директора з економічних питань, а також з відділом праці і заробітної плати шахти, керівники яких беруть участь у роботі групи контролю енерговикористання.

У процедурі преміювання робітників ЦОЕ слід проявляти певну гнучкість. Енергоменеджер має бути упевнений, що значення накопиченої суми повною мірою характеризує реальну ситуацію з енерговикористання в ЦОЕ. Формальний підхід тут не прийнятний, адже показники економії енергоресурсів можуть бути знижені завдяки зміні ситуації, на яку колектив виробничої дільниці вплинути не міг (непередбачені обставини). Це потребує ретельного аналізу і виваженого вирішення. Не бути категоричним у висновках спонукає енергоменеджера ситуація, при якій регресійна модель не забезпечує необхідної точності контролю, особливо в тому випадку, коли оцінка діяльності ЦОЕ здійснюється виключно за значеннями коефіцієнта кореляції.

Преміювання співробітників служби енергоменеджменту пов'язують з показниками економії енергоресурсів по шахті в цілому. Підсумки роботи слід підводити щомісячно, орієнтуючись на щомісячне преміювання. Доцільно зв'язувати суму преміальних виплат з підвищенням енергетичної ефективності роботи шахти, тобто зі зниженням питомих витрат енергії (кВт·год/т вугілля). Такий підхід до преміювання примусить енергоменеджера діяти активно як у частині щоденного контролю показників енерговикористання, так і у створюваних ним проєктів, що підлягають упровадженню.

При оцінці енергетичної ефективності шахти слід пам'ятати, що рівень питомих енерговитрат залежить від продуктивності шахти. Тому має сенс контролювати ефективність роботи шахти за допомогою регресійної залежності  $E(P)$ , побудованої для її загального енергоспоживання. Таким чином, відхилення від лінії регресії місячних показників споживання енергії характеризуватимуть ефективність роботи енергоменеджера. Пропозицію щодо преміювання працівників служби енергоменеджменту подає головний енергетик шахти. Пропозиція погоджується з головним інженером шахти, а також з відділом праці і заробітної плати. Викладене дозволяє ілюструвати зміст щомісячних нарад групи контролю енерговикористання (рис. 1.7.3).



Рис. 1.7.3. Схема проведених щомісячних нарад

За ініціативою служби енергоменеджменту та керівництва шахти проводяться внутрішні енергоаудити. Мета внутрішнього аудиту шахти полягає у визначенні потенціалу енергозбереження, виявленні випадків нерационального використання енергоресурсів, розробці заходів з енергозбереження. Перелічені позиції є важливою складовою інформації, яка становить основу функціонування запропонованої системи енергоменеджменту. Результати ревізії повинні ретельно аналізуватися на нарадах групи контролю енерговикористання, а її висновки і рекомендації враховуватися при формуванні напряму діяльності цієї групи протягом певного періоду часу. Рекомендується проведення внутрішніх енергоаудитів раз на рік.



Внутрішні аудити проводить служба енергоменеджменту шахти. Керівництво шахти забезпечує всім необхідним для проведення аудиту. Завдання внутрішнього аудиту полягають в:

- аналізі загального споживання енергоносіїв шахтою;
- аналізі витрат паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) окремо за кожним із видів;
- аналізі витрат ПЕР в енергоємних технологічних установках та процесах;
- аналіз витрат коштів на придбання ПЕР;
- оцінці потенціалу енергозбереження шахти;
- оцінці ефективності використання ПЕР;
- оцінці ефективності функціонування системи енергоменеджменту;
- розробці заходів з енергозбереження та їх техніко-економічне обґрунтування.

У процесі виконання внутрішнього енергоаудиту перевіряють:

- електро- та тепlopостачання;
- водopостачання та каналізацію;
- системи стисненого повітря, вентиляції та кондиціонування, освітлення;
- документи у сфері енергозбереження;
- засоби вимірювальної техніки, що використовують при роботі системи енергоменеджменту;
- виконання законодавчих та нормативних актів у сфері енергозбереження.

Служба енергоменеджменту при проведенні внутрішнього аудиту залучає до перевірки названих вище систем та обладнання працівників підрозділів шахти, які несуть відповідальність за їх стан.

Важливою функцією енергоменеджера шахти є розробка програми енергозбереження. Вона повинна включати перелік проектів, які планує реалізувати шахта в майбутньому. Необхідно виконати технічне і економічне обґрунтування проектів та виставити пріоритети в послідовності їх виконання. Основою для формування програми енергозбереження шахти служать результати енергоаудиту, що проводиться на шахті. Для складання програми енергозбереження енергоменеджер повинен мати надійне інформаційне забезпечення. Необхідно користуватися мережею Інтернет. Повинна формуватися картотека нового енергоощадного обладнання, інформаційних матеріалів нових технологій вуглевидобування. Бажано, щоб енергоменеджер підтримував зв'язок з провідними гірничими навчальними закладами країни і періодично підвищував там свою кваліфікацію. Програма енергозбереження шахти повинна затверджуватися її керівником.

Отже, слід звернути увагу на прагнення подати процес взаємодії окремих служб, керівництва шахти у викладеній послідовності. Це відповідає характеру подій, пов'язаних з встановленням системи енергоменеджменту, налагодженням роботи її окремих ланок, з експлуатацією. Тому необхідно навести графік, що характеризує тривалість уведення системи

енергоменеджменту в дію. Параметри графіка визначені досвідом експлуатації подібних систем у Великобританії. Проте він ураховує позиції, характерні для вугільних шахт (рис. 1.7.4). З рисунка видно, що введення в експлуатацію системи з «нуля» займає орієнтовно два місяці. Потім настає період експлуатації. Якщо виникне необхідність отримати нову регресію у зв'язку зі змінами в умовах видобутку (наприклад, відкриттям нової лави), то цей термін може бути зменшений за рахунок попереднього виконання перших двох позицій (рис. 1.7.4).

Визначимо роль управління енергозбереженням та обліку енергоресурсів (див. структуру системи енергоменеджменту, рис. 1.5.1). Такі управління створюються зараз у вугільних об'єднаннях. Їх мета – координація дій у сфері енергопостачання та енергозбереження на шахтах, що входять до складу об'єднання. Управління відіграє роль ланки, що пов'язує служби енергоменеджменту окремих шахт.

Виконувані роботи	Тижні									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Аналіз систем розподілу енергії	→									
Установка лічильників в ЦОЕ (додаткових лічильників)				→						
Збір експериментальних даних					→	→	→	→		
Побудова регресій								→	→	
Експлуатація системи									→	→

Рис. 1.7.4. Процес уведення в експлуатацію системи енергоменеджменту на вугільній шахті

Для цього в посадову інструкцію начальника відділу з енергозбереження, обліку та розподілу енергоресурсів повинен бути введений пункт, що стосується контролю енергоспоживання окремих шахт. Крім того, сюди повинні бути введені пункти, що регламентують порядок постачання електроенергії на шахти, формування загального балансу спожитої шахтами енергії, розрахунку розмірів оплати за її споживання, щомісячного прогнозування вартості електроенергії з урахуванням запланованого на шахтах видобутку вугілля.

Правове забезпечення системи енергоменеджменту вугільної шахти має включати сукупність норм, які:

- визначають юридичну силу інформації у сфері енергозбереження на електронних носіях та документах, що використовуються при функціонуванні системи енергоменеджменту;
- регламентують стосунки між персоналом системи енергоменеджменту (права, обов'язки, відповідальність, взаємовідносини за посадою).

Керівництво шахти зобов'язано розробити та підтримувати в належному стані процедури забезпечення правових норм. Посадові інструкції персоналу

створеної системи енергоменеджменту розглядалися раніше. Були введені доповнення до цих інструкцій, які визначили перелік обов'язків посадовців, виходячи з особливостей функціонування запропонованої системи. Зараз з'ясуємо порядок підлеглості осіб, які входять до запропонованої системи. Він поєднується з існуючою системою підлеглості і містить додаткові елементи, що пов'язані з уведенням в дію служби енергоменеджменту (рис.1.7.5).

На рис. 1.7.5 підпорядкованість ланок відображується у вигляді відповідних зв'язків із спрямованістю від осіб з більш високими повноваженнями. Схема підкреслює підлеглість служби енергетичного менеджменту головному енергетику шахти і, відповідно, заступнику директора з електромеханічного устаткування і зв'язку. Стає визначеною функція керівництва шахти в роботі запропонованої системи, а також роль групи контролю енерговикористання як ланки, що пов'язує різні рівні службової підлеглості.

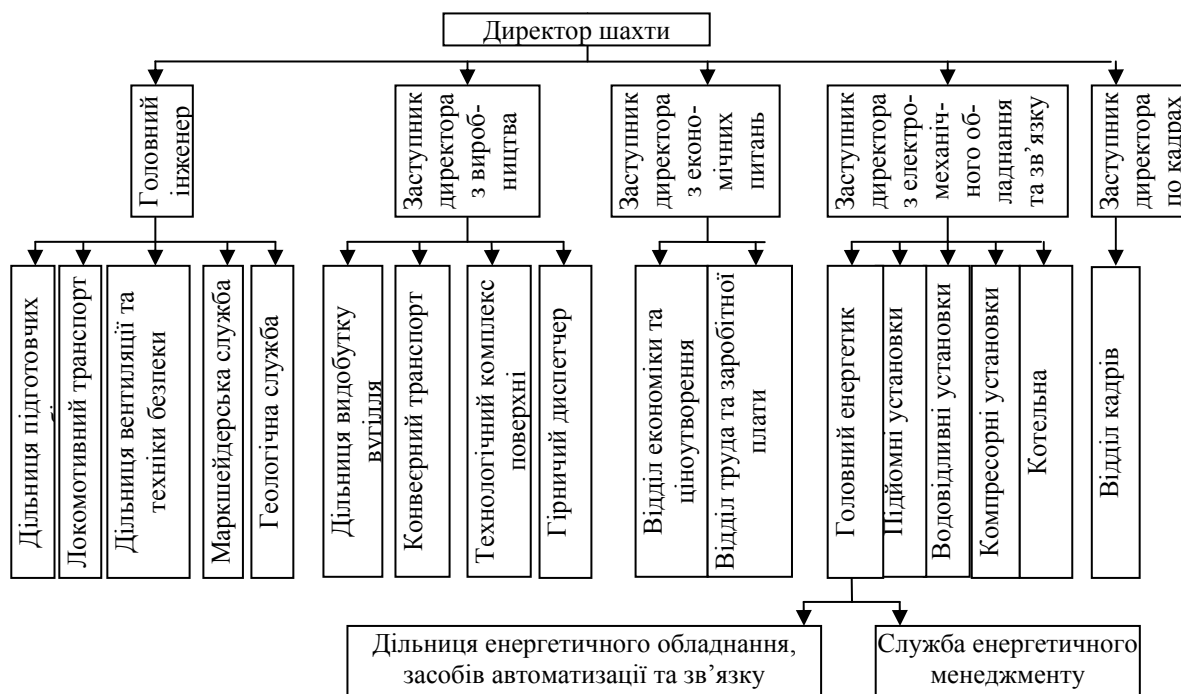


Рис. 1.7.5. Схема підпорядкованості ланок системи енергоменеджменту

### Висновки

Визначені функції керівництва шахти у сфері енергозбереження та при впровадженні системи енергоменеджменту.

Наведений склад та викладений зміст роботи групи контролю енерговикористання шахти, запропонований порядок преміювання персоналу шахти за досягнуті високі показники енергоефективності.

Визначений порядок проведення внутрішніх енергоаудитів, викладені особливості правового забезпечення функціонування системи енергоменеджменту.

### Контрольні питання

1. Перелічіть функції керівництва шахти у сфері енергозбереження та при впровадженні системи енергоменеджменту.
2. Обґрунтуйте склад групи контролю енерговикористання шахти та сформулюйте зміст її роботи.
3. Назвіть мету внутрішнього енергоаудиту шахти та його завдання.
4. Опишіть послідовність робіт, що проводяться при введенні в експлуатацію системи енергоменеджменту і орієнтовані терміни їх виконання.

### 1.8. СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЗАГАЛЬНОГО ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Незважаючи на те, що система енергоменеджменту будується на основі існуючої структури управління шахтою і не потребує значних фінансових витрат, при її впровадженні виникають завади, які не сприяють її швидкому введенню в дію. Перш за все необхідно врахувати інерційність діючої системи управління енерговикористанням, принципову відмінність методів її роботи від закладених в новій системі. Переваги останньої можуть бути доведені тільки в процесі її функціонування та потребують певного терміну експлуатації. Нова система вимагає встановлення в підрозділах підприємства значної кількості лічильників енергії, на що потрібні кошти, які у більшості випадків не можуть бути виділені одночасно. Більш прийнятний варіант полягає у поступовому введенні в дію системи, коли річні фінансові витрати зводяться до мінімуму. Тому найкращим є той варіант, коли розроблена система буде вводиться в дію частинами, що дозволить розкрити позитивні сторони та створити можливості для її впровадження в цілому. Таким спрощеним варіантом буде система контролю загального енергоспоживання вугільної шахти. Система містить деякі функції розробленої, але, внаслідок об'єктивних умов, не може претендувати на всеосяжну роль. Які ж функції відведені системі контролю? Система забезпечує облік загального енергоспоживання шахти, формує плановані показники енергоспоживання, аналізує фактичне енергоспоживання, здійснює управління процесом. Розглянемо більш детально перелічені функції.

*Облік загального енергоспоживання шахти* полягає в тому, що періодично фіксуються показання лічильників електроенергії на підстанції (або декількох підстанціях) шахти. Реєструється *загальне* енергоспоживання шахти, тобто фіксуються показання лічильників комерційного обліку, за значеннями яких здійснюється розрахунок за спожиту електричну енергію. Звертаємо увагу читача на те, що мова йде про загальне енергоспоживання без його розподілу на складові, які відповідають енергоспоживанню окремих структурних підрозділів шахти. Це зумовлено тим, що в даний час на вугільних шахтах кількість лічильників технічного обліку електроенергії обмежена, існують невирішені проблеми обліку споживання підземного електрообладнання (мова йде про відособлений облік окремих споживачів). Тому на даному етапі достатньо просто може бути реалізований облік загального енергоспоживання шахти, як такий, що не потребує встановлення додаткових лічильників.

Засоби комерційного обліку електроенергії мають відповідати певним вимогам. Важливо, щоб прилади були сертифіковані і мали необхідні технічні характеристики. На більшості шахт це забезпечується. При використанні автоматизованих комп'ютерних систем комерційного обліку можливості значно розширюються, так як існують умови для відособленого контролю енергоспоживання значної кількості приймачів електроенергії, тобто розширюються можливості для впровадження розглянутої раніше системи енергоменеджменту.

Уявляється виправданим залучення для обліку енергоспоживання шахти служби головного енергетика шахти. Ця служба є підрозділом відділу головного механіка (заступника директора з електромеханічного обладнання та зв'язку). Остання забезпечує експлуатацію найбільш енергоємних споживачів шахти (вентиляції, механізмів підйому, компресорних установок і т.п.). У зв'язку з цим служба головного енергетика може безпосередньо впливати на вирішення проблем підприємства щодо оновлення, модернізації обладнання, а також використання їх енергоефективних режимів роботи.

*Формування планових показників та аналіз фактичного енергоспоживання* здійснюється на основі регресійної залежності рівня загального електроспоживання шахти (кВт·год) від обсягу видобутку за добу вугілля (т). Для побудови такої залежності необхідно щодоби в один і той самий час знімати показання лічильників електричної енергії і фіксувати обсяги добового видобутку вугілля. Це зручно робити перед першою зміною видобутку, коли вугілля піднято на поверхню шахти. Щодобова реєстрація енерговитрат дозволить достатньо швидко реагувати на зміни в енергоспоживанні і застосовувати ефективні заходи у разі нераціонального використання енергії. Можливості для відносно частоті і достатньо точної реєстрації необхідних даних існують. Витрати електричної енергії реєструються службою головного енергетика шахти, а інформацію про обсяги видобутку вугілля можна отримати в службі маркшейдера або у гірничого диспетчера шахти. За накопиченою в перебігу місяця інформацією (30 вимірів рівнів електроспоживання та видобутку вугілля) будують стандартну регресійну залежність, а також, у разі потреби, цільову регресійну залежність. У перебігу поточного місяця (періоду контролю) результати *фактичного енергоспоживання* зіставляють з плановими показниками (відповідно до стандартної регресійної залежності). При цьому фіксують результати задовільної (енерговитрати шахти нижче планованого рівня) і незадовільної (енерговитрати перевищують планований рівень) роботи шахти. Результати „дуже хорошої практики” можуть підтверджуватися зіставленням контрольованих результатів з цільовою регресією. Алгоритм формування регресійної залежності з урахуванням довірчих інтервалів був викладений раніше.

*Керування* процесом енергоспоживання шахти здійснюється в рамках існуючої системи управління. Зокрема, до управління залучається служба головного енергетика. Збір інформації, її обробку зосереджують у відділі головного енергетика. Проте, рівень головного енергетика як посадовця явно

недостатній для наведення ладу з енерговикористання. Цю функцію зобов'язано виконувати керівництво шахти (в першу чергу головний інженер та головний механік), впливаючи безпосередньо на підпорядковані їм виробничі підрозділи. Передбачається, що керівництво шахти знатиме поточну ситуацію з енергоспоживання. Воно отримує її у відділі головного енергетика, де за допомогою комп'ютерної програми будуть зіставлені результати фактичного і планового енергоспоживання. При підвищенні енергоспоживання головний енергетик з'ясовує *причину і місце*, де відбулися надмірні витрати енергії. При цьому необхідно орієнтуватися на інформацію, що надходить від начальників виробничих ділянок, гірничих майстрів, гірничого диспетчера. Слід також з'ясовувати чинники „хороших” та „дуже хороших” результатів. Це може стати основою для вироблення ефективних енергозбережних заходів (зокрема, для виробничих ділянок з незадовільними показниками). Звернемо увагу на той факт, що запропонована система орієнтована на *контроль* енергоспоживання і у меншій мірі – на керування цим процесом. Виходячи з цього, основний позитивний момент її функціонування полягає в тому, що:

- керівництво шахти має оперативну інформацію про стан та ефективність процесу енергоспоживання;

- контроль енергоспоживання здійснюється безперервно, з'ясовуються чинники як задовільних, так і незадовільних показників у роботі шахти, що сприяє наведенню порядку з енерговикористання;

- виходячи з результатів контролю, вживаються заходи щодо поліпшення ситуації з енерговикористання.

Визначимо особливості системи контролю, що дозволяють розглядати її як складову частину системи енергоменеджменту:

- робота системи базується на періодичних вимірюваннях загального енергоспоживання підприємства;

- синхронно з урахуванням енерговитрат фіксуються показники видобутку вугілля;

- планові показники видобутку вугілля визначаються за допомогою регресійної моделі;

- фактичне енергоспоживання зіставляється з плановим, що дозволяє оцінити результати роботи підприємства;

- існує механізм керування рівнем енергоспоживання, що базується на залученні до цього процесу керівництва шахти.

Запропонована система має ряд недоліків, а саме:

- система виключає чіткий контроль ефективності використання енергії окремими виробничими ділянками;

- тут не реалізується матеріальна відповідальність окремих підрозділів за нерациональне використання енергії;

- відсутній ефективний механізм вироблення й ухвалення рішень на професійній основі.

Проте, виходячи із ситуації, що склалася на вугільних шахтах, її використання буде виправданим і важливим етапом на шляху створення та введення в дію повноцінної системи енергоменеджменту.

Нижче наведена структура системи контролю загального енергоспоживання вугільної шахти (рис. 1.8.1).

Координуючу роль у роботі системи відіграє відділ головного енергетика. Головний енергетик шахти призначає особу, яка відповідає за збір інформації, її обробку на ЕОМ з використанням регресійної моделі. Обслуговуючий персонал має володіти обчислювальною технікою на рівні користувача та вміти працювати з встановленою програмою. Щодня в один і той самий час (перед спуском в шахту першої видобувної зміни) виконавець робіт з контролю енергоспоживання отримує відомості про видобуток вугілля за минулу добу (інформацію з відділу маркшейдера або гірничого диспетчера), а також показання лічильника комерційного обліку електроенергії (інформує черговий головної знижувальної підстанції шахти).

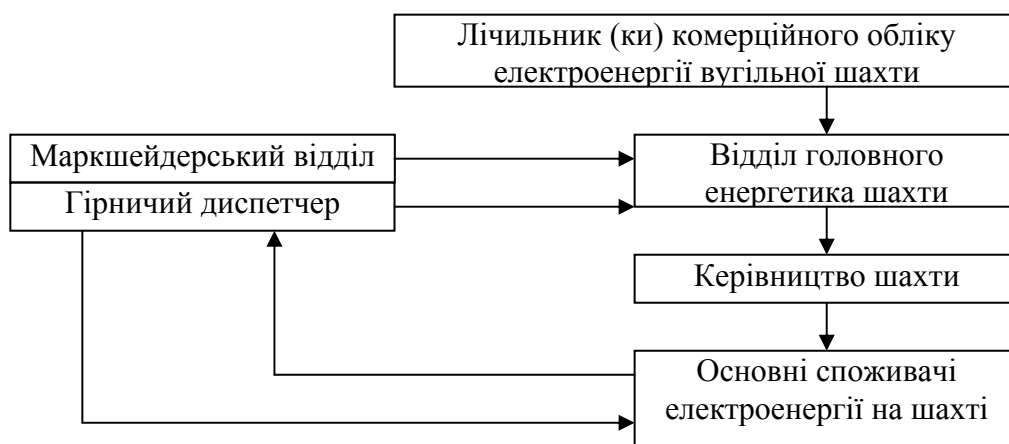


Рис.1.8.1. Система контролю загального енергоспоживання вугільної шахти

Добові витрати електроенергії визначаються як різниця отриманого показання лічильника та його попереднього значення. Одночасно гірничий диспетчер з'ясовує у начальників виробничих дільниць та інших служб, що споживають електричну енергію, *особливості енергоспоживання* за минулу добу, тобто з'ясовується їх думка з приводу того, яким було енергоспоживання (збільшилося, знизилося, залишилося на незмінному рівні) у порівнянні з їх попереднім звітом. З'ясовуються також чинники, які зумовили зниження або підвищення енерговитрат. Диспетчер передає цю інформацію у відділ головного енергетика.

Отримавши відомості про обсяг видобутку вугілля, у відділі головного енергетика проводять розрахунок планових показників енергоспоживання та зіставляють їх з фактичним енергоспоживанням (виходячи з показань лічильника). Здійснюють аналіз отриманих результатів. Інформація від споживачів енергії має пояснювати результати аналізу процесів енергоспоживання за допомогою ЕОМ (тобто пояснити причини перевищення добових енерговитрат або навпаки – отриманої економії). Про результати аналізу інформують керівництво шахти. Інформація містить:

- результати зіставлення фактичних і планових енерговитрат;
- можливі чинники (виходячи з аналізу) відмінностей цих результатів.

На оперативній нараді, що проводить керівництво шахти (можливо з використанням селекторного зв'язку) аналізуються результати роботи шахти стосовно ефективного використання електричної енергії. Розглядаються заходи щодо зниження енерговитрат. Розпорядження керівництва шахти приймаються до виконання керівниками структурних підрозділів. Терміни проведення оперативних нарад з питань енергоефективності роботи підприємства збігаються з термінами проведення нарад, що стосуються виробничої діяльності підприємства. Проте, слід пам'ятати, що ухвалені рішення мають бути оперативними, а реакція на нераціональне використання енергії – своєчасною і результативною.

Підкреслимо особливості функціонування системи. Система діє таким чином, що споживачі електричної енергії знаходяться під безперервним контролем з точки зору енерговикористання. І, незважаючи на те, що система контролю не може виявити конкретного винуватця перевитрат енергії, проте в процесі її роботи фіксуються ці перевитрати та з'ясовуються їх причини. Ці моменти важливі з психологічної точки зору і налаштовують колектив шахти на бережливе ставлення до використання енергоресурсів.

Якщо аналізувати структурну схему системи (рис. 1.8.1), то можна звернути увагу на той факт, що тут задіяні існуючі на шахтах підрозділи, технічні засоби. Новизна пропозиції полягає у формулюванні додаткових функцій для цих ланок. У системі можуть бути реалізовані також різні варіанти збору інформації, наприклад, можливе використання сучасних автоматизованих комп'ютерних систем обліку енергоспоживання.

#### *Висновки*

Систему контролю загального енергоспоживання вугільної шахти слід розглядати як спрощений варіант системи енергоменеджменту, що реалізує обмежений перелік функцій.

Запропонована структура цієї системи. Визначені функції та процес взаємодії її ланок. Система передбачає використання існуючих на шахті структурних підрозділів.

До позитивних сторін запропонованої системи контролю слід віднести:

- безперервність процесу обліку ефективності споживання енергії підприємством;
- використання для аналізу енергоефективності регресійної моделі;
- залучення до процесу управління енерговикористанням керівництва шахти.

Її недоліки полягають у тому, що:

- виключається чіткий контроль енерговикористання в окремих виробничих дільницях;
- не реалізується матеріальна відповідальність окремих виробничих дільниць за нераціональне використання енергії.

### **Контрольні питання**

1. Назвіть функції та опишіть процес взаємодії ланок систем контролю загального енергоспоживання вугільної шахти.



2. Перелічіть позитивні сторони та недоліки системи контролю загального енергоспоживання вугільної шахти.

### **1.9. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРАХУНКІВ У СИСТЕМІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

Регресійні залежності, що використовуються у системі енергоменеджменту для контролю енергоефективності споживання енергії в ЦОЕ, можуть будуватися як за допомогою комп'ютерної техніки, так і без неї (вручну). Перший варіант слід уважати більш перспективним, так як часто мова йдеться про побудову значної кількості ліній регресії, що відповідають декільком ЦОЕ. У світовій праці для цього використовують комп'ютерні програмні продукти, що дозволяють формувати бази даних, а також електронні таблиці. Нижче наведений один із варіантів алгоритму розрахунку. Він дозволяє здійснювати розрахунок тридцяти ліній регресії, що відповідають різним ЦОЕ. Будується лінійна регресійна залежність між витратами енергії у вибраному проміжку часу та основним контрольованим параметром, що визначає рівень споживання енергії. Таким чином, мова йдеться про лінійну регресійну залежність витрат енергії від одного параметра. Алгоритм розрахунку реалізований на базі таблиць Excel, що входять у Microsoft Office. Тут важлива вдала форма подання графічних і табличних матеріалів.

Програма наведена у вигляді окремих блоків, кожний з яких реалізує окрему регресійну залежність. Така структура побудови програми дозволяє використовувати її як у системі енергоменеджменту, де контролюється енерговикористання в ЦОЕ, так і в системі контролю загального енергоспоживання шахти. В останньому випадку будується одна лінія регресії, що відповідає показникам окремої шахти, або декілька регресійних залежностей, якщо мова йдеться про контроль енергоспоживання декількох шахт, що входять до складу виробничого об'єднання.

Розглянемо роботу програми на прикладі її використання для контролю загального енергоспоживання шахти. Перш за все необхідно ввести вихідні дані для побудови лінії регресії. Слід звернути увагу на однорідність даних та виключити з вибірки її значення, що значно відрізняються від результатів інших спостережень. Кількість спостережень повинна забезпечити необхідну точність контролю, тобто довірчий інтервал має бути достатньо вузьким. Прийнято, що норма відхилень не повинна перевищувати 10%. Уведенню підлягають значення щодобових витрат електроенергії та обсяги добового видобутку вугілля. Місячні показники (близько 30 спостережень), як правило, дозволяють отримати регресію, що забезпечує прийнятну точність контролю. У випадку, коли це не забезпечується, доцільно збільшити кількість спостережень, використавши для цього дані ще одного місяця. Рис.1.9.1 (архів програми) ілюструє таблицю, в якій фіксується відсоток відхилень 8,65%, що забезпечує необхідну точність контролю в січні 2007 р. за результатами регресійної залежності, побудованої в грудні 2006 р. У таблиці наводяться значення постійної складової енерговитрат (параметр  $A$ ) та коефіцієнта  $B$ , що

характеризує нахил лінії регресії. Тут наведені значення коефіцієнта кореляції для даних кожного місяця, а також значення накопиченої суми (кумулятивної суми). Архів програми дозволяє зберігати значення найбільш важливих параметрів регресії протягом терміну експлуатації системи енергоменеджменту. Це сприяє глибокому аналізу результатів, визначенню закономірностей, що характерні даному об'єкту.

Програма передбачає також побудову графіків, що відображають показники щоденного видобутку вугілля, а також витрат електроенергії протягом місяця. Сторінка „Графіки” (рис. 1.9.2) ілюструє приклад формування таких залежностей. Архів програми дозволяє зберігати ці дані і за необхідності звертатися до їх аналізу.

Приклад графіка регресійної залежності з розрахунковими довірчими інтервалами (зображені додатковими лініями) ілюструє рис.1.9.3. Поточний щоденний контроль ефективності енергоспоживання шахти здійснюється шляхом зіставлення фактичного енергоспоживання з плановим. Останнє визначається побудованою лінією регресії. Програма дозволяє фіксувати як значення перевитрат енергії в окремі дні, так і її економії. Відповідні графіки наведені на рис.1.9.4, 1.9.5.

Ці графіки ілюструють як абсолютні показники економії або перевитрат енергії, так і їх відносні значення у відсотках. Це дозволяє в процесі аналізу результатів оцінити ступінь відхилень від норми. Слід підкреслити оперативність здійснюваного контролю енергоспоживання. Аналіз щоденних цифр дозволяє керівництву шахти оперативно реагувати на випадки нераціонального використання енергії.

Окрім графіків відхилень фактичних показників від планових, програма дозволяє побудувати графік накопиченої (кумулятивної) суми (рис.1.9.6). Тут формується сума щоденних відхилень фактичних показників від планових з урахуванням їх знаків. Знак „+” мають показники економії витрат енергії, а „-” – показники перевитрат. Побудову графіка починають з нульового значення накопиченої суми, яка відповідає початку місяця. На кінець місяця накопичена сума покаже значення місячної економії енергії (у зіставленні з плановими показниками) або значення перевитрат енергії протягом місяця (є від'ємним числом). Показники накопиченої суми дозволяють дати оцінку енергоефективності видобутку вугілля протягом місяця.

Після закінчення чергового періоду контролю (закінчення місяця) на основі спостережень фактичного енергоспоживання в цьому періоді формують нову регресійну залежність. Вона дозволяє здійснювати аналогічний контроль протягом наступного місяця. Далі процес повторюється. Якщо контроль енерговикористання шахти в період роботи введеної системи був ефективним, то протягом декількох місяців показники ефективності використання енергії покращаться, що приведе до зміни відповідних коефіцієнтів лінійної регресії  $A$  і  $B$  (рис.1.9.1).

Microsoft Excel - ШАХТА\_1.2.2\_экспер

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

Анал Сур 10 Ж К У

Введите вопрос

A	B	D	F	H	J	L	N	O	P	Q
1	Название объекта		ИНТЕРВАЛ:	ФАКТ		НОРМА				
2	ш. Павлоградская		1	11,69%	>	10,0				
3	Отчетный период	2007	Месяц (расчет)	ЯНВАРЬ						%
4	Текущий	ЯНВАРЬ								
5	ФЕВРАЛЬ									
6	Кумулятивная		A	B	Коэффициент корреляции	Интервал отклонений	Кол-во месяцев			
7	Сумма		63301,512	11,714	0,8688	11,69%	1			
8	#ЗНАЧИ									
9	Январь									
10	Февраль									
11	Март									
12	Апрель									
13	Май									
14	Июнь									
15	Июль									
16	Август									
17	Сентябрь									
18	Октябрь		13054,43	25,52	0,66	16,98%	1			
19	Январь	4911,00 кВт*ч	80112,70	6,51	0,71	3,34				
20	Февраль	-20909,00 кВт*ч	66713,32	10,13	0,90	8,65				
21	Март	-27709,00 кВт*ч	63301,51	11,71	0,87	11,69				
22	Апрель									
23	Май									
24	Июнь									
25	Июль									
26	Август									
27	Сентябрь									
28	Октябрь									
29										

Готово

АРХИВ / Графики / 2006 / 2007 / 2008 / 2009 / 2010 / ЭКОНОМИЯ / ПЕРЕРАСХОД / ГРАФИК РЕГРЕССИИ / КУМ. СУММА /

NUM

Рис. 1.9.1. Архив програми

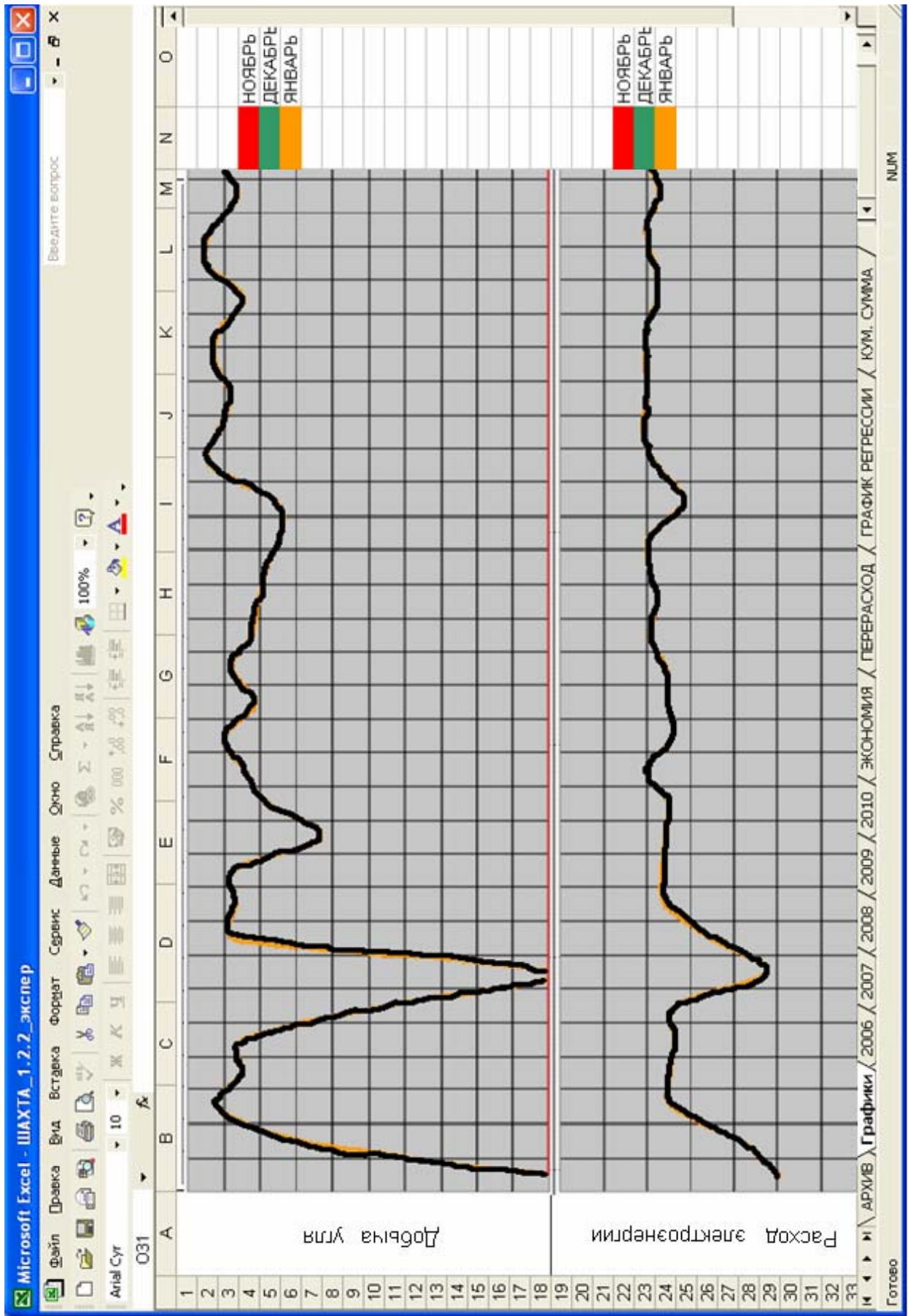


Рис. 1.9.2. Графіки видобутку вугілля та витрат електроенергії

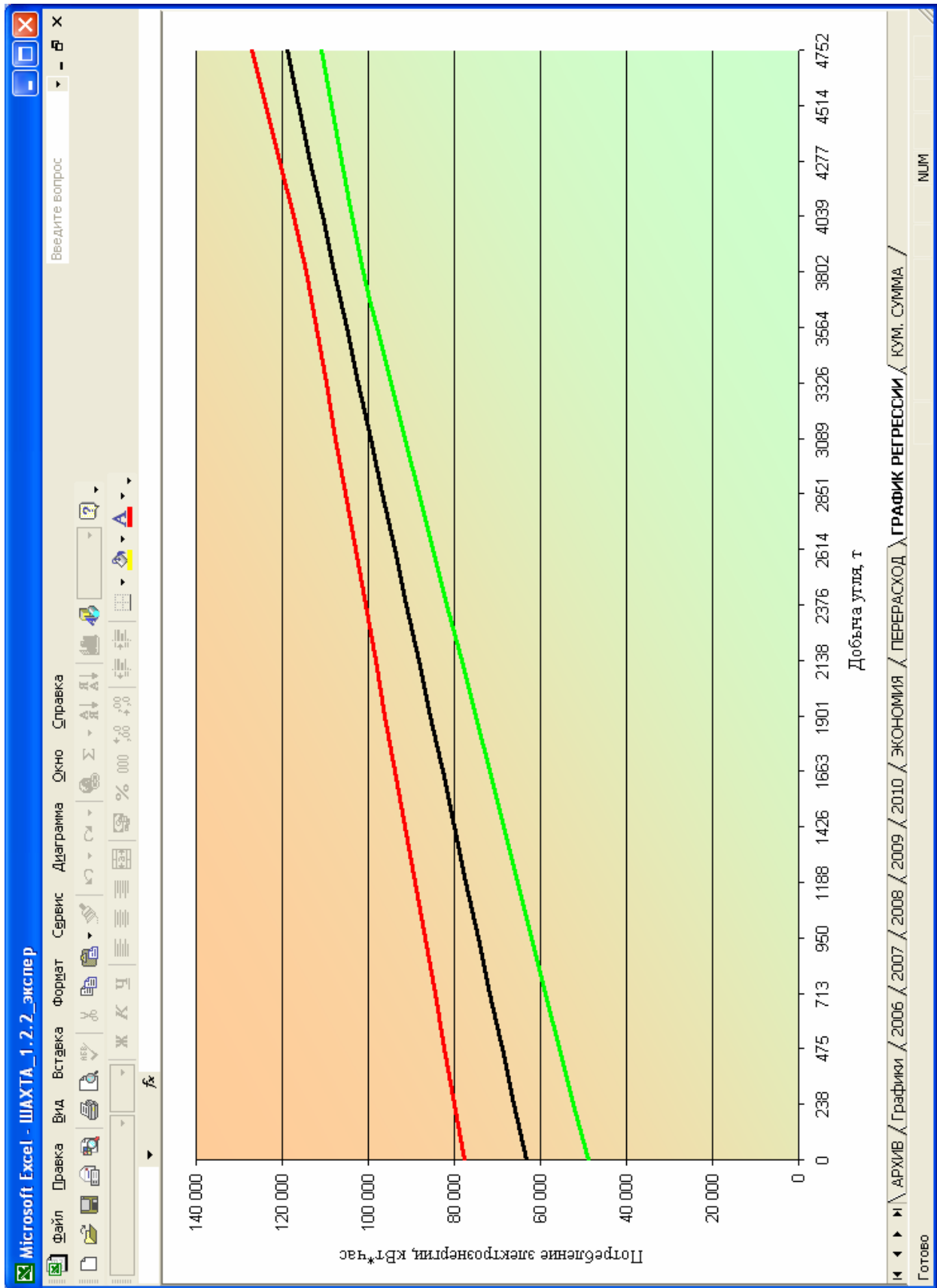


Рис. 1.9.3. Лінія регресії

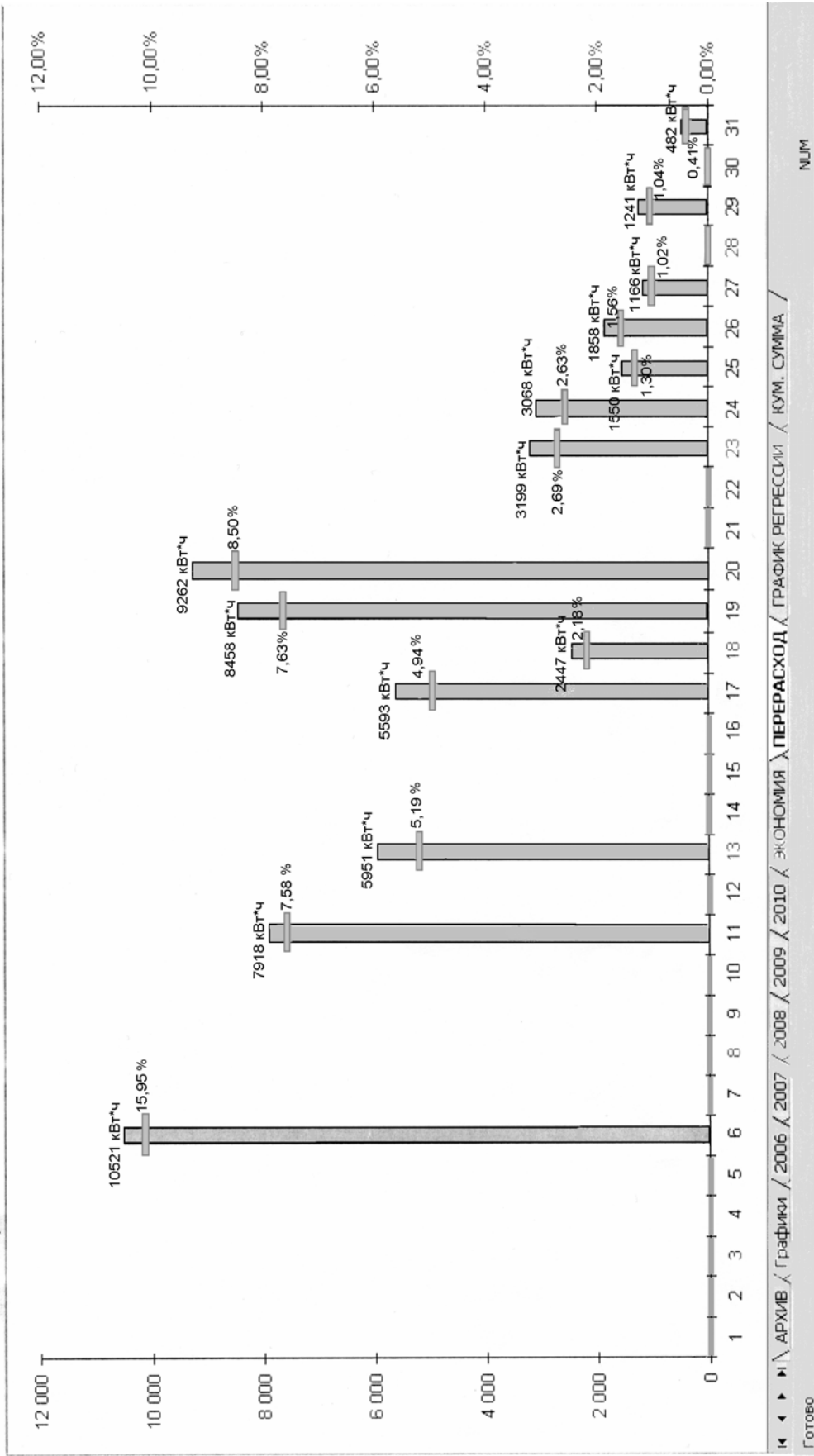
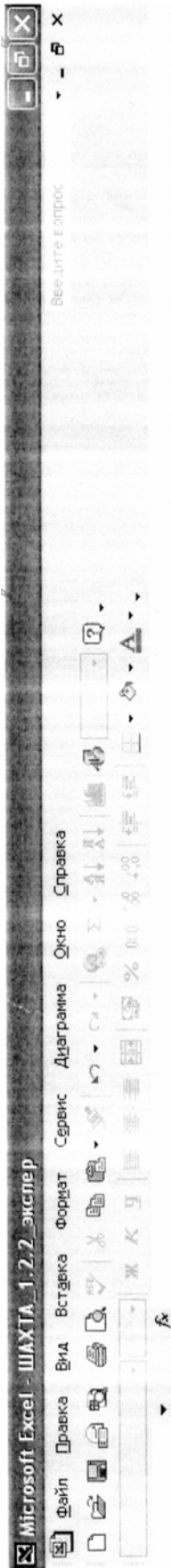


Рис. 1.9.4. График перевитрат энергии (кВт.год)

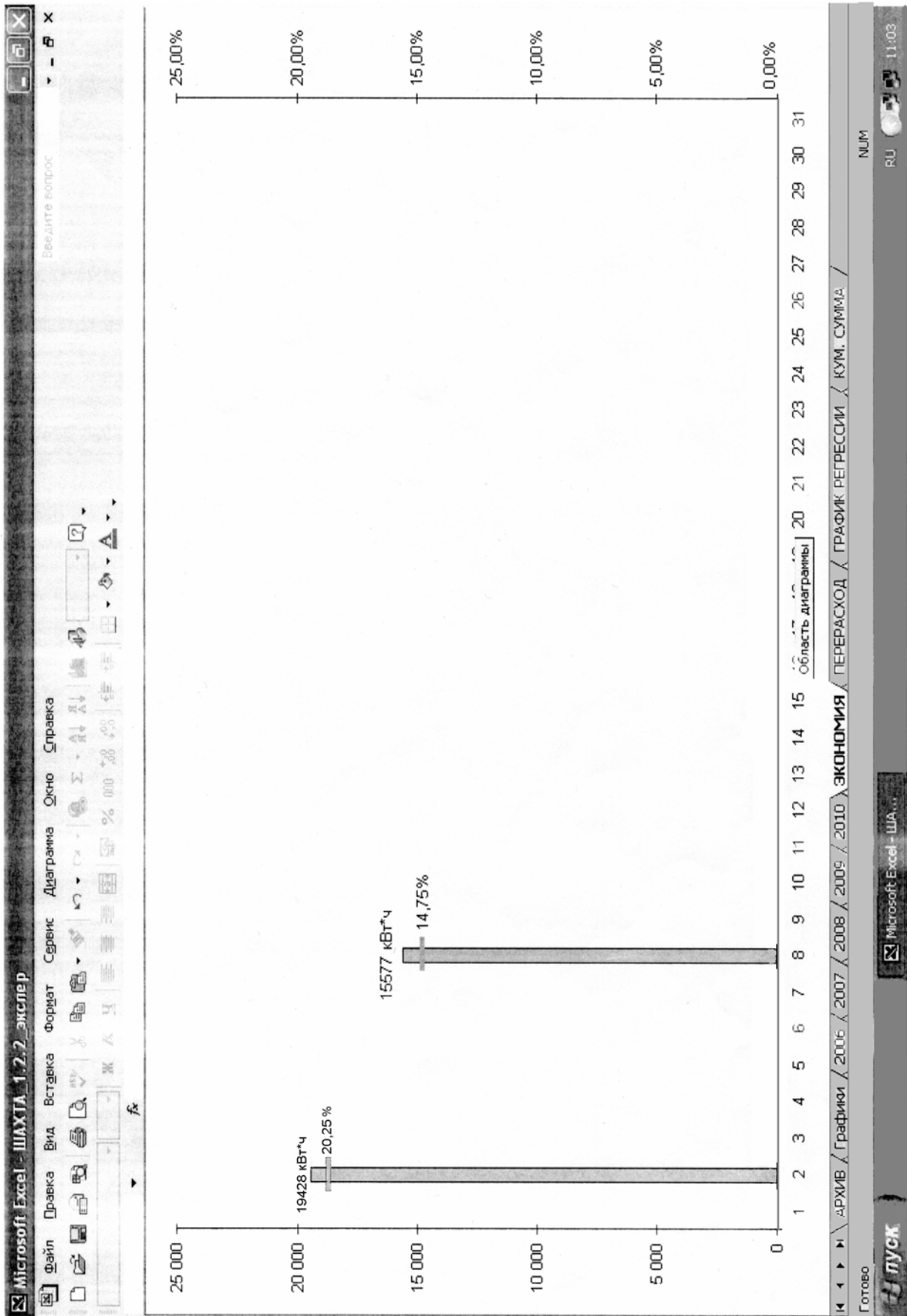


Рис. 1.9.5. Графік економії енергії (кВт.год)



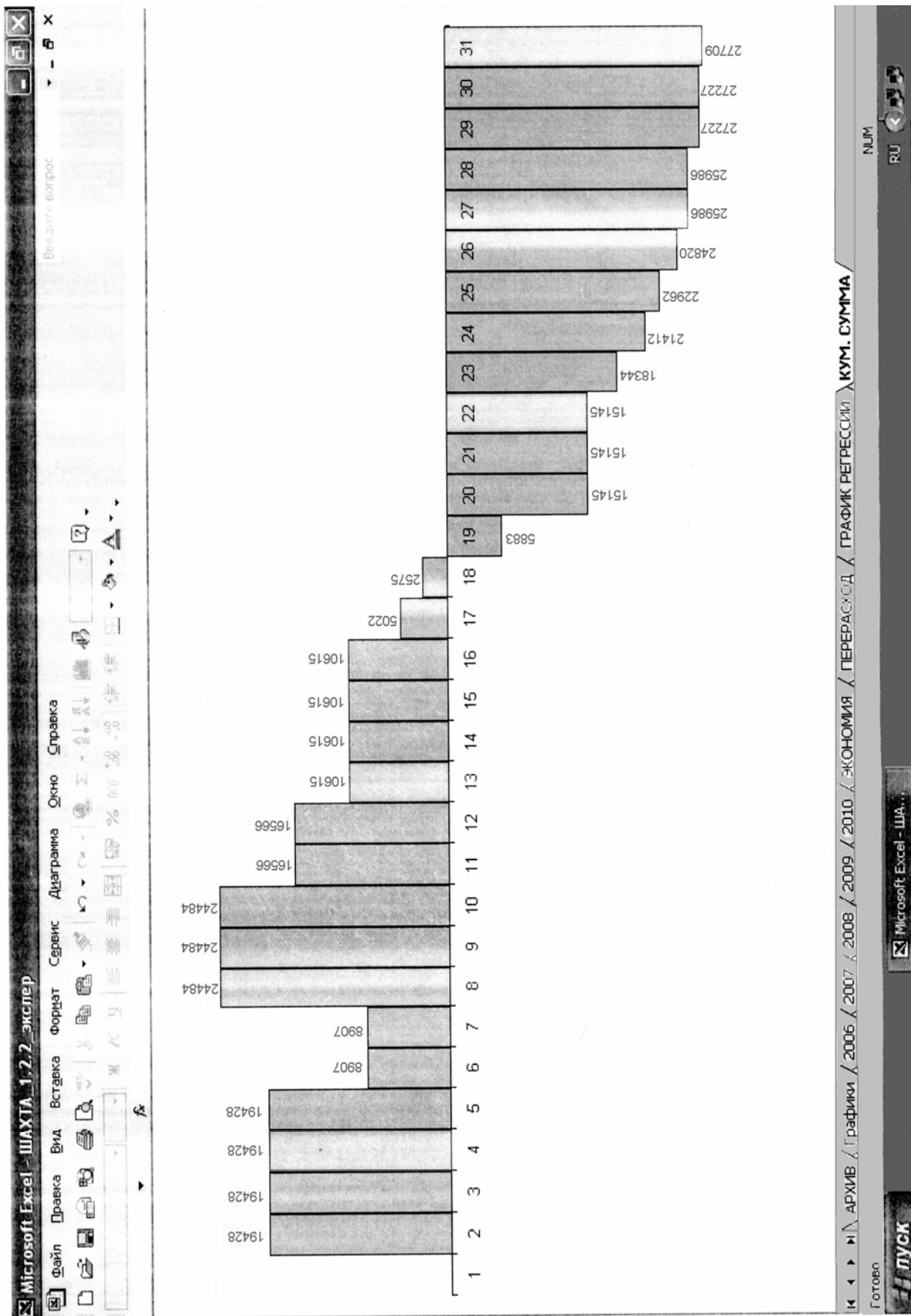


Рис. 1.9.6. Графіки накопиченої суми відхилено (кВт.год)



Наявність регресійної залежності, отриманої на основі реальних показників роботи шахти, дозволяє керівництву шахті прогнозувати місячні витрати енергії. Це можливо здійснити, якщо відомі планові показники вуглевидобутку на наступний місяць.

Регресійна модель дозволяє легко розрахувати показники питомого енергоспоживання шахти. Причому розраховуються як фактичні показники (виходячи з фактичних енерговитрат та фактичного видобутку), так і планові показники (для фактичного видобутку з регресії знаходять планове енергоспоживання). Ці показники мають розмірність – кВт·год/т, причому питома витрата електроенергії зростає зі зменшенням обсягів видобутку вугілля. На початковій стадії роботи системи контролю загального енергоспоживання шахти, коли її механізми не задіяні у повній мірі, може спостерігатися ситуація слабкої кореляції енерговитрат з обсягами вуглевидобутку. Малий коефіцієнт кореляції приведе до розширення довірчих інтервалів регресії та до зниження точності здійснюваного контролю. У цій ситуації необхідно посилити контроль використання енергії безпосередньо на виробничих дільницях шахти. Якщо проводити послідовну і систематичну роботу у цьому напрямку, то через деякий проміжок часу ситуація покращиться, що буде спостерігатися і на характеристиках регресійної залежності. Коефіцієнт кореляції підвищиться, а область, обмежена довірчими інтервалами регресії, звужиться.

Розглянемо приклад. Проаналізуємо вибірку даних щоденного споживання електроенергії та видобуток вугілля за 1-й квартал 2006 р. шахтою «Павлоградська», ВАТ «Павлоградвугілля» (табл.1.9.1). Нижче наведені регресійні залежності (рис.1.9.7), побудовані за показниками січня (рис.1.9.7,*а*), лютого (рис.1.9.7,*б*) та березня (рис.1.9.7,*в*) 2006 р.

Із рисунка видно, що область, обмежена довірчими інтервалами, достатньо вузька. Це пов'язано із значними коефіцієнтами кореляції залежностей (у січні –  $r = 0,87$ , лютому –  $r = 0,85$ , березні –  $r = 0,85$ ). Завдяки цьому контроль енергоспоживання шахти здійснювався з високою точністю і був ефективним. Значення коефіцієнта кореляції свідчать про відносно тісний зв'язок між споживанням електроенергії та видобутком вугілля.

Алгоритм розрахунку ефективності споживання енергії вугільною шахтою передбачає своєчасне введення в обчислювальну машину інформації про обсяги вуглевидобутку за добу. Інформація може збиратися різними способами, від яких може змінюватись ефективність та надійність роботи системи в цілому. Тому доцільно проаналізувати ці можливості, визначити існуючі недоліки та переваги.

Ручний збір інформації є мало витратним з фінансової точки зору і передбачає періодичну щодобову реєстрацію показників лічильників енергії та показників вуглевидобутку.

Таблиця 1.9.1

## Споживання електроенергії та видобуток вугілля за 1-й квартал 2006 р.

Число місяця	2006 р.					
	Січень		Лютий		Березень	
	Вугілля, т	Ел.енергія, кВт.год	Вугілля, т	Ел.енергія, кВт.год	Вугілля, т	Ел.енергія, кВт.год
1	2	3	4	5	6	7
1	0	59040	4500	126000	4690	115700
2	3400	76500	4900	114120	3960	108220
3	4600	108360	4710	117720	3640	108360
4	4240	108900	5086	120600	4800	106920
5	4240	107100	4300	113220	5100	106920
6	2200	106560	4500	116640	5200	122220
7	0	64980	4290	118080	4500	112320
8	4362	90000	5280	123120	0	78840
9	4320	111600	5200	121140	4900	104400
10	4373	113220	5200	120780	4700	107460
11	3168	112320	4800	110880	5500	112500
12	3907	109800	4400	105480	5200	115920
13	4224	120600	5150	107640	5000	117540
14	4490	108360	5020	132660	5200	119700
15	4050	110160	4900	117900	5320	124020
16	4400	111060	4320	118800	4850	121320
17	4100	118800	4230	118440	5480	123480
18	4030	114840	4100	107820	5700	129240
19	3900	119340	4800	113040	4600	114120
20	3700	118260	4910	115560	4930	113760
21	3780	102780	4800	112500	4204	114120
22	4700	115380	5342	119160	4536	112680
23	4600	122220	4285	118440	4960	118440
24	4410	119880	4312	106740	4642	117900
25	4618	120780	4700	111780	4200	117180
26	4576	120600	4365	113040	4419	98280
27	4233	115920	3986	108900	4590	120420
28	4752	117000	3328	100620	4527	116820
29	4660	120960			5040	116100
30	4312	114300			4230	121320
31	4555	118980			3882	116280

Це виконують працівники служби енергоменеджменту, використовуючи для цього телефонний зв'язок або безпосередньо реєструючи показники в місцях розташування лічильників енергії. Показники добового вуглевидобутку можуть бути підтверджені відповідними документами. Збір інформації за допомогою телефонного зв'язку – це простий спосіб, але він не гарантує високого ступеня достовірності інформації. Можливості для перекручування отриманої інформації існують і в несинхронності фіксації даних, коли, наприклад, показники витрат енергії за нинішню добу зіставляють з вуглевидобутком за попередню.

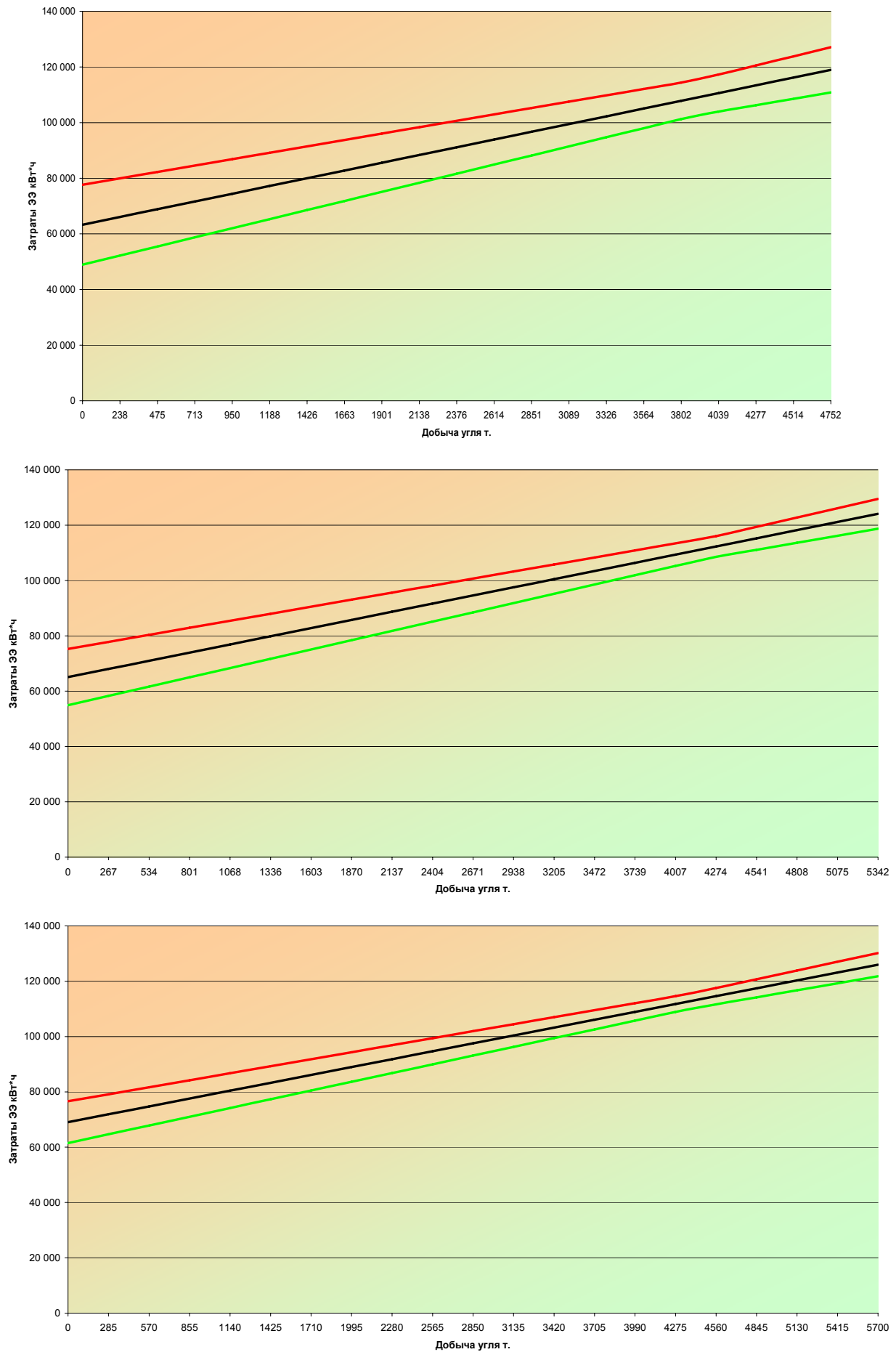


Рис. 1.9.7. Регресійні залежності: *a* – за січень; *б* – за лютий; *в* – за березень 2006 р.

При використанні телефонного зв'язку в процедурі передачі інформації задіяні декілька осіб, які можуть безпосередньо впливати на її достовірність. Якщо інформація буде помилковою, то про це стане відомо тільки через певний проміжок часу, коли наступні виміри будуть суперечити попереднім.

Відмова від використання телефонного зв'язку й відвідування співробітниками служби енергоменеджменту місць установлення лічильників знижує ймовірність перекручування інформації, однак процес стає більш громіздким і вимагає додаткових зусиль. У процесі відвідувань доцільно заповнювати лист обліку показань, що, як правило, дозволяє уникнути помилкового запису показань одного лічильника на інший. Наявність попереднього запису на листі обліку виключає помилки, пов'язаної, наприклад, з розташуванням коми при реєстрації числа у вигляді десятинного дробу. Використання в сучасних лічильниках електронних карток – реєстраторів показань лічильників дозволяє уникнути помилок у процесі фіксації та їхнього введення в пристрій обчислювальної машини. Бажано, щоб у процесі реєстрації даних були задіяні співробітники, які знають розташування лічильників і мають навички виконання цієї роботи.

Останнім часом для обліку енергоспоживання вугільної шахти й управління деякими показниками цього процесу використовують автоматизовані системи обліку енергії (АСОЕ). На підстанціях підприємства встановлюють лічильники для обліку електричної енергії, що споживається підприємством у цілому, а також енергії, яку споживають окремі приймачі. Показання лічильників надходять на сервер, де підлягають аналізу. Результати аналізу можна спостерігати на будь-якому персональному комп'ютері, що входить у локальну мережу підприємства.

Автоматизований облік електроспоживання вугільної шахти в цілому, а також окремих її споживачів, що здійснюється без втручання людини й використовує для цього різні канали передачі інформації, може істотно спростити процедуру збору необхідної інформації для розглянутої системи контролю загального енергоспоживання самої шахти. Показники енергоспоживання можуть бути отримані з локальної комп'ютерної мережі шахти й безпосередньо використані при побудові регресійної залежності із застосуванням програми, установленної в комп'ютері служби енергоменеджменту. У такому варіанті істотно знижується ймовірність виникнення помилки у вихідних даних. Однак варто врахувати, що відомості, які надходять, не є достатніми. Їх необхідно доповнити показниками добового видобутку шахтою вугілля. Швидше за все, для цього треба застосувати традиційні методи. Необхідно також обґрунтувати час реєстрації показань лічильників комерційного обліку. Для цього необхідно проаналізувати послідовність технологічних операцій, пов'язаних з видобутком вугілля, і простежити зв'язок енерговитрат з виконаними діями. Якщо вважати цикл видобутку вугілля завершеним після підняття його на-гора, то можна визначити момент часу для реєстрації добових витрат електроенергії як такий, що передую початку першої видобувної зміни.

Підтверджуючи принципову можливість використання в системах енергоменеджменту автоматизованого обліку витрат енергії, звернемося до аналізу відомих засобів автоматизації. Підприємства України використовують різноманітні АСОЕ як вітчизняного виробництва, так і імпортного. У більшості варіантів вони мають близьку структуру побудови, збору даних і їхньої обробки. Системи відрізняються одна від одної кількістю контрольованих точок і параметрів обліку, типами використаних первинних приладів обліку (лічильників), можливостями для реалізації багатотарифного режиму, максимально можливим віддаленням лічильника від комп'ютера, швидкістю передачі даних та іншими параметрами. В Україні набули широкого використання системи СИНЕТ-1, Альфа СМАРТ, DATAGYR 3300, ЦТ5000. На шахтах Західного Донбасу (зокрема, ВАТ «Павлоградвугілля») широко використовується автоматизована система комерційного обліку електроенергії АСКОЕ, розроблена ТОВ НПЦ « Енергія-Сервіс». Вона створена на базі системи СИНЕТ-1 і орієнтована на застосування інтелектуальних лічильників енергії різних типів («Елвін», LZQM, СТК, Landis та ін.). Система забезпечує як комерційний облік, так і оперативний контроль споживання енергії. Разом з електроенергією може здійснюватися контроль використання інших видів енергії (газ, повітря). Система забезпечує:

- облік споживання активної, реактивної енергії в заданому інтервалі часу, виходячи з показань окремих лічильників, групи лічильників або витрат енергії на підприємстві в цілому з урахуванням тарифів за зонами протягом доби;
- облік усереднених значень активної, реактивної потужності в заданому інтервалі часу.

Оперативний контроль здійснюється шляхом періодичного „опитування” лічильників для реєстрації їхніх показань. При цьому в реальному масштабі часу відображається електричне навантаження в окремих точках обліку, будуються як індивідуальний, так і груповий графіки навантажень (включаючи графіки, що стосуються підприємства в цілому).

Перелічені вище функції системи автоматизованого обліку енергії свідчать про те, що вони можуть скласти інформаційну основу для налагодженої роботи системи енергоменеджменту. Важливо те, що АСКОЕ дозволяє використовувати безліч лічильників, які забезпечують досить високу точність вимірювання параметрів. Ці лічильники можуть встановлюватися так, щоб мати можливість реєструвати витрати енергії в ЦОЕ, а також на підприємстві в цілому. Важливо те, що здійснюється побудова графіків електричних навантажень у реальному масштабі часу. Це в багатьох випадках дозволяє пояснити причини зміни ефективності використання енергії окремими дільницями й підприємством у цілому, що спостерігається при аналізі. Оперативність здійснюваного контролю дозволяє вчасно реагувати на зміну ситуації й приймати рішення до її поліпшення.

Обмежуючим фактором використання АСКОЕ в системі енергоменеджменту є значна вартість технічних засобів і програмного забезпечення. Тому не варто ігнорувати варіант збору інформації вручну. Період запровадження в дію систем енергоменеджменту із збором інформації

вручну набагато менший, ніж при реалізації АСКОЕ. Тому ефект від впровадження систем може бути отриманий раніше. Крім того, світова практика енергоменеджменту свідчить про те, що використання складних комп'ютерних систем рівня АСКОЕ виправдано в тому випадку, коли система, крім завдань підвищення енергоефективності, вирішує також завдання управління технологічним процесом.

Якщо ж АСКОЕ на шахті встановлена й функціонує, то впровадження в дію системи енергоменеджменту або її спрощеного варіанта – системи контролю загального енергоспоживання істотно спрощується. При цьому варто підкреслити зростаючу ефективність роботи системи контролю загального енергоспоживання шахти, тому що значною мірою розширюється інформаційна база системи, а це дозволяє розкрити окремі складові енергоспоживання шахти й на цій основі виявити конкретних винуватців нераціонального використання енергії.

#### *Висновки*

Запропоновані загальні принципи побудови комп'ютерних систем контролю енерговикористання в ЦОЕ із застосування ліній регресії, графіків відхилень значень фактичного енерговикористання від планових показників, графіків накопиченої суми.

Показана можливість та оцінена доцільність використання автоматизованих систем обліку енергії в системах енергоменеджменту та контролю загального енергоспоживання вугільних шахт.

#### **Контрольні питання**

1. Наведіть залежності, які за допомогою комп'ютерної програми можна подати у графічному вигляді.
2. Про що свідчать регресійні залежності, наведені на рис.1.9.7?
3. Назвіть переваги ручного збору інформації для побудови регресійної залежності.

## 2. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

### 2.1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

Проблема прогнозування споживання ПЕР тісно пов'язана з ефективністю їх використання, а тому є найважливішою в умовах дефіциту енергоносіїв.

До прогнозів споживання ПЕР, що розробляються, висуваються такі вимоги:

- прогнози мають бути, насамперед, науково обґрунтованими, своєчасними і надійними;

- вони мають містити в достатньому обсязі інформацію, необхідну для розроблення перспективних планів.

Для забезпечення виконання таких вимог необхідно:

- виявити й аналізувати закономірності, що склалися, а також тенденції споживання ПЕР;

- оцінити дію цих тенденцій у майбутньому, позитивні та негативні їх наслідки;

- передбачити нові ситуації, нові проблеми, що потребують свого вирішення;

- виявити можливі альтернативи розвитку в перспективі;

- накопичити інформацію для всебічно обґрунтованого вибору напряму в розробці оптимального планового рішення, що забезпечує активну дію на розвиток енергетичного господарства підприємства.

Перехід від прогнозування до планування припускає, що при встановленні мети робиться оцінка результатів прогнозу, визначаються обсяги необхідних ПЕР.

Для ухвалення своєчасних управлінських рішень необхідно прогнозувати сам хід виконання плану. Тому особливого значення в сучасних умовах набувають, так звані, застережливі прогнози. Основне їх призначення – забезпечити енергоаудитора матеріалом для своєчасного ухвалення рішень, які сприяють у разі потреби нормалізувати діяльність енергогосподарства підприємства.

Прогнозування і перспективне планування споживання ПЕР тісно пов'язані і мають спільні риси. Прогноз дозволяє врахувати результати дії цих тенденцій, а план – намітити відповідні заходи для досягнення встановлених завдань. Якщо за допомогою прогнозу виявляються негативні тенденції, то в плані накреслюються заходи для їх нейтралізації.

Прогнозування споживання ПЕР пов'язане з майбутнім, яке завжди стохастичне. Тому будь-які енергоекономічні прогнози мають характер вірогідності. Отже, методи і моделі прогнозування за своєю природою мають бути пристосовані до аналізу і розробки енергоекономічних гіпотез, тобто бути вірогідними.

Початковим пунктом прогнозування споживання ПЕР є аналіз тенденцій зміни характеристик споживання енергоресурсів, що склалися, і до певної міри зумовлюють зміни в майбутньому. Так, показники обсягу виготовленої продукції, які впливають на споживання ПЕР, значною мірою залежать від роботи підприємств у попередні роки, тобто від рівня організації праці, виробництва, управління в періоди, що передують прогнозованому.

Під час розгляду математично-статистичного апарату аналізу динаміки і прогнозування споживання ПЕР виходять з того, що споживання енергії як енергоекономічний процес має характер *вірогідності*. Рівень споживання ПЕР формується під впливом безлічі різних чинників: головних і другорядних, прямих і непрямих, об'єктивних і суб'єктивних, які тісно переплітаються між собою і діють найчастіше у різних напрямках. У результаті спостерігається широке варіювання показників споживання ПЕР внаслідок їх випадкового відхилення від основної тенденції.

Випадкові відхилення неминуче супроводжують будь-яке закономірне явище. Знайти закономірності, приховані серед випадковостей, дозволяють методи теорії ймовірності і математичної статистики[21–24, 27].

Сама тенденція може бути визначена за допомогою методів обчислювальної математики, тобто знаходиться деяка апроксимуюча функція, що задовольняє нас і відображає закономірності розвитку даного процесу або явища. Для цього можуть бути використані методи найменших квадратів, методи мінімізації максимального відхилення, методи мінімізації суми модулів відхилень та ін.

Що стосується відхилень від знайденої апроксимуючої кривої, то перш за все перевіряється гіпотеза, що вони є стаціонарним випадковим процесом. Якщо висунута гіпотеза не відкидається, то далі можна застосовувати методи прогнозування стаціонарних випадкових процесів.

Оскільки прогнозування споживання ПЕР носить імовірнісний характер, то воно переважно виконується за допомогою статистичних моделей. Якщо вони правильні, то можна зробити точний або достатньо точний прогноз. Якщо ж навпаки, то прогноз незалежно від того, наскільки точними є дані, що лежать в його основі, буде неточним. Статистика допомагає передбачити явища, але сама як така ще не забезпечує такої можливості, оскільки врешті-решт усе залежить від відправних припущень.

У зв'язку з цим виникає питання про точність прогнозу, його вірогідність. При цьому необхідно вказати, в якому значенні розуміється точність прогнозу. У прогнозуванні споживання ПЕР поняття «точність» має відносний характер залежно від мети дослідження. Точність прогнозу значною мірою залежить від того, наскільки з'ясовані закономірності розвитку прогнозованого об'єкта або системи, а також від надійності методів дослідження. Поняття точності суттєво пов'язане з поняттям випередження, під яким розуміємо проміжок часу між останнім спостереженням часового ряду і моментом, для якого зроблений прогноз. Чим більший час випередження, тим менш точним стає прогноз, оскільки на його результати накладається все менша кількість обмежень.



Найпоширенішим способом перевірки точності прогнозу є ретроспективний, тобто прогноз за даними минулого періоду часу і потім порівняння одержаних результатів з фактичною динамікою [7]. Найчастіше таке порівняння проводиться за величиною середньої квадратичної похибки або середньої похибки апроксимації. Якщо одержані результати задовольняють заданому критерію точності, то модель прогнозу вважається прийнятною і рекомендується для розроблення прогнозів на перспективу. В цьому сенсі необхідно також правильно визначити довірчий інтервал.

Ефективними методами математичної статистики, які дозволяють аналізувати значні обсяги інформації з метою дослідження вірогідного взаємозв'язку двох або більше змінних, є дисперсійний, кореляційний та регресійний аналізи. Результативний чинник (один з показників енергоефективності) може залежати як від однієї, так і від декількох величин (чинників), а тому для визначення значущих чинників з числа аналізованих застосовують методи дисперсійного аналізу.

За допомогою регресії встановлюється аналітичний зв'язок між змінними, а дисперсійного аналізу – значущість чинників, що впливають на результативний чинник.

Кореляційний аналіз необхідний для того, щоб визначити щільність зв'язку між чинниками, що впливають на результативний чинник, і самим результативним чинником, а також для оцінки якості моделі.

У регресійному аналізі розглядається зв'язок між однією змінною, яка називається залежною змінною або ознакою, і декількома іншими, які називаються незалежними змінними. Цей зв'язок можливо подати за допомогою математичної моделі, тобто рівняння, яке зв'язує залежну змінну  $y$  з незалежними  $x$  з урахуванням безлічі відповідних припущень. Регресійний аналіз використовують з двох причин:

- по-перше, опис залежності між змінними допомагає встановити наявність можливого причинного зв'язку;
- по-друге, отримання аналітичної залежності між змінними дозволяє передбачити майбутні значення залежної змінної відповідно до значень незалежних змінних, тобто прогнозувати.

Наведені методи можуть бути застосовані лише за умови нормального розподілу чинників, що аналізуються, а тому насамперед необхідно перевірити гіпотезу про нормальний закон розподілу ймовірностей.

Отже, статистичний аналіз енергетичних показників повинен складатися з таких основних етапів:

- 1) перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу ймовірностей значень чинників;
- 2) оцінка впливу окремих чинників; вибір тих, що істотно впливають на результативну ознаку, – дисперсійний аналіз;
- 3) оцінка щільності зв'язку між параметрами – кореляційний аналіз;
- 4) розробка моделі, яка відображає загальний зміст взаємозв'язків, що вивчаються, – регресійний аналіз.

Гіпотезу про нормальний закон розподілу можливо перевірити кількома методами. Найчастіше для цього використовуються критерії Колмогорова,  $\chi^2$ ,  $\omega^2$ . Однак у багатьох випадках гіпотезу про нормальність закону розподілу можна перевірити більш простим та наочним методом, тобто за допомогою асиметрії та ексцесу.

На другому етапі здійснюється відбір чинників, які істотно впливають на результативну ознаку. Тут слід ураховувати, що для отримання надійних оцінок в модель не слід уводити багато чинників, їх кількість не повинна перевищувати однієї третьої об'єму даних, які аналізуються.

Третій етап включає розрахунок коефіцієнтів кореляції і кореляційних відношень.

Четвертий етап полягає у побудові регресійних моделей, які відображають загальний зміст взаємозв'язків.

Розрізняють два види регресійних залежностей:

- одиночна регресія – відображає залежність між результативним чинником та одним із параметрів, що впливають на нього;
- мультирегресія – відображає залежність результативної ознаки і декількох параметрів.

Регресія може бути також лінійною, якщо залежності лінійні відносно параметрів, і нелінійною (логарифмічною, степеневою, експоненціальною, поліноміальною та ін.), якщо залежності нелінійні.

Після побудови регресійних залежностей слід оцінити їх кількісно і проаналізувати, оскільки для правильного використання результатів, які одержують на «виході» регресійного аналізу, потрібно розуміти сутність цих даних.

Важливим аспектом при проведенні статистичного аналізу є виключення даних з похибками, які можуть унести суттєві відхилення від точних результатів.

Також для аналізу та узагальнення даних про використання ПЕР рекомендується застосовувати графічні методи. Графічне зображення дозволяє здійснити контроль вірогідності статистичних показників, оскільки на графіку вони точніше відображають наявні неточності, викликані різними причинами. За допомогою графічного зображення можливе вивчення закономірностей розвитку явища, встановлення існуючих взаємозв'язків. Просте зіставлення даних не завжди дозволяє уловити наявність причинних залежностей, тоді як їх графічне зображення сприяє виявленню причинних зв'язків, особливо у разі встановлення первинних гіпотез, що підлягають потім подальшій розробці. Графіки найчастіше використовуються для вивчення структури явищ, їх зміни у часі та в просторі. У них повніше виявляються порівнювальні характеристики і основні тенденції розвитку та взаємозв'язку, які властиві явищу, що вивчається, або процесу.

### **Контрольні питання**

1. Які вимоги висуваються до прогнозів споживання ПЕР?
2. Які завдання ставляться до прогнозування?

3. Які завдання ставляться до планування?
4. Який характер мають енергоємні процеси?
5. Які методи найчастіше використовують для побудови прогнозованих моделей?
6. Які задачі дозволяє вирішувати дисперсійний аналіз?
7. Які задачі дозволяє вирішувати кореляційний аналіз?
8. Які задачі дозволяє вирішувати регресійний аналіз?
9. Якого вигляду можуть набувати регресійні залежності?
10. Для чого необхідно перевіряти гіпотезу про нормальність закону розподілу ймовірностей?

## 2.2. ТЕОРЕТИКО-ЙМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ

### 2.2.1. Класифікація похибок вимірювань

Числові значення фізичної величини отримують у результаті її вимірювання, тобто при порівнянні її з іншою величиною того ж роду, прийнятою за одиницю. При обраній системі одиниць результати вимірювань виражаються визначеними числами. Відомо, що при достатньо точних вимірюваннях однієї й тієї величини отримані результати окремих вимірювань можуть відрізнитися один від одного, а отже, мають похибки.

*Похибкою вимірювання* називається різниця  $x - a$  між результатом вимірювання  $x$  та істинним значенням  $a$  вимірюваної величини. Похибка вимірювання зазвичай невідома, як невідоме й дійсне значення вимірюваної величини (виключення складають вимірювання відомих величин, виконані за спеціальною метою дослідження похибок вимірювання, наприклад, для визначення точності вимірювальних приладів). Однією з основних задач математичної обробки результатів експерименту якраз і є оцінка дійсного значення вимірюваної величини за отриманими результатами. Іншими словами, після неодноразового вимірювання величини  $a$  та отримання низки результатів, кожен з яких містить деяку невідому похибку, ставиться задача обчислення наближеного значення  $a$  з якомога меншою похибкою. Для вирішення цієї задачі (при даному рівні точності вимірювання) потрібно знати основні властивості похибок вимірювання та вміти ними користуватися [26].

*Грубі похибки.* Перш за все, під час математичної обробки результатів вимірювань не слід ураховувати свідомо неправильні результати, або, як кажуть, результати, що містять грубі похибки. Грубі похибки виникають через порушення основних умов вимірювання або внаслідок недогляду експериментатора (наприклад, при поганому освітленні замість «3» записують «8»). При виявленні грубої похибки результат вимірювання слід одразу відкинути, а саме вимірювання повторити (якщо це можливо). Зовнішньою ознакою результату, що містить грубу похибку, є його різка відмінність за величиною від результатів останніх вимірювань. На цьому основанні деякі критерії виключення грубих похибок за їх величиною, але надійнішим і

ефективнішим способом вилучення неправильних результатів залишається їх бракування в процесі самих вимірювань.

**Систематичні похибки.** Це похибки вимірювання, які викликані великою кількістю різноманітних причин (факторів). Іноді в проведеній серії вимірювань удається виділити такі причини похибок, ефект дії яких може бути розрахований. Наприклад, якщо після вимірювань виявлене помилкове регулювання приладу, що призвело до зміщення початку відліку, то всі зняті показання будуть зміщені або на постійну величину, якщо шкала приладу рівномірна, або на величину, що змінюється за деяким законом, якщо шкала приладу нерівномірна. Іншим прикладом можуть служити зміни зовнішніх умов, наприклад, температури, якщо відомий вплив цих змін на результати вимірювань. До перелічених причин можна також віднести деяку недосконалість вимірювальних приладів на межі області їх застосування, що викликає відомі похибки.

Зазвичай кажуть, що кожний з цих факторів викликає *систематичну похибку*. Виявлення систематичних похибок, викликаних кожним окремим фактором, потребує спеціальних досліджень (наприклад, вимірювань однієї і тієї величини різними методами або вимірювання одним приладом деяких еталонів, що мають відомі величини). Але як тільки систематичні похибки виявлені та їх величини розраховані, вони можуть бути легко виправлені шляхом уведення відповідних поправок у результати вимірювання. Підкреслимо, що при цьому загальна похибка кожного результату залишається невідомою, оскільки мова йде не про виокремлення із загальної похибки деякої частини у вигляді систематичної похибки, а лише про введення поправок на відомий ефект дії тих факторів, які вдалося виявити.

**Випадкові похибки.** Це такі похибки вимірювань, які залишаються після виключення всіх виявлених систематичних похибок, тобто похибки результатів вимірювань, виправлених шляхом уведення відповідних поправок. *Випадкові похибки* зумовлені великою кількістю таких факторів, ефект дії яких настільки незначні, що їх не можна виокремити та врахувати окремо (за даного рівня техніки та точності вимірювань). Випадкову похибку можна розглядати як сумарний ефект дії таких факторів. Випадкові похибки не можна виключити з кожного із результатів вимірювань. Але за допомогою методів теорії ймовірності можна врахувати їх вплив на оцінку істинного значення вимірюваної величини, що дозволяє визначити значення вимірюваної величини зі значно меншою похибкою, ніж це будуть похибки окремих вимірювань. Облік впливу випадкових похибок на результати аналізу базується на законах їх розподілу.

### 2.2.2. Імовірнісні характеристики похибки вимірювання

Відносна частота попадання в зазначений інтервал при достатньо великому числі вимірів виявляється близькою до постійного числа (зрозуміло, є своєю для кожного інтервалу). Ця обставина дозволяє для вивчення випадкових похибок вимірювання так само, як і самих результатів вимірювань застосувати методи теорії ймовірностей. У теоретико-ймовірнісній моделі випадкові помилки визначаються як  $z = x - a$  (а значить, і самі результати вимірювання

$x = a + z$ ) і розглядаються як випадкові величини, що можуть приймати будь-які дійсні значення, причому кожному інтервалу  $(z_1, z_2)$  відповідає цілком певне число, зване ймовірністю попадання випадкової величини  $z$  у цей інтервал і позначене як  $P(z_1 < z < z_2)$  або  $P(z \in (z_1; z_2))$ . Ця ймовірність і буде ідеалізованою відносною частотою попадання в інтервал  $(z_1; z_2)$ , тобто на практиці саме до цієї ймовірності близькі відносні частоти:

$$\frac{m}{n} \approx P(z_1 < z < z_2), \quad (2.1)$$

де  $m$  – кількість значень, що входять у зазначений інтервал;  $n$  – загальна кількість значень.

Правило, що дозволяє для будь-яких інтервалів  $(z_1; z_2)$  визначати ймовірності  $P(z_1 < z < z_2)$ , називається *законом розподілу ймовірностей* випадкової величини  $z$ . У всіх задачах, що розглядаються в цьому курсі лекцій, закон розподілу записується за допомогою інтеграла, тобто

$$P(z_1 < z < z_2) = \int_{z_1}^{z_2} p(z) \cdot dz, \quad (2.2)$$

де  $p(z)$  – деяка невід'ємна функція, нормована умовою

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(z) \cdot dz = 1. \quad (2.3)$$

Ця функція повністю визначає відповідний закон розподілу ймовірностей і називається *щільністю розподілу*.

За закон розподілу випадкових помилок вимірювання найчастіше приймається *нормальний закон розподілу* (закон Гаусса). Тоді щільність нормального закону розподілу запишеться так:

$$p(z) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-z^2/(2\sigma^2)}, \quad (2.4)$$

де параметр  $\sigma$  ( $\sigma > 0$ ) характеризує точність вимірювань. Графік щільності розподілу ймовірностей *називається кривою розподілу*. На рис. 2.2.1 наведені криві нормального закону розподілу при різних значеннях  $\sigma$ .

З цього рисунку видно, що при зменшенні параметра  $\sigma$  крива нормального закону розподілу стискується вздовж осі  $z$  і витягується вздовж осі  $p(z)$ , і, отже, чим менше  $\sigma$ , тим швидше зменшується щільність розподілу  $p(z)$  зі зростанням  $|z|$ . Імовірність попадання в інтервал  $(z_1; z_2)$  графічно зображується площею, що відповідає криволінійній трапеції під кривою розподілу ймовірностей. Зокрема, імовірність попадання в інтервал,

симетричний  $[-z_1; z_1]$  ( $z_1 > 0$ ), зображується площею фігури, заштрихованої на рис. 2.2.2. Звідси також випливає, що чим менше  $\sigma$ , тим менший розкид помилок коло нуля.

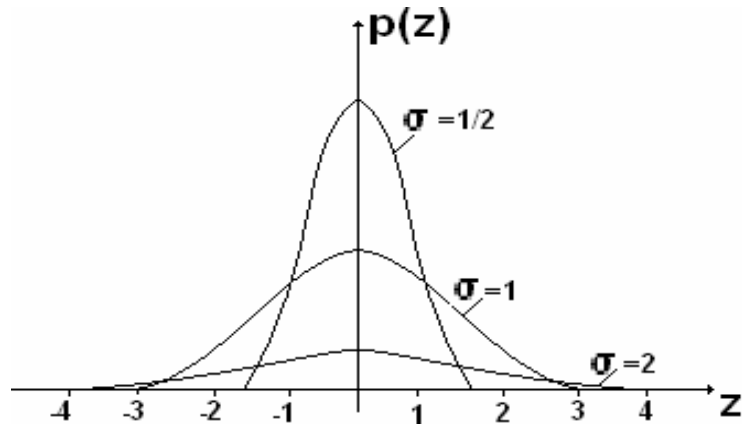


Рис.2.2.1. Криві нормального закону розподілу

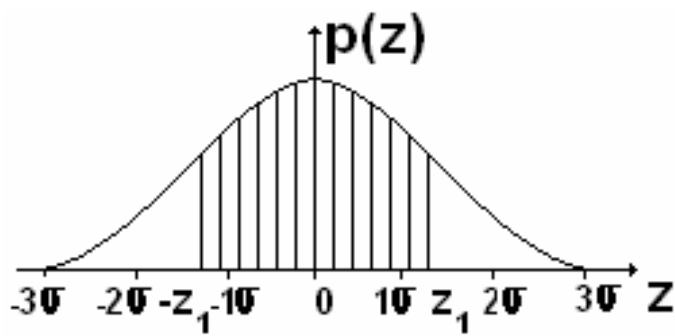


Рис.2.2.2. Крива розподілу ймовірностей

Імовірність попадання випадкової помилки в симетричний інтервал  $[-z_1; z_1]$  при нормальному законі розподілу обчислюється за формулою

$$P(-z_1 < z < z_2) = P(|z| < z_1) = 2\Phi(z_1 / \sigma), \quad (2.5)$$

де

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} \cdot dt = \frac{1}{2} P(|z| < t \cdot \sigma). \quad (2.6)$$

$t > 0$

Функція  $\Phi(t)$  називається інтегралом ймовірностей, її значення наведені в таблицях (табл.4 додатка). У цих таблицях функція  $\Phi(t)$  наводиться тільки для позитивних значень аргументу; для від'ємних значень аргументу вона буде непарною, тобто

$$\Phi(-t) = -\Phi(t).$$

Вірогідність попадання випадкової помилки в будь-який інтервал  $(z_1; z_2)$  у разі нормального закону розподілу

$$P(z_1 \leq z < z_2) = \Phi(z_2 / \sigma) - \Phi(z_1 / \sigma). \quad (2.7)$$

Нарешті, імовірність того, що випадкова помилка вийде за межі  $\pm t\sigma$  ( $t > 0$ ), запишеться так:

$$P(|z| > t\sigma) = 1 - 2\Phi(t). \quad (2.8)$$

Для зручності розрахунків значення ймовірності  $1 - 2\Phi(t)$  при  $t > 2,5$  наведені в (табл.4 додатка). Тут також наведені значення оберненої функції  $t = t(P)$ , для якої  $1 - P = 1 - 2\Phi(t)$ , тобто  $P = 2\Phi(t)$ . При великих значеннях  $t$  імовірність (2.8) дуже мала. Наприклад,

$$P(|z| > 3\sigma) = 1 - 2\Phi(3) = 0,0027;$$

$$P(|z| > 4\sigma) = 1 - 2\Phi(4) = 6 \cdot 10^{-6};$$

$$P(|z| > 5\sigma) = 1 - 2\Phi(5) = 6 \cdot 10^{-7}.$$

Зрозуміло, що ймовірність виходу за трисигмові межі настільки мала, що вихід випадкової похибки вимірювання за трисигмові межі вважають практично неможливим (правило трьох сигм). Іншими словами, приймається, що випадкові похибки вимірювання обмежені за абсолютною величиною значенням  $3\sigma$  (хоча розглянута математична модель припускає в принципі будь-які значення похибок).

**Примітка:** нормальний закон розподілу випадкових похибок зазвичай непогано узгоджується з дослідними даними, що може бути підтверджено шляхом вимірювань відомих величин (еталонів), коли можна точно підрахувати величини похибок. Зокрема, нормальний закон розподілу відображає відомі властивості симетрії випадкових похибок (випадкові похибки різних знаків спостерігаються приблизно однаково часто) і властивість концентрації (малі за абсолютною величиною випадкові помилки спостерігаються частіше, ніж великі).

У розглянутому матеріалі більшість висновків зроблено з припущенням, що закон розподілу випадкових помилок є нормальним (або досить близьким до нього). Якщо в деякій задачі виникає сумнів щодо нормальності закону розподілу випадкових похибок (наприклад, якщо випадкові похибки виходять за трисигмові межі або якщо порушується симетрія їх розподілу), то результати вимірювання слід піддати обробці, пов'язаній із застосуванням критеріїв відповідності (наприклад, критерію  $\chi^2$ ).

Якщо випадкові помилки  $z$  мають нормальний закон розподілу зі щільністю (2.4), то розподіл результатів вимірювання  $x = a + z$  має щільність

$$\varphi_{a,\sigma}(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-(x-a)^2/(2\sigma)^2}, \quad (2.9)$$

яка тільки зсувом на величину  $a$  відрізняється від щільності (2.4).

Цей закон розподілу називається загальним нормальним законом із центром  $a$ . Щільність (2.4) може бути записана як  $\varphi_{0,\sigma}$ . Для випадкових помилок завжди передбачається, що центр їх розподілу дорівнює нулю [26].

### 2.2.3. Методи виключення грубих похибок

Виникнення підозри щодо появи грубої похибки має бути відразу перевірено, але, якщо це не буде зроблено своєчасно (не перевірена можливість порушення умов вимірювання), то питання можливості появи грубої похибки та «бракування» цього результату вимірювання вирішується шляхом порівняння з результатами інших вимірювань. Такий підхід застосовується у припущенні, що всі вимірювання проводяться з однією точністю незалежно одне від одного.

Можливі варіанти, коли величина  $\sigma$  заздалегідь відома і коли невідома.

**Метод виключення грубої похибки при відомому середньоквадратичному відхиленні  $\sigma$ .**

Позначимо значення, що виходить за межі, як  $x_*$ , а всі інші результати вимірювання – як  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Тоді середнє арифметичне значення

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n},$$

а відхилення

$$t = \frac{|x_* - \bar{x}|}{\sigma \sqrt{\frac{n-1}{n}}}. \quad (2.10)$$

Імовірність того, що похибка вийде за межі  $\pm t\sigma$  і буде дорівнювати  $1-2\Phi(t)$ , може бути визначена за табл.3 додатка. Це буде ймовірністю того, що відношення (2.10) випадково прийме значення не менше від  $t$  за умови, що значення  $x_*$  не має грубої похибки (тобто похибка результату  $x_*$  тільки випадкова). Якщо ж розрахована в такий спосіб імовірність виявиться занадто малою, то значення, що виходить за межі, містить грубу похибку і його слід виключити з подальшої обробки результатів вимірювання. Яку саме



ймовірність уважати занадто малою, залежить від конкретних умов розв'язуваної задачі.

У випадку призначення занадто низького рівня малих імовірностей грубі похибки можуть залишитися, а дуже високого рівня – можна виключити результати з випадковими похибками, які необхідно врахувати для правильної обробки результатів вимірювань.

Тому зазвичай використовують один із трьох рівнів  $\alpha$  малих імовірностей:

- 5% – вий рівень (виключаються похибки, імовірність появи яких менша за 0,05);
- 1% – вий рівень (виключаються похибки, імовірність появи яких менша за 0,01);
- 0,1% – вий рівень (виключаються похибки, імовірність появи яких менша за 0,001).

При вибраному рівні  $\alpha$  значення  $x_*$ , яке виходить за межі, вважають таким, що містить грубу похибку, якщо для відповідного  $t$  з рівняння (2.10) імовірність  $1 - 2\Phi(t) < \alpha$ . Для підкреслення ймовірнісного характеру цього висновку кажуть, що значення  $x_*$  містить грубу похибку при надійності висновку  $P = 1 - \alpha$ .

Значення  $t = t(P)$ , для якого  $1 - 2\Phi(t) = \alpha$  і  $2\Phi(t) = P$ , називається *критичним значенням*  $t$  при надійності  $P$ .

Так, наприклад, при  $\alpha = 0,01$  і  $P = 0,99$ , далі за таблицею знаходимо, що

$$t = t(P) = 2,576.$$

Як тільки величина  $t$ , розрахована за виразом (2.10), перевищить це значення, то з надійністю  $P = 0,99$  можемо вважати значення  $x_*$  грубою похибкою.

**Метод виключення грубої похибки при невідомому середньоквадратичному відхиленні  $\sigma$ .**

1. Замість  $\sigma$  приймають так званий *емпіричний стандарт*

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2.11)$$

2. Після цього розраховують значення  $t$  за такою формулою:

$$t = \frac{|x_* - \bar{x}|}{S}. \quad (2.12)$$

3. За таблицею порівнюють значення  $t$  з критичними значеннями  $t_n(P)$ .

Якщо при даному числі  $n$  задовільних результатів розраховане  $t$  виявиться між двома критичними значеннями з надійностями  $P_1$  і  $P_2$  ( $P_2 > P_1$ ), то з надійністю висновку, більшою за  $P_1$ , можна вважати, що значення  $x_*$  містить грубу похибку і його треба виключити з подальшої обробки результатів.

**Приклад.**

$$\bar{x} = 6,5;$$

$$x_* = 6,866;$$

$$S = 0,133.$$

Тоді

$$t = \frac{6,866 - 6,5}{0,133} = \frac{0,366}{0,133} = 2,75.$$

Для  $n = 40$  і  $P_1 = 0,99$  за таблицею знаходимо, що  $t_1 = 2,742$ , тобто можна стверджувати, що з надійністю 0,99 і більше можна виключити  $x_*$  з подальшої обробки даних.

Для  $n = 6$  і  $P_1 = 0,95$  отримаємо  $t_1 = 2,78$ , тобто  $t < t_1$ , отже,  $x_*$  не слід виключати.

### Контрольні питання

1. Яка існує класифікація похибок вимірювань?
2. Які похибки називаються випадковими?
3. Які похибки називаються грубими?
4. Які похибки називаються систематичними?
5. Як можна врахувати вплив похибок вимірювання на оцінку значення досліджуваної величини?
6. За яким законом зазвичай розподіляються ймовірності випадкових похибок?
7. Що розуміють, коли говорять правило трьох сигм?
8. Яку функцію називають інтегралом ймовірностей?
9. Які існують методи виключення грубих помилок?
10. Порядок виключення грубої похибки при відомій  $\sigma$ .
11. Які існують рівні малих ймовірностей?
12. Порядок виключення грубої похибки при невідомій  $\sigma$ .

## 2.3. ПАРАМЕТРИ ДОСЛІДЖУВАНИХ ЧИННИКІВ

### 2.3.1. Перевірка нормальності розподілу ймовірностей значень досліджуваних чинників

Для визначення правомірності застосування методів математичної статистики до аналізу отриманих даних перевіряють гіпотезу про нормальний розподіл ймовірностей їхніх значень.

Перевірку можна здійснити за критеріями Колмогорова,  $\chi^2$ ,  $\omega^2$  або за допомогою значень параметрів асиметрії та ексцесу. На практиці найчастіше застосовують саме останні засоби [28].

Асиметрія застосовується для характеристики асиметричності кривої розподілу й обчислюється за такою формулою:

$$S_k = \frac{\mu_3}{\sigma^3}. \quad (2.13)$$

Ексцес характеризує криву розподілу з гострою або тупою вершиною і знаходиться так:

$$E_x = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3. \quad (2.14)$$

Для оцінки асиметрії та ексцесу за методом моментів використовують такі формули:

$$\tilde{S}_k = \frac{m_3}{s^3}; \quad \tilde{E}_x = \frac{m_4}{s^4} - 3, \quad (2.15)$$

де  $m_3$  та  $m_4$  – вибіркові центральні моменти 3– та 4-го порядків;  $s^3$ ,  $s^4$  – відповідно оцінки середнього квадратичного відхилення 3– та 4-го ступенів.

$$m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^3; \quad m_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^4;$$

$$S^3 = \left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2} \right)^3; \quad S^4 = \left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2} \right)^4.$$

Для розподілів оцінок  $\tilde{S}_k$  та  $\tilde{E}_x$  створені таблиці (табл.2 додатка 1), в яких наведені критичні значення  $S_{k\alpha}$  та  $E_{x\alpha}^-$ ,  $E_{x\alpha}^+$  для  $\alpha = 0,01; 0,05$ . Гіпотеза про нормальність розподілу відкидається, якщо

$$\left| \tilde{S}_k \right| > \left| S_{k\alpha} \right|, \quad \tilde{E}_x < E_{x\alpha}^- \quad \text{або} \quad \tilde{E}_x > E_{x\alpha}^+;$$

при цьому застосовується та сама умова, що і для нормального закону розподілу, а саме:

$$M[\tilde{S}_k] = 0; \quad M[\tilde{E}_x] = 0.$$

**Приклад.** Перевіримо на нормальність розподілу набір значень параметра  $A$ .

$$S_{k_A} = -0,11;$$

$$E_{x_A} = 1,68.$$

Для  $n = 60$  та рівня значущості  $\alpha = 0,01$   $S_{k_\alpha} = 0,723$ ,  $E_{x\alpha}^- = -1,05$ ,  $E_{x\alpha}^+ = 1,92$ , тобто у даному випадку

$$\left| \tilde{S}_k \right| < \left| S_{k_\alpha} \right|, \quad E_{x\alpha}^- < \tilde{E}_x < E_{x\alpha}^+.$$

Отже, гіпотеза про нормальний закон розподілу значень параметра  $A$  приймається, що свідчить про правомірність застосування методів математичної статистики для цього параметра.

### 2.3.2. Визначення довірчих інтервалів

При нормальному законі розподілу за значенням одного зі спостережень вибірки  $x_i$ , знаючи її стандарт  $\sigma$ , можна визначити довірчий інтервал, у межах якого з вірогідністю  $p$  знаходяться значення випадкової величини  $X$  (генеральний параметр  $\theta$ ).

Наприклад, маючи ряд значень вимірів енергоспоживання установки з нормальним законом розподілу, можемо розрахувати стандарт вибірки  $\sigma$  і визначити інтервал можливих значень енергоспоживання установки з урахуванням існуючих умов її роботи. Така інформація корисна для попереднього прогнозу і контролю поточних значень споживання енергії, кількості продукції та ін.

Вибіркові параметри можуть розглядатися як наближені оцінки для відповідних генеральних параметрів. Похибка цієї оцінки характеризується поняттями: довірка вірогідність, довірчий інтервал (довірка оцінка).

Довірчий інтервал генерального параметра  $\theta$  за одним зі спостережень вибірки  $x_i$  має вигляд

$$x_i - \varepsilon \leq \theta \leq x_i + \varepsilon, \quad (2.16)$$

де  $\varepsilon$  – оцінка абсолютного відхилення.

При обробці спостережень як межі довірчого інтервалу найчастіше використовують так звані квантильні межі.

Квантиль  $v$  – це таке значення випадкової величини  $X$ , при якому  $P\{x < v\} = p$ . Квантилі стандартного нормального розподілу (тобто розподіли із середніми значеннями параметрів з  $a = 0$ ,  $\sigma = 1$ ) позначаються як  $u$ ; їх значення наведені в табл. 5 додатка 1.

Квантиль  $v$  загального нормального розподілу з математичним сподіванням  $a$  і стандартом  $\sigma$  виражається через квантиль  $u$  стандартного розподілу, тобто

$$v = a + \sigma \cdot u. \quad (2.17)$$

При відомій вірогідності  $p$  квантилі знаходяться в таких межах:

$$v_{\frac{1-p}{2}} \leq \theta \leq v_{\frac{1+p}{2}}, \quad (2.18)$$

де  $v_{\frac{1-p}{2}}, v_{\frac{1+p}{2}}$  – квантилі загального нормального закону розподілу, які визначаються за формулою (2.17).

Графічно ці межі показані на кривій щільності розподілу величини  $X$  (рис. 2.3.1). Межі  $v_{\frac{1-p}{2}}, v_{\frac{1+p}{2}}$  знаходяться на однаковій відстані від початку координат і відтинають площу, відповідну заданій вірогідності  $p$ .

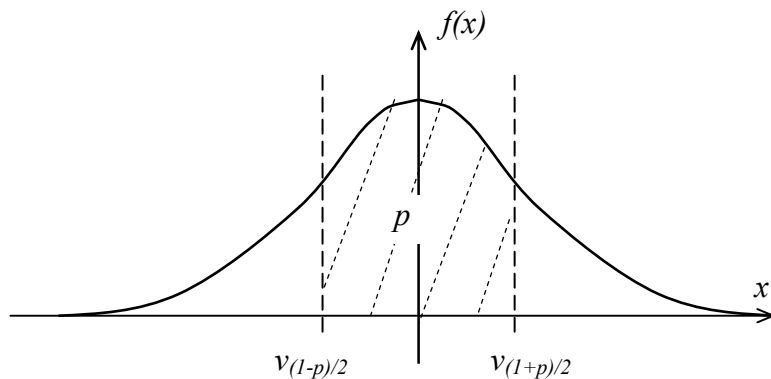


Рис. 2.3.1. Графічне зображення квантилів на кривій щільності розподілу випадкової величини

### Приклад.

Для сукупності значень параметрів, що характеризують енергоспоживання, з нормальним законом розподілу та стандартом  $\sigma = 0,9$  за величиною одного з вимірів  $x_i = 12,5$  необхідно знайти довірчий інтервал з вірогідністю 0,95.

Довірчий інтервал шукатимемо за виразом (2.18). Для вірогідності 0,95 запишемо, що

$$v_{0,025} \leq \theta \leq v_{0,975}.$$

Оскільки обчислення проводяться відносно вимірюваного значення  $x_i$ , то кожна з меж інтервалу згідно з формулою (2.17) може бути визначена так:

$$v_{0,025} = x_i + \sigma \cdot u_{0,025} = 12,5 + 0,9 \cdot (-1,96) = 10,736;$$

$$v_{0,975} = x_i + \sigma \cdot u_{0,025} = 12,5 + 0,9 \cdot 1,96 = 14,264.$$

Тоді довірчий інтервал величини енергоспоживання з вірогідністю 0,95 буде знаходитися в таких межах:

$$10,736 \leq \theta \leq 14,264.$$

### 2.3.3. Показники точності вимірювання

Параметр  $\sigma$  називається *середньою квадратичною помилкою вимірювання* (стандартною помилкою або просто стандартом).

Квадрат величини  $\sigma$  називається *дисперсією помилки*.

Іноді застосовуються й інші показники точності вимірювань.

Імовірнісна помилка

$$\rho = 0,6745\sigma; 2\Phi(\rho) = 0,5. \quad (2.19)$$

Середня абсолютна помилка

$$v = \int_{-\infty}^{\infty} |z| p(z) dz = \sigma \frac{2}{\sqrt{2\pi}} = 0,7979\sigma. \quad (2.20)$$

Міра точності

$$h = \frac{1}{\sigma\sqrt{2}} = 0,7071 \frac{1}{\sigma}. \quad (2.21)$$

### 2.3.4. Генеральна сукупність та вибірка

*Генеральною сукупністю* називається скінчена або нескінчена загальна кількість однорідних елементів, кожен з яких може відповідати або не відповідати деякій якісній ознаці (або ознакам), або мати якесь значення кількісної ознаки (або ознак).

У разі якісної ознаки об'єктом вивчення є *дискретна випадкова величина* – число елементів, що мають однакову ознаку.

Якщо ознака кількісна, то об'єктом вивчення може бути *безперервна випадкова величина*.

Закон розподілу досліджуваної ознаки у генеральній сукупності називається *генеральним розподілом*, а його параметри – *генеральними параметрами*.

Зазвичай вивчити всю генеральну сукупність практично неможливо, і тому про неї формується приблизне уявлення за даними вибірки.

*Вибіркою* називається група елементів, відібраних при випробуваннях з генеральної сукупності при дотриманні принципу випадковості вибору. При цьому передбачається, що ймовірність бути вибраним при випробуваннях однакова для всіх елементів генеральної сукупності. Ця умова забезпечує *показність (репрезентативність) вибірки*.

Вибірка називається *повторною*, якщо після реєстрації вибраний елемент повертається до складу генеральної сукупності, в іншому випадку вибірка

називається *неповторною*. Для нескінченної генеральної сукупності неповторна вибірка збігається з повторною. Число елементів  $n$ , що входять у вибірку, називається *обсягом вибірки*.

Прикладом вибірки з нескінченної генеральної сукупності є результати незалежних дослідів, проведених в однакових умовах. При цьому мається на увазі принципова можливість нескінченного повторення цих дослідів.

Вибіркові значення  $x_i$  досліджуваної ознаки іноді зручно розглядати як набір незалежних екземплярів  $n$  однієї й тієї самої випадкової величини  $X$ , тобто як сукупність  $n$  незалежних однаково розподілених випадкових величин.

Розподіл ознаки, що вивчається у вибірці, називається *вибірковим розподілом*.

Вибірковий розподіл будь-якої випадкової величини подібний розподілу дискретної випадкової величини, але тільки з тією різницею, що ймовірності можливих значень замінені їх частотами у вибірці; при цьому частота кожного вибіркового значення дорівнює  $1/n$ .

Існує так звана *теорема Гливенка*, яка доводить, що при  $n \rightarrow \infty$  вибіркового розподілу як завгодно мало відрізняється від генерального.

Таблиця, в якій вибіркові значення досліджуваної ознаки розташовані у порядку зростання, називається *варіаційним рядом*.

При великому обсязі вибірки весь діапазон вибірових значень розбивається на розряди (інтервали) і підраховується кількість  $m_i$  значень, що потрапили в інтервал  $\{x_{i-1}, x_i\}$  з номером  $i$ . Ця кількість називається *чисельністю розряду*.

При цьому обчислюють величину, яку називають *частотою розряду*:

$$p_i^* = \frac{m_i}{n} . \quad (2.22)$$

Графік, на якому для кожного розряду побудований прямокутник, площа якого пропорційна частоті розряду  $p_i^*$ , називається *гістограмою* (рис.2.3.2).

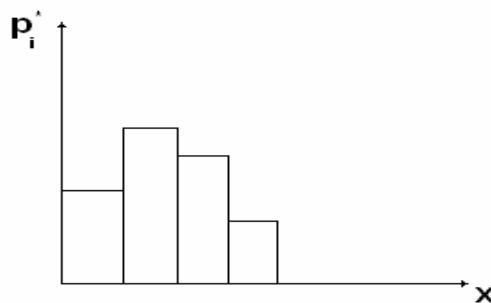


Рис.2.3.2. Приклад гістограми

### Контрольні питання

1. Які існують методи перевірки нормальності розподілу ймовірностей значень випадкової величини?
2. Що називається асиметрією? Як розрахувати її та її оцінку?

3. Що називається ексцесом? Як розрахувати його та його оцінку?
4. Як розраховується довірчий інтервал генерального параметра  $\theta$  за одним із спостережень вибірки?
5. Що таке квантиль розподілу, як визначити його величину?
6. Які існують показники точності вимірювань?
7. Що таке генеральна сукупність?
8. Що закладено в поняття «вибірка».

## 2.4. ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ

*Дисперсійний аналіз* — це область математичної статистики, в якій на основі дослідження дисперсії вивчається вплив змінного фактора або групи факторів на випадкову величину (результативний фактор). При цьому вважається, що випадкова величина  $X$  розподілена нормально та її дисперсія стала при всіх можливих значеннях фактора (або факторів), що нас цікавлять; значення дисперсії  $\sigma^2$  зазвичай відоме. Вплив змінного фактора (або факторів) може відзначатися тільки на значенні математичного сподівання випадкової величини. Основним інструментом при дослідженні є критерій Фішера  $F$ , який ще називається *критерієм відношення дисперсій* [28].

Порівняння математичних сподівань при двох значеннях деякого фактора (для двох вибірок) виконують за допомогою подвійного критерію Стьюдента. Дисперсійний аналіз дозволяє порівнювати математичні сподівання для будь-якого числа незалежних вибірок.

Вплив одного фактора спостерігається, наприклад, при вимірюванні деякої фізичної величини кількома приладами або при дослідженні дії кількох різних каталізаторів на вихід кінцевого продукту заданої хімічної реакції. У цьому випадку різні прилади являють собою різні рівні деякого фактора (аналогічно різні каталізатори). Прикладом сумісного впливу двох факторів може бути використання кількох типів приладів у кожній з кількох лабораторій. У випадку дії двох (або більше) факторів привертає увагу не тільки вплив кожного окремого фактора, але й вплив їхньої взаємодії.

Далі розглянемо найбільш прості та водночас найбільш важливі варіанти дисперсійного аналізу.

### 2.4.1. Однофакторний дисперсійний аналіз

Розглянемо вплив одного фактора  $A$  (класифікація за однією ознакою). Нехай кількість значень (рівней) фактора дорівнює  $l$ , тобто розглядається  $l$  вибірок, причому  $i$ -та вибірка відповідає значенню  $A_i$  фактора  $A$ . При однофакторному аналізі можуть бути розглянуті два випадки:

- а) коли всі вибірки мають однакові обсяги;
- б) коли всі вибірки мають різні обсяги.



**Випадок, коли всі вибірки мають однакові обсяги**

Вважаємо спочатку для спрощення, що обсяги всіх вибірок однакові та дорівнюють  $n$ . Таким чином, усього маємо  $l$  елементів, тобто  $x_{ij}$  ( $i= 1, 2, \dots, l$ ;  $j= 1, 2, \dots, n$ ).

Позначимо через  $\bar{x}_i$  середнє арифметичне зі значень  $x_{ij}$  для  $i$ -ї вибірки, а через  $\bar{x}$  – загальне середнє арифметичне. Запишемо:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}; \tag{2.23}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \bar{x}_i = \frac{1}{l \cdot n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij}.$$

Розглянемо загальну оцінку дисперсії  $\tilde{\sigma}^2$ , яка вважається однаковою для всіх вибірок і розраховується на базі всіх отриманих даних:

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{1}{l \cdot n - 1} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2. \tag{2.24}$$

Перетворимо суму, що входить до виразу (2.24), додавши та віднявши величину  $\bar{x}_i$  під знаком суми в другому члені правої частини, тобто

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2 &= \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i + \bar{x}_i - \bar{x})^2 = \\ &= \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)(\bar{x}_i - \bar{x}) + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x})^2. \end{aligned}$$

Розглянемо цей вираз частинами.

$$2 \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)(\bar{x}_i - \bar{x}) = 2 \sum_{i=1}^l (\bar{x}_i - \bar{x}) \cdot \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i) = 0,$$

оскільки

$$\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i) = \sum_{j=1}^n x_{ij} - n \cdot \bar{x}_i = 0.$$

Враховуючи, що

$$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = n \sum_{i=1}^l (\bar{x}_i - \bar{x})^2,$$

запишемо

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (2.25)$$

де

$$\left. \begin{aligned} Q &= \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^r (x_{ij} - \bar{x})^2; \\ Q_1 &= n \cdot \sum_{i=1}^l (\bar{x}_i - \bar{x})^2; \\ Q_2 &= \sum_{i=1}^l (x_{ij} - \bar{x}_i)^2. \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

Величина  $Q_1$  є сумою квадратів різниць між середніми  $\bar{x}_i$  окремих вибірок і загальним середнім  $\bar{x}$ , а тому називається *сумою квадратів відхилень між групами*. Величина  $Q_2$  є сумою квадратів різниць між окремими значеннями  $x_{ij}$  та середнім відповідної вибірки, а тому називається *сумою квадратів відхилень усередині груп*.

Величина  $Q_1$  характеризує розсіювання за фактором  $A$ , а  $Q_2$  – залишкове розсіювання внаслідок випадкових причин. Величина  $Q$  називається *повною сумою квадратів*.

Перевіримо гіпотезу ( $H_0: m_1 = m_2 = \dots = m_l = m$ ) про рівність математичних сподівань. За гіпотезою  $H_0$  усі  $l \cdot n$  елементів вибірки  $x_{ij}$  можна розглядати як вибірку однієї й тієї самої нормальної сукупності. Тоді

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{Q}{l \cdot n - 1} \quad (2.27)$$

є незміщеною оцінкою дисперсії  $\tilde{\sigma}^2$ , а  $\frac{Q}{\sigma^2}$  має  $\chi^2$  – розподіл з  $k = l \cdot n - 1$  ступенями вільності.

Величини  $x_{ij}$  мають нормальний закон розподілу з математичним сподіванням  $m$  і дисперсією  $\sigma^2/n$ , тому вираз

$$\frac{1}{l-1} \sum_{i=1}^l (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = \frac{Q_1}{n(l-1)}$$

є незміщеною оцінкою для дисперсій  $\sigma^2/n$  і має вигляд

$$\tilde{\sigma}_1^2 = \frac{Q_1}{l-1} \quad (2.28)$$

де  $\tilde{\sigma}_1^2$  – незміщена оцінка дисперсії  $\tilde{\sigma}^2$ , а величина  $Q_1/\sigma^2$  має  $\chi^2$  – розподіл з  $k_1 = l - 1$  ступенями вільності.

Величина  $\tilde{\sigma}_0^2$  також є незміщеною оцінкою дисперсії, отриманою за всіма вибірками й обчисленою за такою формулою:

$$\tilde{\sigma}_0^2 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \sigma_i^2 = \frac{Q_2}{l(n-1)}. \quad (2.29)$$

Величина  $Q_2/\sigma^2$  також має  $\chi^2$  – розподіл з  $k_2 = l(n-1)$  ступенями вільності.

Повернемося до питання про перевірку гіпотези  $H_0$ . Якщо вона підтверджується, то величини  $\sigma_1^2$  та  $\sigma_0^2$  являють собою незміщені оцінки дисперсії  $\sigma^2$ , а величина

$$F_{\text{розр}} = \frac{\tilde{\sigma}_1^2}{\tilde{\sigma}_0^2} \quad (2.30)$$

має розподіл Фішера зі ступенями вільності  $k_1 = l - 1$  і  $k_2 = l(n - 1)$ . За рівнем малих ймовірностей (рівнем значущості)  $\alpha$  та ступенями вільності  $k_1$  і  $k_2$  з табл. 1 додатка знаходимо критичне значення  $F_{\text{кр}}$  статистики Фішера.

Гіпотеза  $H_0$ , яка висувається про рівність математичних сподівань усіх вибірок, виявляється правильною, якщо виконується умова

$$F_{\text{розр}} < F_{\text{кр}}.$$

У такому випадку вплив фактора  $A$  – незначний. Якщо ж

$$F_{\text{розр}} > F_{\text{кр}},$$

то дисперсії значно відрізняються, тобто вплив фактора  $A$  – значний, математичні сподівання всіх вибірок різні і гіпотеза  $H_0$  не підтверджується.

Для спрощення розрахунків без використання сучасної обчислювальної техніки рекомендується застосовувати співвідношення, які наведені нижче.

### **Розрахункові формули для однофакторного дисперсійного аналізу**

Перетворимо вирази для розрахунку величин  $Q$ ,  $Q_1$  і  $Q_2$  до зручного вигляду. Для цього приймаємо, що

$$X_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}.$$

**Випадок, коли вибірки мають рівні обсяги:**

$$\begin{aligned}
 Q &= \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2 = \sum \sum (x_{ij}^2 - 2x_{ij}\bar{x} + \bar{x}^2) = \\
 &= \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - 2\bar{x} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} + l \cdot n \cdot \bar{x}^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - l \cdot n \cdot \bar{x}^2
 \end{aligned}$$

$$\rightarrow Q = R_1 - R_3,$$

де

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij}^2; \\
 R_3 &= l \cdot n \cdot \bar{x}^2 = l \cdot n \left( \frac{1}{l \cdot n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \right)^2 = \frac{1}{l \cdot n} \left( \sum_{i=1}^l X_i \right)^2.
 \end{aligned}$$

Аналогічно запишемо, що

$$Q_1 = R_1 - R_2; \quad Q_2 = R_2 - R_3;$$

$$R_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l X_i^2.$$

Тоді оцінки дисперсій запишуться так:

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{R_1 - R_3}{l \cdot n - 1}; \tag{2.31}$$

$$\tilde{\sigma}_0^2 = \frac{R_1 - R_2}{l \cdot (n-1)}; \tag{2.32}$$

$$\tilde{\sigma}_1^2 = \frac{R_2 - R_3}{l-1}. \tag{2.33}$$

**Випадок, коли вибірки мають різні обсяги**

Розглянемо однофакторний дисперсійний аналіз для випадку, коли обсяги вибірок за різних значень фактора  $A$  виявляються різними. Позначимо через  $n_i$  обсяг  $i$ -ї вибірки.

При цьому розрахункові співвідношення набувають такого вигляду:

$$R_1 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2;$$

$$R_2 = \sum_{i=1}^l \frac{1}{n_i} X_i^2;$$

$$R_3 = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^l X_i \right)^2;$$

$$N = \sum_{i=1}^l n_i.$$

Тоді оцінки дисперсій запишуться так:

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{R_1 - R_3}{N - 1}; \quad (2.34)$$

$$\tilde{\sigma}_0^2 = \frac{R_1 - R_2}{N - l}; \quad (2.35)$$

$$\tilde{\sigma}_1^2 = \frac{R_2 - R_3}{l - 1}. \quad (2.36)$$

## 2.4.2. Двофакторний дисперсійний аналіз

Двофакторний дисперсійний аналіз – один із найпростіших видів багатofакторного, коли виявляють наявність впливу двох факторних ознак на результативну ознаку, а також наявність впливу їх взаємодії. Залежно від отриманих вихідних даних при проведенні двофакторного аналізу розглядають *два можливих випадки*:

- коли при кожному поєднанні значень двох факторів є тільки один результат дослідження, тобто одне значення результативної ознаки;
- коли при всіх поєднаннях факторів усі вибірки мають однакові обсяги  $n$ .

### *Випадок перший (двофакторний дисперсійний аналіз без повторень)*

Нехай фактори  $A$  та  $B$  приймають значення  $A_1, A_2, \dots, A_l; B_1, B_2, \dots, B_r$  (табл. 2.4.1). Кількість рівней (значень) фактора  $A$  дорівнює  $l$ , а фактора  $B$  –  $r$ . Через  $x_{ij}$  позначено спостереження за  $A = A_i, B = B_j$ , тобто розглядається вибірка, що складається з одного елемента.

Таблиця 2.4.1

Значення результативної ознаки  $x$ 

B \ A	$A_1$	$A_2$	...	$A_i$	...	$A_l$	
$B_1$	$x_{11}$	$x_{21}$	...	$x_{i1}$	...	$x_{l1}$	$X_1'$
$B_2$	$x_{12}$	$x_{22}$	...	$x_{i2}$	...	$x_{l2}$	$X_2'$
...	...	...	...	...	...	...	...
$B_j$	$x_{1j}$	$x_{2j}$	...	$x_{ij}$	...	$x_{lj}$	
...	...	...	...	...	...	...	...
$B_r$	$x_{1r}$	$x_{2r}$	...	$x_{ir}$	...	$x_{lr}$	$X_r'$
	$X_1$	$X_2$				$X_l$	

Позначимо:

$$X_i = \sum_{j=1}^r x_{ij}; \quad X_j' = \sum_{i=1}^l x_{ij}; \quad \bar{x}_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r x_{ij} = \frac{1}{r} X_i; \quad \bar{x}_j' = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l x_{ij} = \frac{1}{l} X_j';$$

$$\bar{x} = \frac{1}{l \cdot r} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^r x_{ij} = \frac{1}{l \cdot r} \sum_{i=1}^l X_i = \frac{1}{l \cdot r} \sum_{j=1}^r X_j' = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \bar{x}_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \bar{x}_j'.$$

Як і при однофакторному аналізі, перевіряється гіпотеза  $H_0: m_{ij} = m = \text{const}$ .Позначимо:  $m_{ij} = M$ . Тоді при  $A = A_i$  та  $B = B_j$ 

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{1}{l \cdot r - 1} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^r (x_{ij} - \bar{x})^2 = \frac{1}{l \cdot r - 1}. \quad (2.37)$$

Подамо величину  $Q$  у такому самому вигляді, як і при однофакторному аналізі, тобто

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (2.38)$$

де

$$Q = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^r (x_{ij} - \bar{x})^2; \quad (2.39)$$

$$Q_1 = r \sum_{i=1}^l (\bar{x}_i - \bar{x})^2; \quad (2.40)$$

$$Q_2 = l \sum_{j=1}^n (\bar{x}'_j - \bar{x})^2; \quad (2.41)$$

$$Q_3 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^r (x_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}'_j + \bar{x})^2. \quad (2.42)$$

Тут  $Q_1$  і  $Q_2$  – суми квадратів різниць між середніми за факторами  $A$  та  $B$ ;  $Q_3$  – залишкова сума квадратів різниць.

Величини  $\frac{Q}{\sigma^2}$ ,  $\frac{Q_1}{\sigma^2}$ ,  $\frac{Q_2}{\sigma^2}$ ,  $\frac{Q_3}{\sigma^2}$  мають  $\chi^2$  – розподіл зі ступенями вільності  $k = l \cdot r - 1$ ;  $k_{1A} = l - 1$ ;  $k_{1B} = r - 1$ ;  $k_2 = (r - 1) \cdot (l - 1)$ .

Незміщену оцінку дисперсії можна отримати у вигляді

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{Q}{k}. \quad (2.43)$$

Для незміщених оцінок дисперсій  $\tilde{\sigma}_{1A}^2$ ,  $\tilde{\sigma}_{1B}^2$  та  $\tilde{\sigma}_0^2$  відповідно до чинників  $A$  та  $B$  запишемо:

$$\tilde{\sigma}_{1A}^2 = \frac{Q_1}{l - 1}; \quad (2.44)$$

$$\tilde{\sigma}_{1B}^2 = \frac{Q_2}{r - 1}; \quad (2.45)$$

$$\tilde{\sigma}_0^2 = \frac{Q_3}{(l - 1)(r - 1)}. \quad (2.46)$$

Якщо гіпотеза  $H_0$  невірна, то  $m_{ij}$  не будуть однаковими.

Для перевірки гіпотези  $H_0$  складаються статистики для критерію Фішера:

$$F_A = \frac{\tilde{\sigma}_{1A}^2}{\tilde{\sigma}_0^2}; \quad F_B = \frac{\tilde{\sigma}_{1B}^2}{\tilde{\sigma}_0^2}. \quad (2.47)$$

Якщо  $F_A > F_{Aкр}$  та  $F_B > F_{Bкр}$ , то вплив факторів  $A$  і  $B$  значущий, а гіпотеза  $H_0$  – невірна.

Аналогічно однофакторному аналізу для двофакторного також можна використати спрощені розрахункові співвідношення.

### ***Розрахункові формули для двофакторного дисперсійного аналізу без повторень***

Позначимо:

$$R_1 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij}^2; \quad R_2 = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^l X_i^2; \quad R_3 = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^r X_j'^2;$$

$$R_4 = \frac{1}{l \cdot r} \left( \sum_{i=1}^l X_i \right)^2 = \frac{1}{l \cdot r} \left( \sum_{j=1}^r X'_j \right)^2.$$

Тоді

$$Q_1 = R_2 - R_4; \quad (2.48)$$

$$Q_2 = R_3 - R_4; \quad (2.49)$$

$$Q_3 = R_1 - R_2 - R_3 + R_4; \quad (2.50)$$

$$\tilde{\sigma}_{1A}^2 = \frac{R_2 - R_4}{l - 1}; \quad (2.51)$$

$$\tilde{\sigma}_{1B}^2 = \frac{R_3 - R_4}{r - 1}; \quad (2.52)$$

$$\tilde{\sigma}_0^2 = \frac{R_1 - R_2 - R_3 + R_4}{(l - 1) \cdot (r - 1)}. \quad (2.53)$$

Якщо виявиться, що  $F_A < F_{критA}$ , то незміщені оцінки  $\tilde{\sigma}_{1A}^2$  та  $\tilde{\sigma}_0^2$  для  $\sigma^2$  можна поєднати, тобто запишемо

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{(l - 1) \cdot \tilde{\sigma}_{1A}^2 + (l - 1) \cdot (r - 1) \cdot \tilde{\sigma}_0^2}{l - 1 + (l - 1) \cdot (r - 1)} = \frac{R_1 - R_3}{r \cdot (l - 1)}. \quad (2.54)$$

Якщо  $F_B < F_{критB}$ , то

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{R_1 - R_2}{l \cdot (r - 1)}. \quad (2.55)$$

Якщо  $F_A < F_{критA}$  та  $F_B < F_{критB}$ , тобто вплив обох факторів незначний, то поєднують усі три величини  $\tilde{\sigma}_{1A}^2$ ,  $\tilde{\sigma}_{1B}^2$ ,  $\tilde{\sigma}_0^2$  і отримують оцінку вигляду

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{R_1 - R_4}{l \cdot r - 1}, \quad (2.56)$$

яка з максимальною кількістю ступеней вільності співпадає з оцінкою, що наведена вище.

Такий аналіз можна використовувати тільки у випадках, коли  $A$  та  $B$  незалежні, тобто на результуючу ознаку не впливає їх взаємодія. Якщо вплив взаємодії двох факторів суттєвий (між ними існує залежність), то необхідно,



щоб вибірка значень результуючої ознаки для кожного поєднання факторів мала обсяг більший за одиницю.

**Випадок другий, коли при всіх поєднаннях факторів вибірки мають однакові обсяги  $n$  (двофакторний аналіз з повтореннями)**

Такий вид дисперсійного аналізу дає можливість не тільки виявити вплив кожного з двох факторів окремо, але й з'ясувати, чи впливає на результуючу ознаку взаємодія цих факторів.

Формування вихідних даних для проведення двофакторного аналізу із повтореннями відрізняється від аналізу без повторень тим, що для кожного поєднання рівнів факторів, вплив котрих вивчається, необхідно мати результати декількох дослідів, тобто експеримент повинен повторюватися для отримання вибірок значень для всіх поєднань факторів.

Розглянемо формування вихідних даних для аналізу, що наведені у табл.2.4.2.

Таблиця 2.4.2

*Вихідні дані для аналізу*

$B \backslash A$	$A_1$	$A_2$	...	$A_i$	...	$A_l$
$B_1$	$x_{111}$					
	...					
	$x_{11k}$					
	...					
	$x_{11n}$					
...	...	...	...	...	...	...
$B_j$				$x_{ij1}$		
...	...	...	...	...	...	...
				$x_{ijk}$		
...	...	...	...	...	...	...
				$x_{ijn}$		
...	...	...	...	...	...	...
$B_r$						$x_{lr1}$
...	...	...	...	...	...	...
						$x_{lrk}$
...	...	...	...	...	...	...
						$x_{lrn}$

Фактор  $A$  має  $l$  рівнів (значень), а фактор  $B$  –  $r$  рівнів (значень). Кожна вибірка для кожного поєднання факторів складається з  $n$  значень.

Позначимо через  $\bar{x}_{i,j}$  – середнє з  $n$  елементів  $x_{ijk}$ . Для кожної вибірки незміщена оцінка дисперсії

$$\tilde{\sigma}_{ij}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2. \quad (2.57)$$

Середнє арифметичне з усіх  $\tilde{\sigma}_{ij}^2$  буде також незміщеною оцінкою дисперсії  $\sigma^2$  зі  $l \cdot r \cdot (n-1)$  ступенями вільності.

$$\tilde{\sigma}_H^2 = \frac{1}{l \cdot r} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^r \tilde{\sigma}_{ij}^2 = \frac{1}{l \cdot r \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2. \quad (2.58)$$

Далі позначимо:

$$X_i = \sum_{j=1}^r \bar{x}_{ij}; \quad X'_j = \sum_{i=1}^l \bar{x}_{ij}; \quad \bar{x}_i = \frac{1}{r} X_i; \quad \bar{x}'_j = \frac{1}{l} X'_j; \quad \bar{x} = \frac{1}{l \cdot r} \sum_{i=1}^l X_i = \frac{1}{l \cdot r} \sum_{j=1}^r X'_j.$$

На розсіювання середніх  $\bar{x}_i$  впливає тільки фактор  $B$  (вплив фактора  $A$  усереднений), на розсіювання середніх  $\bar{x}'_j$  – тільки фактор  $A$ .

На розсіювання середніх  $\bar{x}_{ij}$ , окрім випадкових величин (як і в інших випадках дисперсійного аналізу), впливають фактори  $A$  і  $B$ .

Якщо вважати, що гіпотеза  $H_0$  підтверджується ( $m_{ij} = m \rightarrow \text{const}$ ), то всі вибірки можна об'єднати й отримати незміщену оцінку дисперсії, тобто

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{1}{l \cdot r \cdot n - 1} \cdot \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x})^2 = \frac{Q}{l \cdot r \cdot n - 1}. \quad (2.59)$$

Коли вплив взаємодії факторів  $A$  та  $B$  значний, то оцінка  $\tilde{\sigma}_0^2$ , що характеризує розсіювання середніх  $\bar{x}_{ij}$ , буде значно відрізнятись від незміщеної оцінки  $\tilde{\sigma}_H^2$ . Тоді величина

$$F_{AB} = \frac{\tilde{\sigma}_0^2}{\tilde{\sigma}_H^2}$$

має розподіл Фішера з  $k_1$  та  $k_2$  ступенями вільності:

$$k_1 = (l-1)(r-1); \quad k_2 = lr(n-1),$$

а критичне значення є функцією

$$F_{\text{крит}AB} = f(\alpha, k_1, k_2).$$

Якщо  $F_{AB} > F_{\text{крит}AB}$ , то вплив взаємодії факторів  $A$  та  $B$  значний, а гіпотеза  $H_0$  – не підтверджується.

З урахуванням розглянутих раніше позначень, а також маючи на увазі, що величини  $x_{ij}$  замінені на  $\bar{x}_{ij}$ , схему обчислень можна доповнити виразом вигляду

$$R_5 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2.$$

Тоді

$$F_{AB} = \frac{n \cdot (R_1 - R_2 - R_3 + R_4) \cdot l \cdot r \cdot (n-1)}{(l-1) \cdot (r-1) \cdot (R_5 - n \cdot R_1)}, \quad (2.60)$$

а

$$\tilde{\sigma}_H^2 = \frac{R_5 - n \cdot R_1}{l \cdot r \cdot (n-1)}. \quad (2.61)$$

Якщо  $F_{AB} < F_{\text{крит}AB}$ , то оцінки  $\tilde{\sigma}_0^2$  та  $\tilde{\sigma}_H^2$  можна об'єднати, записавши, що

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{(l-1)r-1 \tilde{\sigma}_0^2 + lr(n-1) \tilde{\sigma}_H^2}{(l-1)(r-1) + lr(n-1)} = \frac{R_4 + R_5 - R_2 - R_3}{ln - r - l + 1}. \quad (2.62)$$

### Контрольні питання

1. У чому полягає задача дисперсійного аналізу?
2. Яка існує відмінність між одно- і двофакторним дисперсійним аналізом?
3. Що являє собою критерій Фішера і для чого він призначений?
4. Від чого залежить значення оцінки дисперсії?
5. Як знайти критичне значення статистики для критерію Фішера?

## 2.5. КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ

*Кореляційний аналіз* передбачає вивчення усередненого закону поведінки кожної з випадкових величин, що розглядаються, залежно від значень іншої величини, а також через залежність цих величин між собою.

### 2.5.1. Числові характеристики системи двох випадкових величин

Ступінь залежності між величинами характеризується *коефіцієнтом кореляції* або *кореляційним відношенням*.

*Коефіцієнтом кореляції*  $r_{xy}$  між випадковими величинами  $x$  і  $y$  називається математичне сподівання добутку їх нормованих відхилень:

$$r_{xy} = M \left( \frac{x - a}{\sigma_x} \cdot \frac{y - b}{\sigma_y} \right), \quad (2.63)$$

де  $a, b$  – центри розподілу величин  $x$  та  $y$ ;  $\sigma_x, \sigma_y$  – середні квадратичні відхилення відповідних величин  $a = M(x)$ ;  $b = M(y)$ .

Також можливо подати  $r_{xy}$  у такому вигляді:

$$r_{xy} = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} \cdot M[(x - a) \cdot (y - b)] \quad (2.64)$$

або

$$r_{xy} = \frac{M(xy) - Mx \cdot My}{\sigma_x \cdot \sigma_y}. \quad (2.65)$$

Величина  $M[(x - a) \cdot (y - b)]$  називається *кореляційним моментом* або *коваріацією*. Для кореляційного моменту зазвичай використовують позначення  $K_{xy}$  або  $cov(x, y)$ .

*Кореляційний момент* – це математичне сподівання добутку відхилень величин  $x$  та  $y$  від їх математичних сподівань. Тому коефіцієнт кореляції визначають за виразом

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}. \quad (2.66)$$

Рівняння (2.66) отримано з визначення  $K_{xy}$  за такою формулою:

$$\begin{aligned} K_{xy} &= M \cdot [(x - M_x) \cdot (y - M_y)] = M \cdot [x \cdot y - M_x \cdot y + M_y \cdot x] = \\ &= M(xy) - M_x \cdot M_y + M_x \cdot M_y - M_y M_x = M(xy) - M_x M_y. \end{aligned} \quad (2.67)$$

Для незалежних величин  $K_{xy} = 0$ . Ця умова потрібна, але не достатня для виявлення кореляційної залежності.

*Кореляційною залежністю* між випадковими величинами  $x$  та  $y$  називається така, при якій зміна однієї величини викликає зміну умовного математичного сподівання іншої.

Коефіцієнт кореляції – це безрозмірна величина, яка за абсолютним значенням не перевищує 1, тобто

$$|r_{xy}| \leq 1.$$

Для незалежних величин  $x$  та  $y$   $r_{xy} = 0$ . Якщо дві випадкові величини  $x$  та  $y$  – залежні, але при цьому  $r_{xy} = 0$ , то їх називають *некорельованими*. Коефіцієнт кореляції характеризує міру лінійної залежності між  $x$  та  $y$ . Це означає наступне: припустимо, що вираз  $Ax + B$  є лінійною функцією найкращого середньоквадратичного наближення до величини  $y$ , тобто такою лінійною функцією, для якої

$$M[y - (Ax + B)]^2 \rightarrow \min..$$

Нехай  $z$  – похибка цього наближення, яка визначається так:

$$z = y - (Ax + B).$$

Тоді математичне сподівання величини  $z$  буде дорівнювати 0, а відношення її дисперсії до дисперсії величини  $y$  має такий вигляд:

$$\frac{\sigma_z^2}{\sigma_y^2} = 1 - r_{xy}^2,$$

де  $\sigma_z^2$ ,  $\sigma_y^2$  – дисперсії відповідно величин  $z$  та  $y$ .

Якщо коефіцієнт кореляції дорівнює нулю, то це говорить про відсутність лінійної залежності, але не виключає наявності нелінійної залежності. Що ближче  $r_{xy}$  до 1, то тісніше лінійний зв'язок між величинами, тобто тим менша середньоквадратична похибка подання кожної з величин за допомогою лінійної функції іншої. Якщо  $r_{xy} = 1$ , то це свідчить, що між  $x$  та  $y$  наявна лінійна функціональна залежність.

### **2.5.2. Кореляційне відношення. Властивості коефіцієнта кореляції та кореляційного відношення**

Умовним математичним сподіванням  $M[y/x] = \bar{y}(x)$  називається математичне сподівання випадкової величини  $y$  за умови, що  $X = x$ .

Аналогічно для величини  $x$  запишемо:

$$M[x/y] = \bar{x}(y).$$

Ступінь тісноти кореляційної залежності може визначатися як за коефіцієнтом кореляції, так і за *кореляційним відношенням* (зазвичай цю характеристику використовують для виявлення ступеня тісноти нелінійної залежності):

$$\eta^2 [y/x] = \frac{\sigma^2 [\bar{y}(x)]}{\sigma_y^2} = 1 - \frac{\bar{\sigma}^2 [y/x]}{\sigma_y^2}, \quad (2.68)$$

де  $\sigma^2 [\bar{y}(x)]$  – дисперсія умовних математичних сподівань;

$\bar{\sigma}^2 [y/x]$  – математичне сподівання умовних дисперсій.

При цьому

$$\sigma_y^2 = \bar{\sigma}^2 [y/x] + \sigma^2 [\bar{y}(x)]; \quad (2.69)$$

$$\bar{\sigma}^2 [y/x] = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [y_i - \bar{y}(x_j)]^2 p(y_i / x_j); \quad (2.70)$$

$$\bar{\sigma}^2 [x/y] = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [x_i - \bar{x}(y_j)]^2 p(x_i / y_j). \quad (2.71)$$

Формули (2.70), (2.71) наведені для дискретних випадкових величин.

З виразів (2.68) та (2.69) виходить, що

$$0 \leq \eta[y/x] \leq 1.$$

*Властивості коефіцієнта кореляції:*

1. При  $r_{xy} = \pm 1$  прямі регресії  $x$  по  $y$  та  $y$  по  $x$  співпадають, і має місце лінійна функціональна залежність.

2. Якщо між  $x$  та  $y$  наявна лінійна функціональна залежність, то  $|r_{xy}|$  буде дорівнювати одиниці, оскільки обидві лінії регресії повинні співпадати з графіком функції.

3. Якщо  $r_{xy} = 0$ , то  $x$  та  $y$  – некорельовані і прямі регресії паралельні осям координат.

4. Якщо  $x$  та  $y$  некорельовані і прямі регресії паралельні осям координат, то  $r_{xy} = 0$ .

5. Що ближче  $r_{xy}$  до одиниці, то тісніше кореляційний зв'язок між  $x$  та  $y$ .

*Властивості кореляційного відношення:*

1. За наявності функціонального зв'язку між  $x$  та  $y$  кореляційне відношення дорівнює одиниці. При цьому розсіювання поблизу регресії  $y(x)$

відсутнє ( $\overline{\sigma^2} [y/x] = 0$ ), оскільки єдине можливе значення  $y$  при даному  $x$  співпадає з  $y(x)$ .

2. Якщо кореляційне відношення дорівнює одиниці, то  $y$  буде однозначною функцією  $x$ .

З виразу  $\eta[y/x] = 1$  виходить, що  $\overline{\sigma^2} [y/x] = 0$ , а тому розсіювання поблизу лінії регресії відсутнє, тобто кожному значенню  $x$  відповідає одне певне значення  $y$ , яке дорівнює  $y(x)$ .

3. Якщо величини  $x$  і  $y$  – некорельовані, то кореляційне відношення дорівнює нулю.

При цьому  $y(x) = \text{const} = m_y$ , і  $\sigma^2 [\overline{y}(x)] = 0$ , а це свідчить, що і  $\eta[y/x] = 0$ . Зокрема,  $\eta[y/x] = 0$ , коли  $y$  не залежить від  $x$ .

4. Якщо кореляційне відношення дорівнює нулю, то величини  $x$  і  $y$  – некорельовані.

Дійсно, при  $\eta[y/x] = 0 - \sigma^2 [\overline{y}(x)] = 0$ , а отже  $y(x) = \text{const} = m_y$ .

Що ближче  $\eta[y/x]$  до одиниці, то тісніша кореляційна залежність, тим більшу роль у зміні  $y$  відіграє  $x$ , тобто  $\sigma^2 [\overline{y}(x)]$ ; що ближче  $\eta[y/x]$  до нуля, то кореляційний зв'язок слабкіший, тим більшу роль відіграє розсіювання  $y$  поблизу  $y(x)$  при даному значенні  $x$ , тобто  $\overline{\sigma^2} [y/x]$ . Можна довести, що завжди справедливі співвідношення

$$\eta[y/x] \geq |r_{yx}|; \quad \eta[x/y] \geq |r_{xy}|$$

Зрозуміло, якщо одне з відношень  $\eta[y/x]$  або  $\eta[x/y]$  дорівнює нулю, то і  $r_{xy}$  буде дорівнювати нулю.

### Контрольні питання

1. Що вивчає кореляційний аналіз?
2. Що називається кореляційною залежністю?
3. Як розрахувати коефіцієнт кореляції?
4. Що характеризує кореляційне відношення?
5. Які властивості має кореляційне відношення?

## 2.6. РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ

*Регресійний аналіз* дозволяє на основі статистичних даних установити вид зв'язку між випадковими величинами через визначення коефіцієнта кореляції. Регресійна залежність може бути лінійною та нелінійною.

Сутність методу полягає в розповсюдженні закону зміни функції з області її спостереження на область, що лежить поза межами спостереження. Для реалізації цього методу необхідно мати цілу низку показників і за ними побудувати емпіричну криву. Далі фактичний ряд показників вирівнюється статистичним підбором функції, який дозволяє отримати значення показника,

що вивчається, з максимальним ступенем наближення до значень динамічного ряду, а потім обчислюються коефіцієнти цієї теоретичної функції. Прогнозування зміни показника залежно від часу, здійснюване на основі отриманої функції, припускає, що сукупність чинників, які визначають тенденцію зміни показника у минулому, збережуть свою тенденцію і напрям дії протягом прогнозованого періоду.

Апарат математичної статистики дає можливість використовувати різні функції для прогнозування зміни показників у часі. Прикладом таких функцій можуть бути:

- лінійна функція;
- парабола;
- поліном третього ступеня;
- гіпербола;
- ступенева функція;
- експоненціальна функція;
- модифікована експонента;
- експоненціально-ступенева функція;
- логістична функція;
- квадратна логістична функція;
- логарифмічна функція.

Параметри функцій можуть бути визначені відповідними методами.

Одним із найпоширеніших методів пошуку найкращого виду лінії регресії є *метод найменших квадратів*. Сутність цього методу полягає в наступному.

Відомо, що при розв'язанні багатьох практичних задач функціональну залежність  $y$  від  $x$  шукають у вигляді

$$y = \sum_{k=1}^m a_k \cdot f_k(x), \quad (2.72)$$

де  $f_1(x), f_2(x) \dots f_m(x)$  – відомі функції;  $a_1, a_2 \dots a_m$  – невідомі параметри.

Виходячи з принципу найменших квадратів, необхідно підібрати такі значення невідомих параметрів  $a_1, a_2 \dots a_m$ , при яких перетворюється в мінімум вираз

$$z = \sum_{i=1}^n \left[ y_i - \sum_{k=1}^m a_k f_k(x_i) \right]^2. \quad (2.73)$$

Вираз (2.73) є функцією невідомих параметрів  $a_k$ , тому для визначення мінімуму цієї функції потрібно, згідно з правилом диференціального числення,



знайти частинні похідні функції  $z$  за всіма параметрами  $a_k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) та порівняти їх з нулем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial z}{\partial a_1} = 2 \sum_{i=1}^n [y_i - \sum_{k=1}^m a_k f_k(x_i)] \cdot [-f_1(x_i)] = 0; \\ \frac{\partial z}{\partial a_2} = 2 \sum_{i=1}^n [y_i - \sum_{k=1}^m a_k f_k(x_i)] \cdot [-f_2(x_i)] = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial z}{\partial a_m} = 2 \sum_{i=1}^n [y_i - \sum_{k=1}^m a_k f_k(x_i)] \cdot [-f_m(x_i)] = 0. \end{array} \right. \quad (2.74)$$

Підставляючи в систему (2.74) відомі значення  $x_i$  і  $y_i$ , одержимо систему  $m$  лінійних рівнянь відносно невідомих параметрів  $a_k$ , розв'язати яку можливо за допомогою визначника або послідовного виключення невідомих.

Особливості методу на прикладі лінійної регресії з'ясуємо детальніше.

Якщо розглянути на графіку точки з відомими значеннями  $x$  і відповідними до них значеннями  $y$ , то лінія регресії, виходячи з умови мінімуму суми квадратів відхилень значень розрахованої залежності від відомих значень, має знаходитися якнайближче до відомих точок (рис.2.6.1).

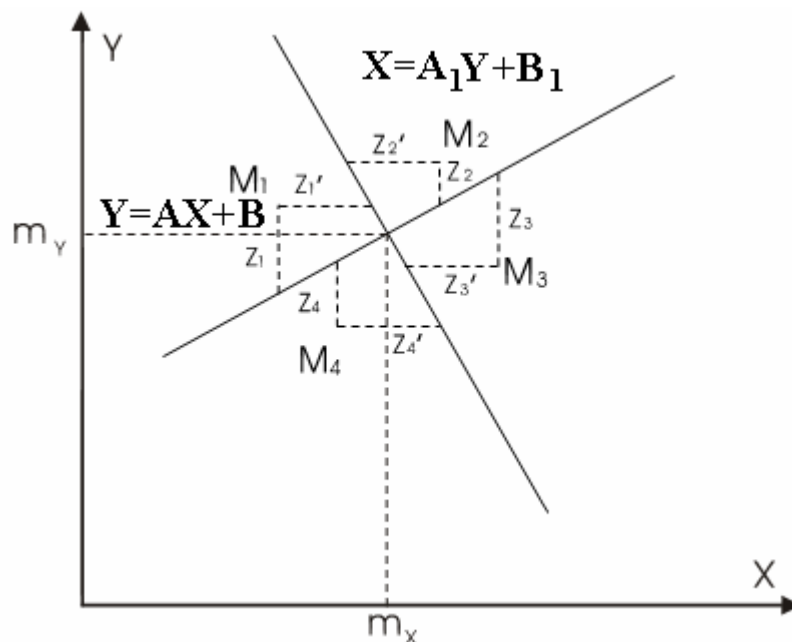


Рис. 2.6.1. Побудова лінійної регресії за змінними  $x$  та  $y$

У цьому випадку різниця (відхилення  $z$ ) між відомим значенням  $y_1$  і значенням  $y = f(x_1)$ , обчисленим за рівнянням регресії, запишеться так:

$$z_1 = y_1 - y(x_1) = y_1 - Ax_1 - B.$$

Для інших точок – аналогічно. Позначимо суму квадратів відхилень як  $f(A,B)$  і запишемо:

$$f(A,B) = \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2.$$

Умова мінімуму функції (суми квадратів відхилень) така:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial A} = 0; \\ \frac{\partial f}{\partial B} = 0; \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{\partial f}{\partial A} = 2 \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)(-x_i) = 0; \\ \frac{\partial f}{\partial B} = 2 \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)(-1) = 0. \end{cases}$$

Звідки

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N Ax_i^2 - x_i y_i + Bx_i = 0; \\ \sum_{i=1}^N Ax_i - y_i + B = 0; \end{cases} \quad \begin{cases} A \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N x_i y_i + B \sum_{i=1}^N x_i = 0; \\ A \sum_{i=1}^N x_i - \sum_{i=1}^N y_i + BN = 0. \end{cases}$$

Коефіцієнт  $B$  отримаємо з другого рівняння системи, тобто

$$B = \frac{\sum_{i=1}^N y_i - A \sum_{i=1}^N x_i}{N}. \quad (2.75)$$

Підставимо цей вираз у перше рівняння системи та зробимо відповідні алгебраїчні перетворення:

$$N \cdot A \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - N \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^N x_i \cdot \left( \sum_{i=1}^N y_i - A \sum_{i=1}^N x_i \right) = 0;$$

$$N \cdot A \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - N \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i - A \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i = 0;$$

$$A \cdot \left( N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \right) = N \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i.$$

Для коефіцієнта  $A$  відповідно запишемо:

$$A = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} . \quad (2.76)$$

Після підстановки у вираз (2.75) отримаємо:

$$\begin{aligned} B \cdot N &= \sum_{i=1}^N y_i - \frac{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \cdot \sum_{i=1}^N x_i = \\ &= \frac{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^N y_i - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i - N \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} = \\ &= \frac{N \cdot (\sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^N y_i - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i)}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} . \end{aligned}$$

Звідки

$$B = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^N y_i - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} . \quad (2.77)$$

### Контрольні питання

1. У чому полягає задача регресійного аналізу?
2. Які функції застосовуються при прогнозуванні змін показників у часі?
3. У чому полягає сутність методу найменших квадратів?
4. Яким чином будується лінія регресії?

## 2.7. ОЦІНКА ГЕНЕРАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗА ДАНИМИ ВИБІРКИ

*Оцінкою генерального параметра* називається його наближене значення, отримане за певним правилом на основі даних вибірки. Оцінки будуть випадковими величинами, оскільки вибірка формується за принципом випадковості вибору значень з генеральної сукупності. Для одного й того

самого параметра за даними однієї і тієї вибірки можуть бути отримані різні оцінки.

Позначимо генеральний параметр літерою  $\theta$ , а його оцінку –  $\tilde{\theta}$ .

Оцінка називається репрезентативною, якщо для неї виконується така умова:

$$\lim P(|\tilde{\theta} - \theta| < \varepsilon) = 1, \quad (2.78)$$

де  $\varepsilon$  – додатне, нескінченно мале число.

При цьому кажуть, що оцінка збігається за ймовірністю до оцінюваного параметра. Репрезентативні оцінки зазвичай задовільні при великій вибірці, але можуть стати непридатними для малої вибірки.

Оцінка називається *незміщеною*, якщо її математичне сподівання буде дорівнювати оцінюваному параметру, а це вказує на відсутність у неї систематичної похибки, що дуже важливо для малих вибірок.

$$M[\tilde{\theta}] = \theta. \quad (2.79)$$

Оцінка називається *ефективною*, якщо вона незміщена та має найменшу дисперсію у порівнянні з усіма іншими незміщеними оцінками.

$$D[\tilde{\theta}_e] \leq D[\tilde{\theta}]. \quad (2.80)$$

*Ефективна оцінка завжди є репрезентативною.*

Один із методів обчислення оцінок параметрів розподілу – це *метод моментів*. Метод оснований на заміні генеральних параметрів відповідними з вибірки. При цьому в розрахункових формулах для математичного сподівання (початковий момент першого порядку) та дисперсії (центральний момент другого порядку) ймовірності  $p_i$  замінюються відповідно частотами  $1/n$ . Тоді оцінка математичного сподівання запишеться так:

$$\tilde{M}[x] = \tilde{m}_x = \tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.81)$$

а оцінка дисперсії

$$\tilde{D}[x] = S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2. \quad (2.82)$$

Оцінка математичного сподівання є незміщеною, а оцінка дисперсії – зміщеною, заниженою:

$$\begin{cases} M[\tilde{x}] = m_x \\ M[S^2] = \frac{n-1}{n} \sigma_x^2 \end{cases} \quad (2.83)$$

Тут  $m_x$  – генеральне математичне сподівання;  $\sigma_x^2$  – генеральна дисперсія.

Разом з величиною  $S^2$  уводиться незміщена оцінка дисперсії  $\tilde{\sigma}_x^2$ . Обчислюється вона так:

$$\tilde{\sigma}_x^2 = \frac{n}{n-1} S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2. \quad (2.84)$$

Вираз для  $S^2$  іноді перетворюють до такого вигляду:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 - (\tilde{x} - m_x)^2. \quad (2.85)$$

Для  $\tilde{x}$  дисперсія

$$D[\tilde{x}] = \frac{\sigma_x^2}{n}. \quad (2.86)$$

При  $n \geq 50-100$  можна вважати, що  $S^2 \approx \tilde{\sigma}_x^2$ .

Для випадку згрупованої вибірки

$$\tilde{x} = \sum_{i=1}^l x_i^* p_i^*; \quad (2.87)$$

$$\tilde{\sigma}_x^2 = \sum_{i=1}^l (x_i^* - \tilde{x})^2 p_i^*, \quad (2.88)$$

де  $x_i^*$  – середина  $i$ -го розряду,

$$x_i^* = \frac{x_{i-1} + x_i}{2}. \quad (2.89)$$

### 2.7.1. Інтервальна оцінка функції регресії

Побудуємо довірчий інтервал для функції регресії, тобто для умовного математичного сподівання  $M_x(Y)$ , який із заданою надійністю (довірчою вірогідністю)  $\alpha = 1 - P$  накриває невідоме значення  $M_x(Y)$ .

Визначимо дисперсію групової середньої  $y_x$ , що являє собою вибірккову оцінку  $M_x(Y)$ . З цією метою рівняння регресії подамо у вигляді

$$y_x = \bar{y} + b_1(x - \bar{x}). \quad (2.90)$$

$$y_x = \bar{y} + b_1(x - \bar{x}). \quad (2.90)$$

Дисперсія групової середньої дорівнює сумі дисперсій двох незалежних додатків виразу (2.90), тобто

$$\sigma_{y_x}^2 = \sigma_y^2 + \sigma_{b_1}^2 (x - \bar{x})^2. \quad (2.91)$$

Тут ураховано, що різниця  $(x - \bar{x})$  – не є випадковою величиною, а тому при винесенні за знак дисперсії її необхідно звести в квадрат.

Дисперсія вибіркової середньої  $\bar{y}$

$$\sigma_y^2 = \frac{\sigma^2}{n}; \quad (2.92)$$

$$\sigma_{b_1}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sigma^2}{\left( \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^2} = \frac{\sigma^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2.93)$$

Знайдемо оцінку дисперсії групових середніх (2.90), враховуючи формули (2.91), (2.92) і замінюючи  $\sigma^2$  її оцінкою  $S^2$ :

$$S_{y_x}^2 = S^2 \left( \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right). \quad (2.94)$$

Виходячи з того, що статистика має  $t$ -розподіл Стьюдента з  $k = n - 2$  ступенями вільності, то можна побудувати довірчий інтервал для умовного математичного сподівання

$$y_x - t_{1-\alpha; k} \cdot S_{y_x} \leq M_x(Y) \leq y_x + t_{1-\alpha; k} \cdot S_{y_x}, \quad (2.95)$$

де  $S_{y_x} = \sqrt{S_{y_x}^2}$  – стандартна помилка групової середньої  $y_x$ .

З формул (2.94) і (2.95) випливає, що величина довірчого інтервалу залежить від значення пояснювальної змінної  $x$ : при  $x = \bar{x}$  вона мінімальна, а по мірі віддалення  $x$  від  $\bar{x}$  – збільшується. Таким чином, прогноз значень (визначення невідомих значень) залежної змінної  $y$  за рівнянням регресії буде виправданий, якщо значення незалежної змінної не виходить за межі її значень за вибіркою (причому, що вище точність, то ближче  $x$  до  $\bar{x}$ ). Іншими словами,

екстраполяція кривої регресії, тобто її використання поза межами обмеженого діапазону значень незалежної змінної (навіть, якщо вона виправдана для даної змінної виходячи із сенсу вирішуваного завдання), може призвести до значних похибок.

Побудована довірча область  $M_x(Y)$  визначає місце розташування модельної лінії регресії (тобто умовного математичного сподівання), але не окремих можливих значень залежної змінної, які відхиляються від середньої (рис. 2.7.1).

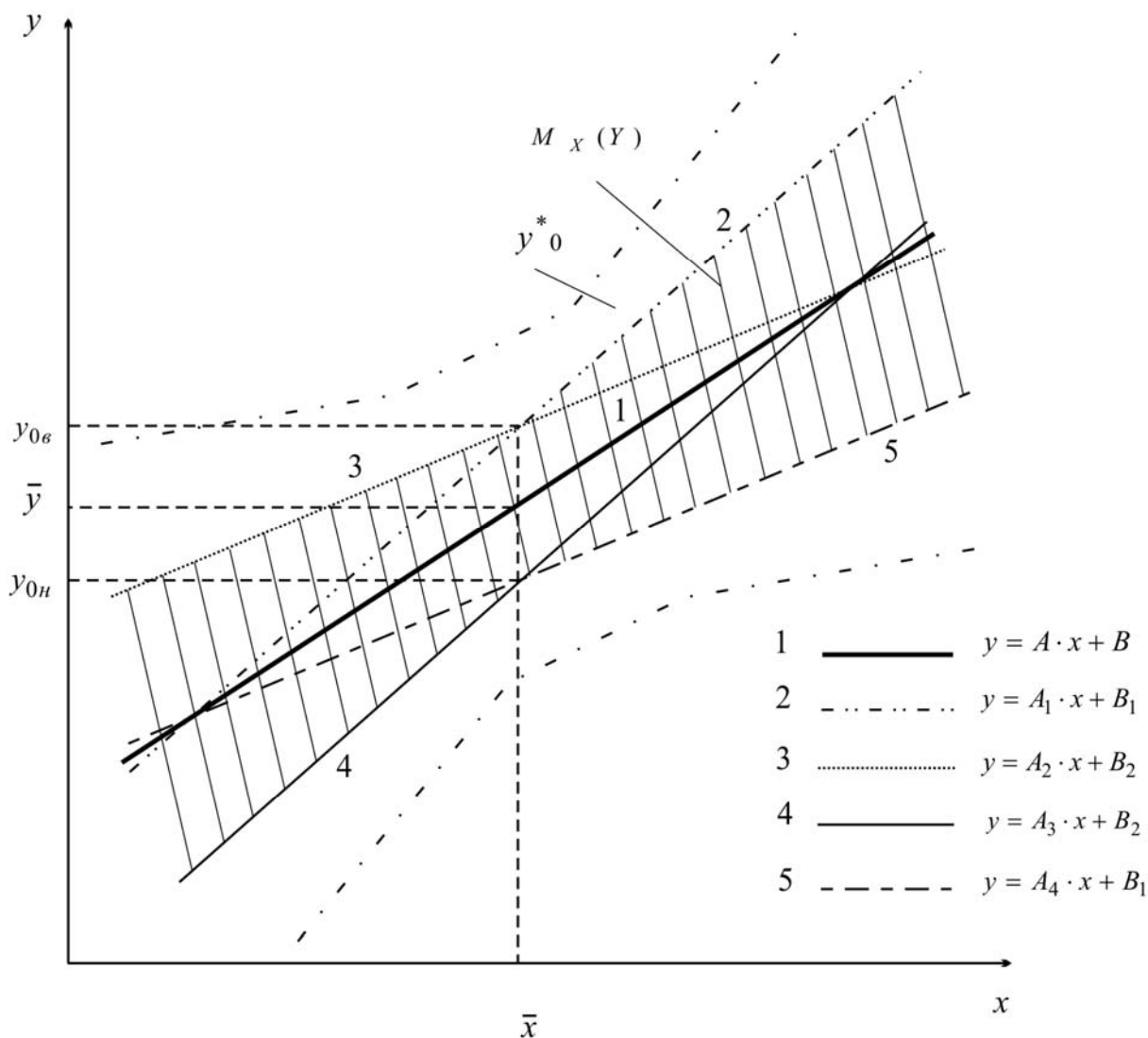


Рис. 2.7.1. Довірча область лінії регресії

Тому при визначенні довірчого інтервалу для індивідуальних значень  $y_0^*$  залежної змінної необхідно враховувати ще одне джерело варіації – розсіювання навколо лінії регресії, тобто в оцінку сумарної дисперсії слід увести величину  $S_{y_x}^2$ . У результаті оцінка дисперсії індивідуальних значень  $y_0$  при  $x = x_0$

$$S_{y_0}^2 = S^2 \left[ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right], \quad (2.96)$$

а відповідний довірчий інтервал для прогнозів індивідуальних значень  $y_0^*$  буде визначати за формулою

$$y_{x_0} - t_{1-\alpha, n-2} \cdot S_{y_x} \leq y_0^* \leq y_{x_0} + t_{1-\alpha, n-2} \cdot S_{y_x}. \quad (2.97)$$

### Приклад.

Нехай маємо дані про видобуток вугілля за зміну на одного робітника  $Y$  і потужності пласта  $X$ , що характеризують процес видобутку вугілля в десяти шахтах (табл. 2.7.1).

Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 2.7.1

$i$ (порядковий номер шахти)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$ , м	8	11	12	9	8	8	9	9	8	12
$y_i$ , т	5	10	10	7	5	6	6	5	6	8

Треба оцінити середній видобуток вугілля за зміну на одного робітника для шахт з потужністю пласта 8 м та знайти довірчі інтервали з довірчою ймовірністю 95% для індивідуального і середнього значень видобутку вугілля за зміну на одного робітника для таких самих шахт.

**Розв'язок.** Спочатку необхідно скласти рівняння регресії. У розрахунках вважаємо, що  $n_{ij} = n_i = n_j = 1$ ,  $j = i$ , а  $\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m$  замінюємо на  $\sum_{i=1}^n$ , оскільки вихідні дані не згруповані. У результаті отримаємо такі показники:  $\sum_{i=1}^{10} x_i = 94$ ;  $\sum_{i=1}^{10} x_i^2 = 908$ ;  $\sum_{i=1}^{10} y_i = 68$ ;  $\sum_{i=1}^{10} y_i^2 = 496$ ;  $\sum_{i=1}^{10} x_i y_i = 664$ . Згідно з виразом (2.90) отримаємо рівняння регресії  $y_x = -2,75 + 1,016x$ , тобто при збільшенні потужності пласта  $X$  на 1 м видобуток вугілля на одного робітника  $Y$  зросте в середньому на 1,016 т.

Треба оцінити умовне математичне сподівання  $M_{x=8}(Y)$ . Вибірковою оцінкою  $M_{x=8}(Y)$  є групова середня  $y_{x=8}$ , яку знайдемо за рівнянням регресії

$$y_{x=8} = -2,75 + 1,016 \cdot 8 = 5,38 \text{ т.}$$

При побудові довірчого інтервалу для  $M_{x=8}(Y)$  необхідно знати дисперсію його оцінки, тобто  $S_{y_{x=8}}^2$ . Складемо допоміжну табл. 2.7.2 з урахуванням того, що  $\bar{x} = 9,4$  м, а значення величин  $y_{x_i}$  отримаємо з рівняння регресії.



Допоміжна таблиця розрахунків

$x_i$	8	11	12	9	8	8	9	9	8	12	$\Sigma$
$(x_i - \bar{x})^2$	1,96	2,56	6,76	0,16	1,96	1,96	0,16	0,16	1,96	6,76	24,40
$y_{x_i} = -2,75 +$ $+1,016x_i$	5,38	8,43	9,44	6,39	5,38	5,38	6,39	6,39	5,38	9,44	–
$e_i^2 = (y_{x_i} - y_i)^2$	0,14	2,48	0,31	0,37	0,14	0,39	0,15	1,94	0,39	2,08	8,39

Тепер згідно з формулою

$$S^2 = \frac{8,39}{10-2} = 1,049,$$

а з формулою (2.94)

$$S_{y_{x=8}}^2 = 1,049 \left[ \frac{1}{10} + \frac{(8-9,4)^2}{24,4} \right] = 0,189;$$

$$S_{y_{x=8}} = \sqrt{0,189} = 0,435 \text{ т.}$$

За табл. 4 додатка  $t_{0,95;8} = 2,31$ . Тепер за формулою (2.95) шуканий довірчий інтервал

$$5,38 - 2,31 \cdot 0,435 \leq M_{x=8}(Y) \leq 5,38 + 2,31 \cdot 0,435$$

або

$$4,38 \leq M_{x=8}(Y) \leq 6,38 \text{ т.}$$

Отже, середній видобуток вугілля за зміну на одного робітника для шахт з потужністю пласта 8 м з імовірністю 0,95 знаходиться в межах 4,38 – 6,38 т.

Щоб побудувати довірчий інтервал для індивідуального значення  $y_{x_0=8}^*$ , треба знати дисперсію його оцінки. За формулою (2.96)

$$S_{y_{x=8}}^2 = 1,049 \left[ 1 + \frac{1}{10} + \frac{(8-9,4)^2}{24,4} \right] = 1,238$$

і

$$S_{y_{x=8}} = \sqrt{1,238} = 1,113 \text{ т.}$$

Далі необхідний довірчий інтервал згідно з формулою (2.97)

$$5,38 - 2,31 \cdot 1,113 \leq y_{x_0=8}^* \leq 5,38 + 2,31 \cdot 1,113$$

або

$$2,81 \leq y_{x_0=8}^* \leq 7,95 .$$

Таким чином, індивідуальний видобуток вугілля за зміну на одного робітника для шахт з потужністю пласта 8 м з імовірністю 0,95 знаходиться в межах 2,81 – 7,95 т.

### 2.7.2. Оцінка коефіцієнтів кореляції та регресії за даними вибірки

При цьому розглядається вибірка обсягом  $n$ , що складається з пар спостережуваних або вимірюваних значень  $x_i$  та  $y_i$  розглянутих випадкових величин. При невеликій кількості спостережень маємо аналог варіаційного ряду. Наприклад, при двовимірному варіаційному ряді таблиця має такий вигляд

$i$	$x_i$	$y_i$
1	$x_1$	$y_1$
2	$x_2$	$y_2$
·	·	·
·	·	·
$n$	$x_n$	$y_n$

Якщо число вимірювань велике, то діапазони значень  $x$  та  $y$  розбиваються на інтервали або розряди:  $l_x$  розрядів по  $x$  та  $l_y$  розрядів по  $y$ . При цьому маємо кореляційну таблицю (аналог згрупованої вибірки), в якій наведені числа  $n_{ij}$  пар значень величин  $x$  і  $y$ , що попадають у  $i$ -й розряд по  $x$  та  $j$ -й розряд по  $y$  (двовимірна згрупована вибірка).

Оцінки числових характеристик двовимірного розподілу зазвичай обчислюються за методом моментів. При цьому використовуються формули для числових характеристик дискретних випадкових величин, у яких імовірності  $p_{ij}$  замінюються частотами:

$(1/n)$  – якщо фіксується кожна окрема пара значень  $x_i, y_i$  ;

$(n_{ij} / n)$  – якщо діапазони значень  $x$  та  $y$  розбиваються на розряди.

Оцінка коефіцієнта кореляції для двовимірної згрупованої вибірки запишеться так:

$$\tilde{r}_{xy} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{n_{ij} \cdot (x_i - \tilde{m}_x) \cdot (y_j - \tilde{m}_y)}{n \cdot S_x \cdot S_y} , \quad (2.98)$$

де  $m_x, m_y$  – оцінки математичних сподівань,

$$\tilde{m}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n n_i x_i;$$

$$\tilde{m}_y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m n_j y_j; \quad (2.99)$$

$$n_i = \sum_{j=1}^m n_{ij};$$

$$n_j = \sum_{i=1}^n n_{ij}; \quad (2.100)$$

$n_i$  ( $n_j$ ) – число значень  $x$  ( $y$ ), що попадають у  $i(j)$  –й інтервал;  
 $S_x$ ,  $S_y$  – оцінки середніх квадратичних відхилень, що розраховують за значеннями оцінок дисперсій,

$$S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{m}_x)^2 \cdot n_i; \quad (2.101)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^m (y_j - \tilde{m}_y)^2 \cdot n_{ij}. \quad (2.102)$$

Перетворимо формулу (2.98) до вигляду, зручного для обчислень, використавши вирази для  $m$  та  $S$ :

$$\tilde{r}_{xy} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m n_{ij} x_i y_j - (\sum_{i=1}^n n_i x_i) (\sum_{j=1}^m n_j y_j)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n n_i x_i^2 - (\sum_{i=1}^n n_i x_i)^2] [n \sum_{j=1}^m n_j y_j^2 - (\sum_{j=1}^m n_j y_j)^2]}}. \quad (2.103)$$

Коефіцієнт регресії  $b[y/x]$  визначається так:

$$b[y/x] = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} r_{xy},$$

а його оцінка як

$$\tilde{b}[y/x] = \frac{S_y}{S_x} \tilde{r}_{xy} = \frac{\sqrt{n \sum_{j=1}^m n_j y_j^2 - (\sum_{j=1}^m n_j y_j)^2}}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n n_i x_i^2 - (\sum_{i=1}^n n_i x_i)^2}} \tilde{r}_{xy} = \frac{\tilde{r}_{xy}^2}{\tilde{b}[x/y]}. \quad (2.104)$$

Для оцінок умовних математичних сподівань запишемо:

$$\tilde{x}(y_j) = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^n n_{ij} x_i; \quad \tilde{y}(x_i) = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^m n_{ij} y_j, \quad (2.105)$$

а для оцінки кореляційного відношення використаємо вираз

$$\tilde{\eta} \left[ \frac{x}{y} \right] = \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^m \frac{(\sum_{i=1}^n n_{ij} y_i)^2}{n_i} - (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m n_{ij} y_i)^2}{n \sum_{j=1}^m n_j y_j^2 - (\sum_{j=1}^m n_j y_j)^2}}}. \quad (2.106)$$

### Контрольні питання

1. Що таке оцінка генерального параметра?
2. Яка оцінка називається репрезентативною?
3. Яка оцінка називається ефективною?
4. Як визначити довірчий інтервал для умовного математичного сподівання?
5. Як визначити довірчий інтервал для індивідуальних значень залежної змінної?
6. У чому полягає сутність методу моментів?

## 2.8. НЕЛІНІЙНА КОРЕЛЯЦІЯ

При нелінійній кореляції як міра залежності, тобто міра концентрації експериментальних точок навколо усереднених кривих регресії, застосовується кореляційне відношення  $\eta[y/x]$  або  $\eta[x/y]$ .

Кореляційні відношення задовольняють нерівності

$$0 \leq |r_{xy}| \leq \eta \left[ \frac{x}{y} \right] \leq 1; \quad 0 \leq |r_{xy}| \leq \eta \left[ \frac{y}{x} \right] \leq 1. \quad (2.107)$$

При  $\eta[y/x]=1$  між  $x$  та  $y$  існує функціональна залежність.

При  $\eta[y/x]=0$  величини  $y$  та  $x$  – некорельовані. Проте при цьому не завжди  $\eta[x/y]=0$ .

Побудова *кривих регресії* здійснюється методом найменших квадратів. Зазвичай обмежуються залежностями невисокого порядку, найчастіше поліномами 2-го або 3-го ступеня.

Рівняння кривої регресії зручно записувати у вигляді розкладання за ортогональними багаточленами Чебишева, тобто

$$y = b_0 p_0(x) + b_1 p_1(x) + \dots + b_n p_n(x). \quad (2.108)$$

Справжні значення параметрів з надійністю  $P$  знаходяться у довірчих межах

$$b_j \pm t_j \cdot \sqrt{\frac{S}{(n-j-1) \cdot H_j}}, \quad (2.109)$$

де  $t_j = t(\Phi, k)$  вибирається за таблицю при числі ступіней вільності  $k = n - j - 1$ ;  $S$  – сума квадратів відхилень досліджуваних точок від розрахункових,

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - b_0 p_0(x_i) - b_1 p_1(x_i) - \dots - b_n p_n(x_i)]^2, \quad (2.110)$$

$$H_j = \sum_{i=1}^n P_j^2(x_i). \quad (2.111)$$

При цьому вважають, що всі вимірювання однаково точні та незалежні з нормально розподіленими похибками.

### Контрольні питання

1. Як будуються криві регресії?
2. Як значення кореляційного відношення характеризує наявність залежності між змінними?
3. Від чого залежить величина довірчого інтервалу, за яким розраховуються елементи багаточлена Чебишева?

## 2.9. НОРМАЛЬНА КОРЕЛЯЦІЯ. ДВОВИМІРНИЙ НОРМАЛЬНИЙ ЗАКОН РОЗПОДІЛУ

Щільність імовірності двовимірного нормального розподілу визначається як

$$\varphi(x, y) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{1 - r_{xy}^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2 \cdot (1 - r_{xy}^2)^2} \cdot \left[ \frac{(x - m_x)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y - m_y)^2}{\sigma_y^2} - 2 \cdot r_{xy} \cdot \frac{(x - m_x)(y - m_y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \right]}, \quad (2.112)$$

де  $m_x, m_y, \sigma_x, \sigma_y, r_{xy}$  – відповідно математичні сподівання, середні квадратичні відхилення та коефіцієнт кореляції випадкових величин  $x$  та  $y$ .

Для нормального закону розподілу має місце лінійна регресія, тобто

$$\eta[y/x] = \eta[x/y] = r_{xy}, \quad (2.113)$$

причому при всіх значеннях  $x$  умовна дисперсія постійна:  $\sigma^2[x/y] = \text{const}$ . Аналогічне має місце й при всіх значеннях  $y$ . Якщо розтинати поверхню розподілу горизонтальними площинами ( $z = \text{const}$ ), то в перерізах виходять еліпси з однаковим при всіх  $z$  орієнтуванням головних осей. При  $r_{xy} \neq 0$  головні осі цих еліпсів не збігаються з лініями регресії (рис 2.9.1, б), а при  $r_{xy} = 0$  вони паралельні осям координат (рис 2.9.1, а).

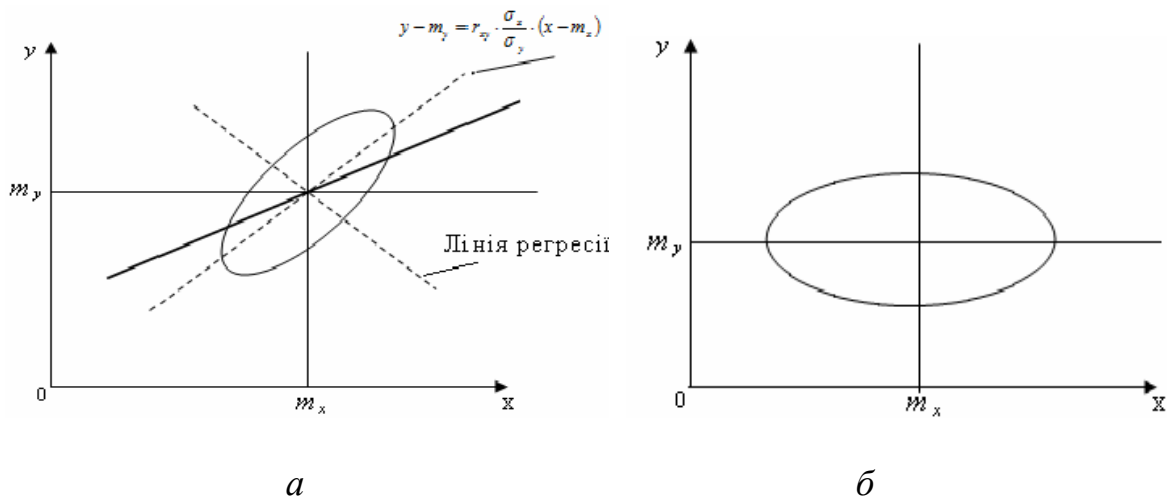


Рис.2.9.1. Вигляди перерізів поверхонь розподілу

### Контрольні питання

1. Яка кореляція називається нормальною?
2. Від чого залежить щільність імовірності двовимірного нормального закону розподілу?
3. Який вигляд мають перерізи поверхонь при нормальному законі розподілу?

## 2.10. МНОЖИННА КОРЕЛЯЦІЯ

### 2.10.1. Система трьох випадкових величин

Функція розподілу трьох випадкових величин  $X, Y, Z$  має такий вигляд:

$$F(x, y, z) = P(X < x, Y < y, Z < z). \quad (2.114)$$

Для неперервних випадкових величин розглядається також щільність імовірності:

$$f(x, y, z) = \frac{\partial^3 F(x, y, z)}{\partial x \partial y \partial z}. \quad (2.115)$$

Імовірність попадання випадкової точки  $(x, y, z)$  в просторову область  $V$  визначається потрійним інтегралом

$$P[(x,y,z) \in V] = \iiint_V f(x, y, z) dx dy dz. \quad (2.116)$$

Функція розподілу  $F(x, y, z)$  виражається через щільність імовірності  $f(x, y, z)$ , тобто

$$F(x,y,z) = \int_{-\infty}^x dx \int_{-\infty}^y dy \int_{-\infty}^z f(x, y, z) dz. \quad (2.117)$$

Для системи з трьох дискретних величин задаються можливі значення  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ;  $y_j (j = 1, 2, \dots, m)$ ;  $z_k (k = 1, 2, \dots, e)$  випадкових величин  $X, Y, Z$  та їх відповідно ймовірності:

$$p_{ijk} = P(X = x_i; Y = y_j; Z = z_k). \quad (2.118)$$

Причому

$$p_i = P(X = x_i) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l p_{ijk}; \quad (2.119)$$

$$q_j = P(Y = y_j) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l p_{ijk}; \quad (2.120)$$

$$r_k = P(Z = z_k) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ijk}; \quad (2.121)$$

де

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l p_{ijk} = \sum_{i=1}^n p_i = \sum_{j=1}^m q_j = \sum_{k=1}^l r_k = 1. \quad (2.122)$$

Функція розподілу величини  $Z$ , що входить у систему, визначається за формулою

$$F_z(z) = F(\infty, \infty, z) = \int_{-\infty}^z dz \int_{-\infty}^x dx \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y, z) dy, \quad (2.123)$$

а щільність ймовірності як

$$f_z(z) = F'_z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y, z) dy. \quad (2.124)$$

Аналогічно знаходяться величини  $f_x(x)$ ;  $F_x(x)$ ;  $f_y(x)$ ;  $F_y(x)$ .

Умовним законом розподілу випадкової величини  $Z$ , що входить у систему  $(X, Y, Z)$ , називається такий закон, який розглядається за умови, що величини  $x$  і  $y$  можуть приймати певні значення.

Умовна функція розподілу позначається так:

$$F(z / xy),$$

а умовна щільність імовірності як

$$f(z / xy).$$

При цьому зберігаються визначення та умова незалежності

$$f(x, y, z) = f_x(x) f_y(y) f_z(z), \quad (2.125)$$

або для дискретних випадкових величин вираз

$$p_{ijk} = p_i \cdot q_j \cdot r. \quad (2.126)$$

Числові характеристики системи  $(X, Y, Z)$  визначаються функціями, які подібні функціям для системи двох випадкових величин, а саме:

$$M[z] = m_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l z_k \cdot p_{ijk}; \quad (2.127)$$

$$D(z) = \sigma_z^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l (z_k - m_z)^2 \cdot p_{ijk}; \quad (2.128)$$

$$K_{xy} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l (x_i - m_x) \cdot (y_j - m_y) \cdot p_{ijk}. \quad (2.129)$$

Аналогічно маємо й для величин  $m_x, m_y, \sigma_x^2, \sigma_y^2, K_{xz}, K_{yz}$ .

Для неперервних випадкових величин

$$M[z] = m_z = \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} dy \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(x, y, z) dz; \quad (2.130)$$

$$D[z] = \sigma_z^2 = \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} dy \int_{-\infty}^{\infty} (z - m_z)^2 f(x, y, z) dz; \quad (2.131)$$

$$K_{xy} = \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} dy \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)(y - m_y) f(x, y, z) dz. \quad (2.132)$$

Аналогічно маємо і для величин  $m_x, m_y, \sigma_x^2, \sigma_y^2, K_{xz}, K_{yz}$ .



Таблиця вигляду

$$K = \begin{vmatrix} D_x & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & D_y & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & D_z \end{vmatrix} \quad (2.133)$$

називається кореляційною або коваріаційною матрицею системи  $(X, Y, Z)$ .

При цьому  $K_x = K_{yx}$ ,  $K_{xz} = K_{zx}$ ,  $K_{yz} = K_{zy}$ , а  $D_x = K_{xx}$ ,  $D_y = K_{yy}$ ,  $D_z = K_{zz}$ .

Якщо центральні змішані моменти замінити на коефіцієнти кореляції

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y},$$

то отримаємо нормовану кореляційну матрицю вигляду

$$R = \begin{vmatrix} 1 & r_{xy} & r_{xz} \\ r_{yx} & 1 & r_{yz} \\ r_{zx} & r_{zy} & 1 \end{vmatrix}, \quad (2.134)$$

де  $r_{xy} = r_{yx}$ ;  $r_{xz} = r_{zx}$ ;  $r_{yz} = r_{zy}$ .

### 2.10.2. Рівняння площин регресії

Умовне математичне сподівання випадкової величини  $Z$  за умови, що  $X = x$  і  $Y = y$ , визначається для дискретних випадкових величин як

$$M[z/x, y] = \bar{z}(x_i, y_i) = \sum_{k=1}^l z_k \cdot p(z_k/x_i, y_i). \quad (2.135)$$

Тут умовна ймовірність

$$p(z_k/x_i, y_i) = \frac{p_{ijk}}{p_k}. \quad (2.136)$$

Для неперервних випадкових величин умовне математичне сподівання величини  $Z$  при  $X = x$  і  $Y = y$

$$M[z/x, y] = \bar{z}(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(z/x, y) dz, \quad (2.137)$$

де умовна щільність імовірності

$$f(z/xy) = \frac{f(x,y,z)}{f_z(z)}. \quad (2.138)$$

Такий самий вигляд мають формули для  $\bar{x}(y,z)$  та  $\bar{y}(x,z)$ .

У системі координат  $OXYZ$  рівняння  $z = \bar{z}(x,y)$  визначає поверхню, яка називається поверхнею регресії величини  $Z$  по  $X, Y$ . Аналогічно визначаються поверхні регресії величини  $X$  по  $Y$  і  $Z$  та величини  $Y$  по  $X$  і  $Z$ . Кореляційний зв'язок між величинами  $X, Y, Z$  називається лінійним, якщо поверхня регресії являє собою площину. При цьому функція буде лінійною відносно  $X$  і  $Y$ :

$$\bar{z}(x,y) = a + b_x x + b_y y. \quad (2.139)$$

Так само, як і для рівняння прямої регресії можна подати рівняння площини регресії  $Z$  по  $X$  і  $Y$  у вигляді

$$\bar{z}(x,y) - m_z = b_x(x - m_x) + b_y(y - m_y), \quad (2.140)$$

де

$$b_x = -\frac{\sigma_z \Delta_{zx}}{\sigma_x \Delta_{zz}}; \quad (2.141)$$

$$b_y = -\frac{\sigma_z \Delta_{zy}}{\sigma_y \Delta_{zz}};$$

$\Delta_{zx}, \Delta_{zy}, \Delta_{zz}$  – алгебраїчні доповнення елементів останнього рядка визначника нормованої кореляційної матриці. Розраховуються вони як

$$\begin{aligned} \Delta = |R| &= \begin{vmatrix} 1 & r_{xy} & r_{xz} \\ r_{yx} & 1 & r_{yz} \\ r_{zx} & r_{zy} & 1 \end{vmatrix} = \\ &= 1 - r_{xy}^2 - r_{xz}^2 - r_{yz}^2 + 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}; \end{aligned} \quad (2.142)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_{xz} = \Delta_{zx} = r_{xy}r_{yz} - r_{xz}^2; \\ \Delta_{yz} = \Delta_{zy} = r_{xy}r_{xz} - r_{yz}^2; \\ \Delta_{xy} = \Delta_{yx} = r_{xz}r_{yz} - r_{xy}^2; \\ \Delta_{zz} = 1 - r_{xy}^2; \\ \Delta_{xx} = 1 - r_{yz}^2; \\ \Delta_{yy} = 1 - r_{xz}^2. \end{array} \right. \quad (2.143)$$

Коефіцієнти  $b_x$  і  $b_y$  називаються частковими коефіцієнтами регресії. Величина  $b_x$  відображає залежність значень  $Z$  від  $X$  за умови фіксованого  $Y$ ,  $b_y$  – залежність значень  $Z$  від  $Y$  за умови фіксованого  $X$ . Також використовують позначення  $b_x = b_{zx \cdot y}$ ,  $b_y = b_{zy \cdot x}$ .

Аналогічно складають рівняння площин регресії  $X$  по  $Y$  і  $Z$ .

### 2.10.3. Часткові коефіцієнти кореляції

Коефіцієнти кореляції  $r_{xy}$ ,  $r_{xz}$ ,  $r_{yz}$  характеризують тісноту зв'язку між двома відповідними величинами  $X$  і  $Y$ ,  $Z$  і  $X$ ,  $Y$  і  $Z$ . Вони називаються *простими або повними коефіцієнтами кореляції*.

У разі наявності трьох або більше величин зв'язок між будь-якими двома з них, наприклад  $X$  і  $Y$ , який характеризується коефіцієнтом  $r_{xy}$ , може бути обумовлений тим, що кожна з них тісно пов'язана з третьою величиною  $Z$ . Якщо виключити вплив третьої величини на дві інші, то може виявитися, що характер зв'язку між ними зовсім інший, іноді прямо протилежний.

Щоб виключити вплив однієї величини на дві інші, вводяться часткові коефіцієнти кореляції. Вони позначаються як  $r_{xy \cdot z}$ ,  $r_{xz \cdot y}$ ,  $r_{yz \cdot x}$ .

Літера в індексі після крапки показує, вплив якої ознаки виключається, а літера перед крапкою – між якими ознаками вивчається залежність. Слід зазначити, що

$$r_{xy \cdot z} = r_{yx \cdot z};$$

$$r_{xz \cdot y} = r_{zx \cdot y};$$

$$r_{yz \cdot x} = r_{zy \cdot x}.$$

Виключаючи вплив  $Z$  на  $X$  і  $Y$ , запишемо:

$$r_{xy \cdot z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}}. \quad (2.144)$$

Для  $r_{yz \cdot x}$  і  $r_{xz \cdot y}$  формули утворюються шляхом циклічної перестановки індексів. Слід мати на увазі, що за абсолютною величиною часткові коефіцієнти кореляції не перевищують одиниці.

#### 2.10.4. Множинні коефіцієнти кореляції

*Множинні або зведені коефіцієнти кореляції* характеризують зв'язок між однією з величин і сукупністю двох інших. Вони позначаються як  $r_{xyz}$ ;  $r_{yxz}$ ;  $r_{zxy}$ . Причому  $r_{xyz} = r_{xzy}$ ;  $r_{yxz} = r_{yzx}$ ;  $r_{zxy} = r_{zyx}$ .

Величину  $r_{z \cdot xy}$  розраховують за такою формулою:

$$r_{z \cdot xy} = \sqrt{\frac{r_{xz}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{xy} \cdot r_{xz} \cdot r_{yz}}{1 - r_{xy}^2}} = \sqrt{1 - \frac{\Delta}{\Delta_{zz}}}. \quad (2.145)$$

Тут  $\Delta$  і  $\Delta_{zz}$  обчислюються за формулами (2.142), (2.143), а  $r_{xyz}$  і  $r_{yxz}$  знаходяться з формули (2.145) шляхом циклічної перестановки індексів.

#### 2.10.5. Оцінка коефіцієнтів кореляції і регресії в системі трьох випадкових величин за вибірковими даними

Припустимо, що маємо вибірку значень трьох випадкових величин обсягом  $n$ . При невеликому числі спостережень виходить тривимірний варіаційний ряд. При великому значенні  $n$  складається тривимірна згрупована вибірка.

Оцінки числових характеристик розраховуються так само, як і для системи двох випадкових величин. При цьому використовуються формули для дискретних випадкових величин, де значення  $p_{ijk}$  замінюються частотами:

$\frac{1}{n}$  – для тривимірного варіаційного ряду;

$n_{ijk}/n$  – для тривимірної згрупованої вибірки,

де  $n_{ijk}$  – число спостережень, в яких значення випадкової величини  $X$  потрапили в  $i$ -й розряд  $X$ , величини  $Y$  – в  $j$ -й розряд  $Y$ , а величини  $Z$  – в  $k$ -й розряд  $Z$ .

*Тривимірний закон нормального розподілу*

Щільність ймовірності тривимірного нормального закону розподілу має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
f(x, y, z) = & \frac{1}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \sqrt{\Delta}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\Delta} \left[ \Delta_{xx} \cdot \frac{(x-m_x)^2}{\sigma_x^2} + \Delta_{yy} \cdot \frac{(y-m_y)^2}{\sigma_y^2} + \right. \right. \\
& + \Delta_{zz} \cdot \frac{(z-m_z)^2}{\sigma_z^2} + 2\Delta_{xy} \frac{(x-m_x)(y-m_y)}{\sigma_x \sigma_y} + 2\Delta_{xz} \frac{(x-m_x)(z-m_z)}{\sigma_x \sigma_z} + \\
& \left. \left. + 2\Delta_{yz} \frac{(y-m_y)(z-m_z)}{\sigma_y \sigma_z} \right] \right\}, \quad (2.146)
\end{aligned}$$

де  $\Delta = |R|$  – визначник нормованої кореляційної матриці;  $\Delta_{xx}, \Delta_{yy}, \Delta_{zz}, \Delta_{xy}, \Delta_{xz}, \Delta_{yz}$  – алгебраїчні доповнення визначника елементів.

Рівняння  $f(x, y, z) = C$  відповідає такій умові, що показник ступеня у формулі (2.112) прирівняний до постійного. Воно визначає еліпсоїд з однаковим для всіх значень  $C$  орієнтуванням головних осей. Якщо коефіцієнти кореляції  $r_{xy} = r_{xz} = r_{yz} = 0$ , то координатні площини паралельні головним осям еліпсоїдів.

Слід зазначити, що функція  $f(x, y, z)$  залежить від дев'яти параметрів:  $m_x, m_y, m_z, \sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, r_{xy}, r_{xz}, r_{yz}$ , які являють собою елементи нормованої кореляційної матриці.

### 2.10.6. Композиція законів розподілу

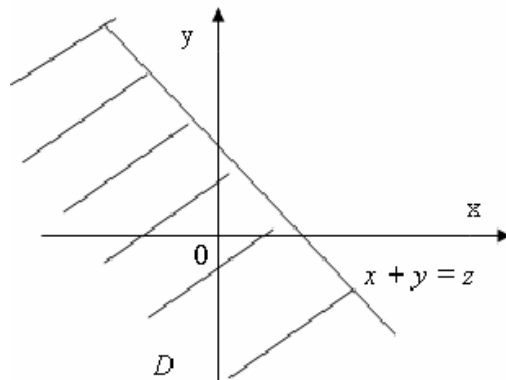
Припустимо, що  $X$  і  $Y$  незалежні випадкові величини, для яких щільності ймовірностей  $f_1(x)$  і  $f_2(x)$  відомі. Потрібно знайти щільність ймовірності  $g(z)$  випадкової величини  $Z$ , яка є сумою випадкових величин  $X$  і  $Y$ , тобто

$$Z = X + Y. \quad (2.147)$$

У силу незалежності  $X$  і  $Y$ , якщо розглядати їх як систему двох випадкових величин, щільність ймовірності  $f(x, y)$  запишеться так:

$$f(x, y) = f_1(x) \cdot f_2(x). \quad (2.148)$$

Розглянемо графічну інтерпретацію. Побудуємо на площині  $OXY$  пряму, рівняння якої  $x + y = z$ .



Ця пряма поділяє площину на дві частини: заштрихована частина – область  $D$ , де  $Z = X + Y < z$ .

Функцію розподілу  $G(z)$  для випадкової величини  $Z$  запишемо як

$$G(z) = \iint_D f(x, y) dx dy = \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{z-x} f(x, y) dy = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x) dx \int_{-\infty}^{z-x} f_2(y) dy;$$

$$g(z) = G'(z).$$

Тоді

$$g(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x) \cdot f_2(z-x) dx \quad (2.149)$$

Інший варіант формули для щільності ймовірності  $g(z)$  при перестановці  $x$  і  $y$  місцями має такий вигляд:

$$g(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(z-x) \cdot f_2(x) dy. \quad (2.150)$$

Встановлення закону розподілу випадкової величини, яка визначається сумою незалежних випадкових величин, за законами розподілу кожної з них називається *композицією*.

### Контрольні питання

1. Коли використовують множинну кореляцію?
2. Як розрахувати щільність розподілу?
3. Що характеризують часткові коефіцієнти кореляції?
4. Що характеризують множинні коефіцієнти кореляції?
5. Від чого залежить щільність імовірності тривимірного нормального закону розподілу?
6. Що називають композицією законів розподілу?

## 2.11. ПРИКЛАД ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ НА ГІРНИЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Найчастіше оцінюють вплив прямої діяльності об'єкта на споживання енергоносіїв. Пряма діяльність – це виробництво продукції визначеної якості, тобто чинником, від якого гіпотетично залежить кількість витраченої енергії, є насамперед обсяг виготовленої продукції. Для підприємства гірничо-металургійного профілю обсяг виготовленої продукції може визначатися, наприклад, кількістю видобутого вугілля або обсягом випуску котунів та ін.

На базі ретроспективних результатів енергоаудитів може бути виконаний статистичний аналіз, який повинен складатися з таких основних етапів:

- перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу ймовірностей значень чинників;
- оцінка впливу окремих чинників, вибір тих, які істотно впливають на результативну ознаку – дисперсійний аналіз;
- оцінка тісноти зв'язку між параметрами – кореляційний аналіз;
- розробка моделі, яка відображає загальний зміст взаємозв'язків, що вивчаються, – регресійний аналіз.

Гіпотезу про нормальний закон розподілу можливо перевірити кількома методами. Найчастіше для цього використовуються критерії Колмогорова,  $\chi^2$ ,  $\omega^2$ . Однак у багатьох випадках нормальність розподілу можна перевірити більш простим та наочним методом – за допомогою асиметрії та ексцесу.

На другому етапі здійснюється відбір чинників, які істотно впливають на результативну ознаку. Тут слід ураховувати, що для отримання надійних оцінок у модель не слід включати багато чинників, їх кількість не повинна перевищувати третину об'єму даних, які аналізуються.

Третій етап включає розрахунок коефіцієнтів кореляції і кореляційних відношень.

Четвертий етап полягає в побудові регресійних моделей, які відображають загальний зміст взаємозв'язків.

Розрізняють два види регресійних залежностей:

- одиночна регресія – відображує залежність між результативним чинником і одним із параметрів, що впливає на нього;
- мультирегресія – відображає залежність результативної ознаки і декількох параметрів.

Також регресія може бути лінійною, якщо залежності між параметрами лінійні, і нелінійною (логарифмічною, ступеневою, експоненціальною, поліноміальною та ін.), якщо залежності нелінійні.

Після побудови регресійних залежностей слід оцінити їх кількісно і проаналізувати, оскільки для правильного використання результатів, які одержують на «виході» регресійного аналізу, тобто прогнозування, треба зрозуміти їх сутність.

Розглянемо дані, що одержані за допомогою енергоаудитів з ретроспективою у 5 років (табл. 2.11.1–2.11.2.) Вважаємо результативними чинниками (результативними ознаками) витрати електроенергії  $E$  та стисненого повітря  $V_{cn}$  за місяць. За чинник, ступінь впливу якого буде вивчатися, виберемо обсяг випуску продукції за місяць  $M$ .

Визначимо правомірність застосування методів математичної статистики для аналізу одержаних даних. Для цього перевіримо гіпотези про нормальний закон розподілу ймовірностей значень чинників.

Перевіримо гіпотезу про нормальність розподілу ймовірностей значень кількості спожитої електричної енергії.

Таблиця 2.11.1

Значення кількості спожитої електроенергії  $E$  залежно від обсягів  
випуску продукції

$E$ , МВт·год	$M$ , тис.т		
	$M_1$	$M_2$	$M_3$
1	45013,7	37422,7	54411,9
2	48366	37852,2	53056,3
3	29794,5	48205,6	53528,3
4	44888,3	48175,2	38478,7
5	51770	52082	37645,7
6	44075,8	46392,1	32701,1
7	44599,9	48571	43767
8	23025,3	50826,8	45828,4
9	43675,6	51697,5	47502,2
10	38302,2	49152,9	56007,7
11	23282,4	57600,9	57337,9
12	44268,5	53778,8	57858,6
13	46303,9	58154,9	60307,9
14	47625,6	51986,1	61514,5
15	34738,9	55953,7	60212,1
16	21990	51869,6	60045,8
17	36284,8	55996,7	60215,3
18	34444,5	53389,7	60009,7
19	39793,7	56244,6	60317,4
20	31984,1	60138,2	60325,3



Таблиця 2.11.2

Значення об'єму спожитого стисненого повітря  $V_{cn}$  за різних обсягів випуску продукції

$V_{cn}$ тис м <sup>3</sup>	M, тис.т		
	$M_1$	$M_2$	$M_3$
1	1727	1382	2139
2	1795	1417	2069
3	1106	1820	2159
4	1724,2	1986	1444
5	1965	1998	1434
6	1677	1828	1435
7	1562	1631	1828
8	804	1778	1985
9	1619	2000	1700
10	1293	1700	1879
11	812	1349	1900
12	1705	1900	1909
13	1885	1900	1899
14	1822	1900	1900
15	1324	1900	1900
16	0	1900	1897
17	1487	1900	1899
18	1283	1900	1900
19	1407	1900	1900
20	1219	1888	1900

$$S_{kE(M)} = -0,29; E_{xE(M)} = 1,90.$$

Для  $n = 60$  та рівня значущості (малих ймовірностей)  $\alpha = 0,01$ ;  $S_{k_\alpha} = 0,723$ ;  $E_{x\alpha}^- = -1,05$ ;  $E_{x\alpha}^+ = 1,92$ , тобто в нашому випадку

$$\left| \tilde{S}_k \right| < \left| S_{k_\alpha} \right|, E_{x\alpha}^- < \tilde{E}_x < E_{x\alpha}^+.$$

Отже, гіпотеза про нормальний закон розподілу ймовірностей значень кількості спожитої електричної енергії приймається, що свідчить про правомірність застосування методів математичної статистики до цього показника.

Перевіримо гіпотезу про нормальний закон розподілу ймовірностей значень об'ємів спожитого стисненого повітря.

$$S_{kV(M)} = -0,24;$$

$$E_{xV(M)} = 1,52.$$

Для  $n = 60$  та рівня значущості  $\alpha = 0,01$   $S_{k_\alpha} = 0,723$ ;  $E_{x\alpha}^- = -1,05$ ;  $E_{x\alpha}^+ = 1,92$ , тобто у нашому випадку

$$\left| \tilde{S}_k \right| < \left| S_{k_\alpha} \right|; E_{x\alpha}^- < \tilde{E}_x < E_{x\alpha}^+.$$

Отже, гіпотеза про нормальний закон розподілу ймовірностей значень об'ємів споживання стисненого повітря приймається, що свідчить про правомірність застосування методів математичної статистики до цього показника.

Виконаємо наступний крок аналізу – перевіримо, чи впливає чинник  $M$  на результативні ознаки  $E$  та  $V_{cn}$ . Оскільки є тільки один чинник, вплив якого вивчається, можливо провести однофакторний дисперсійний аналіз. У даному випадку має місце варіант, коли всі вибірки мають однаковий обсяг. Такий аналіз можливо виконати за допомогою додатка **MS Excel** [25]. Уведемо вихідні дані у відповідний діапазон листа MS Excel. В меню **Сервіс** виберемо команду **Аналіз даних**, після чого відкриється діалогове вікно «Аналіз даних», в якому виберемо «Однофакторний дисперсійний аналіз» (рис.2.11.1). Після чого необхідно ввести параметри діалогового вікна «Однофакторний дисперсійний аналіз» (рис.2.11.2).

**Групування: по стовпцях** – саме таке розташування мають рівні чинника  $M$ ; позначимо **Мітки у першому рядку** (там показано рівні чинника  $M$ ); у **Вихідному інтервалі** достатньо позначити ліву верхню комірку вихідного діапазону. Після натиснення на кнопку **ОК**, з'являться таблиці однофакторного дисперсійного аналізу (рис.2.11.3).

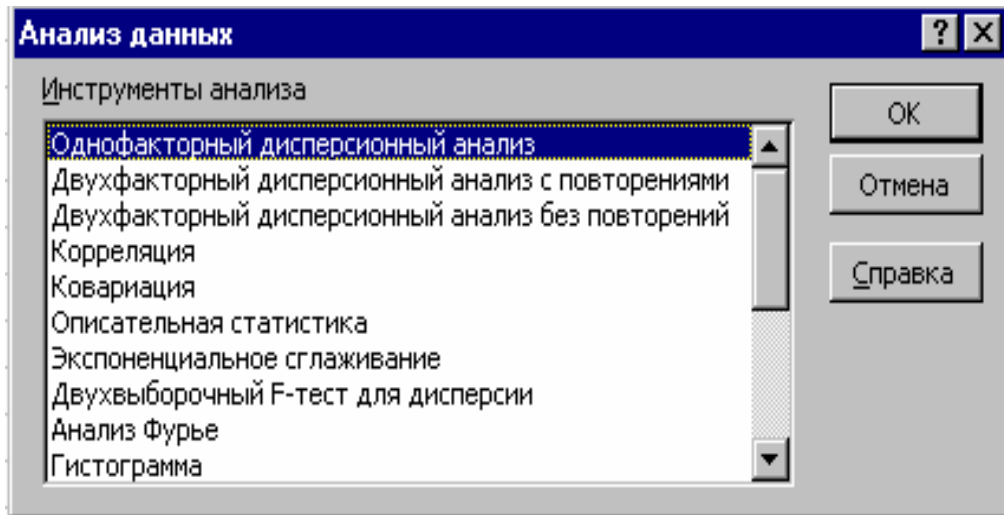


Рис.2.11.1. Диалогове вікно аналізу даних

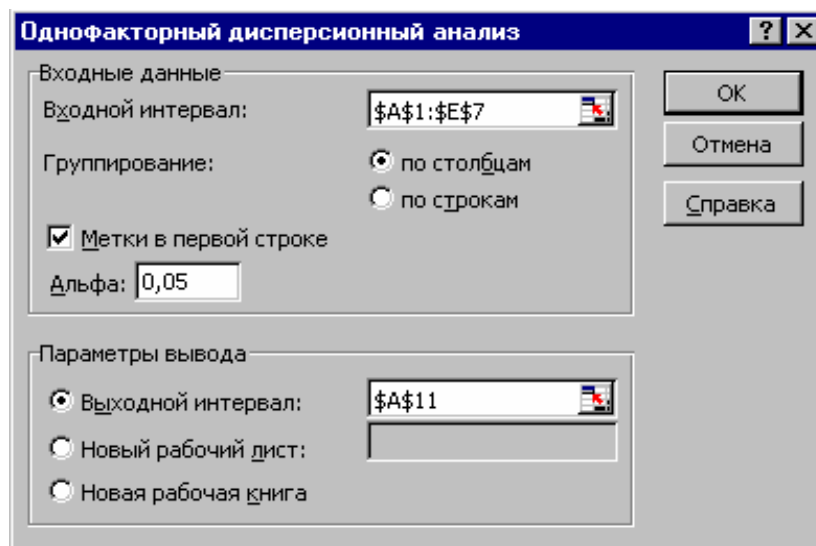


Рис.2.11.2. Диалогове вікно однофакторного дисперсійного аналізу

Microsoft Excel - Книга1

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

100%

Arial Cyr 10 Ж К Ц

	A	B	C	D	E	F	G
14							
15	Дисперсионный анализ						
16	<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
17	Между группами	2812693427	2	1406346713	16.87352	1.75472E-06	3.15884563
18	Внутри групп	4750743371	57	83346374.9			
19							
20	Итого	7563436798	59				
21							

Рис.2.11.3. Таблица результатов дисперсійного аналізу для чинника E

Отже, за результатами однофакторного дисперсійного аналізу виходить, що обсяг виготовленої за місяць продукції (чинник  $M$ ) значно впливає на кількість витраченої електроенергії (чинник  $E$ ), тому що  $F_{розр} > F_{кр}$  ( $16,88 > 3,16$ ).

Так само перевіримо ступінь впливу чинника  $M$  на об'єм витраченого за місяць стисненого повітря  $V_{ст}$ . Результати наведені на рис.2.11.4. За ними виходить, що обсяг виготовленої за місяць продукції (чинник  $M$ ) значно впливає також на об'єм витраченого стисненого повітря (чинник  $V_{ст}$ ), тому що  $F_{розр} > F_{кр}$  ( $11,596 > 3,16$ ).

Источники вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	2332231.2	2	1166115.61	11.59646	5.95053E-05	3.15884563
Внутри групп	5731798.3	57	100557.864			
Итого	8064029.5	59				

Рис.2.11.4. Таблиця результатів дисперсійного аналізу для чинника  $V_{ст}$

Тепер з'ясуємо, чи існує зв'язок між чинниками, що розглядаються. Якщо існує, то який – лінійний чи нелінійний? Для цього необхідно спочатку розрахувати відповідні коефіцієнти кореляції та, якщо це буде необхідно для виявлення нелінійного зв'язку, кореляційні відношення. Такі розрахунки можливо виконати за допомогою вбудованої функції додатка **MS Excel** "**КОРРЕЛ**". Отримані такі значення коефіцієнтів кореляції:

$$r_{MV} = 0,618017;$$

$$r_{ME} = 0,746541.$$

Таким чином зв'язок між обома парами чинників можна вважати приблизно лінійним, оскільки значення коефіцієнтів кореляції наближаються до одиниці.

Наступним кроком є регресійний аналіз. Розрахувати коефіцієнти рівнянь регресії можливо також за допомогою вбудованих функцій додатка **MS Excel** "**УКЛН**" й "**ВІДРІЗОК**". Рівняння регресії (рис.2.11.5, 2.11.6) будуть такими:

$$E = 107,68 \cdot M - 14865;$$

$$V = 2,7392 \cdot M + 119,29.$$

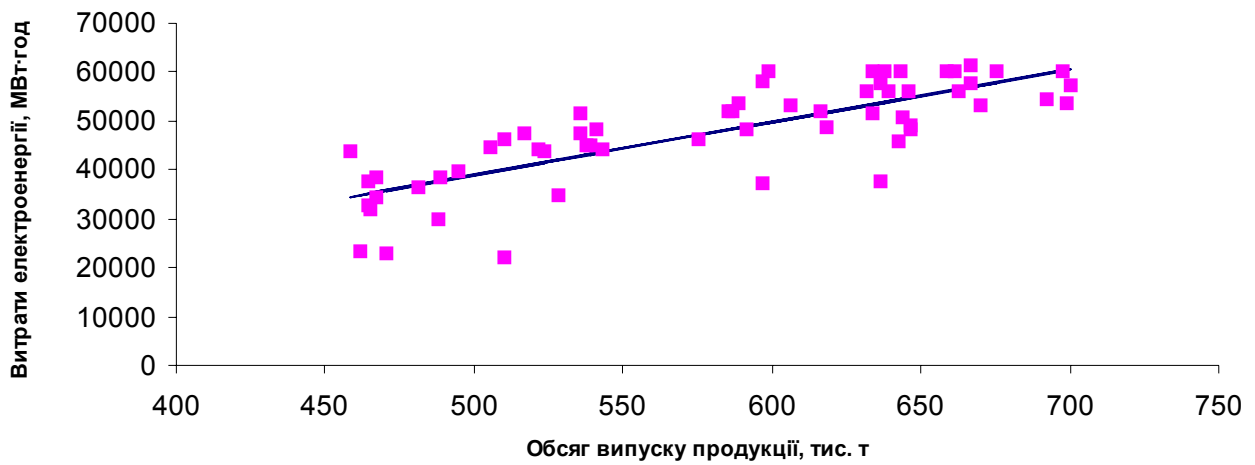


Рис.2.11.5. Залежність кількості витраченої електроенергії від обсягу виготовленої продукції

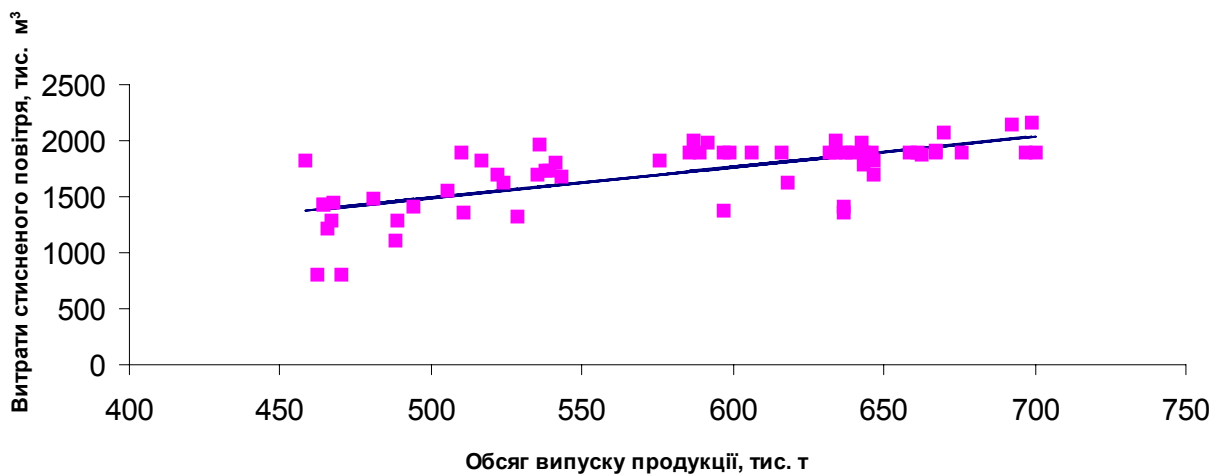


Рис.2.11.6. Залежність об'єму витраченого стисненого повітря від обсягу виготовленої продукції

### 3 МЕТОДИ ОБРОБКИ І ПОДАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ

Найчастіше інформацію, використовувану в науці, техніці, зокрема в енергетичному менеджменті, подають у вигляді таблиць та графіків. Вони широко застосовуються для аналізу даних, подання результатів досліджень та ін. Тому дана глава присвячена класифікації таблиць і графічних зображень, основним методам, що використовуються для їх побудови. Наведено приклади розрахунків та побудови графіків.

#### 3.1. ВИДИ І ЗАДАЧІ ГРУПУВАНЬ. ТАБЛИЧНЕ ПОДАННЯ ДАНИХ

Одним з основних і найпоширеніших методів обробки й аналізу первинної інформації про об'єкт дослідження є групування.

Під *групуванням* в статистиці розуміють поділ одиниць статистичної сукупності на групи, однорідні в якому-небудь істотному відношенні, і аналіз характеристик таких груп з метою виділення типів явищ, вивчення їх структури і взаємозв'язків [29].

*Метод групувань* є основою застосування інших методів статистичного аналізу при вивченні різних сторін і характерних особливостей явищ. По суті в процесі дослідження метод групувань виконує деякі функції, аналогічні функціям експерименту в природних науках, наприклад, при застосуванні методу групувань за окремими ознаками та їх комбінаціями можна визначити закономірності і взаємозв'язки явищ. При використанні методу групувань з'являється можливість дослідити відношення різноманітних факторів і силу їхнього впливу на результативні показники.

Поняття статистичного групування охоплює цілий комплекс операцій:

- об'єднання зареєстрованих при спостереженні одиничних випадків у групи, схожі в тому або іншому відношенні, оскільки цілісну характеристику сукупності необхідно поєднувати з характеристикою основних її частин, класів та ін.;
- підсумовування за виділеними групами та за всією сукупністю в цілому;
- подання результатів групування у вигляді *таблиць, діаграм, графіків* тощо.

Метод групувань також передбачає застосування плану спостереження за характеристиками об'єкта. При його складанні визначається послідовність обробки даних, розробляються макети зведених таблиць, на основі яких дається характеристика розмірам, структурі і взаємозв'язку явищ, що вивчаються. Указується також, хто і за які терміни збирає дані, яким способом, куди вони надходять і хто виконує їх подальшу обробку.

Залежно від кількості ознак, на основі яких виконують групування, їх поділяють на прості та складні. Використання однієї ознаки, що характеризує лише одну сторону, одну рису в розвитку явища, дозволяє виконати *просте групування*.

Якщо в основі групування лежить декілька ознак, то таке групування називають *складним*. Складне групування може бути комбінаційним або багатовимірним. При використанні *комбінаційного групування* групи, виділені за однією ознакою, поділяються на підгрупи за іншою ознакою, які у свою чергу можуть бути також поділені за наступною ознакою і т.д. Загальне число виділених груп буде дорівнювати кількості ознак групування, помножених на кількість груп, виділених за кожною з них. У разі, якщо групування здійснюється не послідовно за окремими ознаками, а одночасно за комплексом ознак, то його називають *багатовимірним*.

Кількість виділених груп може залежати також від характеру варіації показника, що вивчається. Якщо як ознака для групування використовується дискретна величина, тобто ознака, що може приймати тільки певні значення (наприклад, цілі), то число виділених груп відповідає кількості варіантів значень ознаки, якщо їх число не дуже велике. Наприклад, це поділення електротехнічного устаткування за рівнем номінальної напруги, струмопровідних частин ліній електропередач за номінальним перерізом, газопроводів за номінальним тиском і т.д. У цьому випадку кількість груп визначається числом реально існуючих варіантів значень ознаки, що вивчається. Але дискретна ознака може мати і дуже велике число варіантів значень, які не завжди можуть повторюватися. У таких випадках варіанти значень об'єднуються в групи. Наприклад, при групуванні підприємств за числом одиниць встановленого металорізувального устаткування, за кількістю встановлених вузлів обліку електроенергії та ін.

При безперервному характері варіації ознаки групування, коли в певних межах ознака може приймати будь-яке значення (ціле і дробове), увесь діапазон зміни значень ознаки також розбивається на інтервали.

При застосуванні методу групувань на практиці необхідно: 1) вибрати ознаки групування або їх комбінації; 2) визначити число груп і величини інтервалів групування; 3) установити для кожного конкретного групування склад тих показників, якими мають характеризуватися виділені групи; 4) скласти макет таблиці, в якій будуть наведені результати групування.

Результати групувань подаються у вигляді таблиць. Статистична таблиця – форма раціонального і наочного викладення цифрових характеристик досліджуваних явищ та їх складових частин. Узагальнення інформації і подання її у вигляді зведених таблиць дає можливість характеризувати розміри, структуру та динаміку явищ, що вивчаються. У структурі таблиці виділяють підмет і присудок. *Підметом таблиці* є сукупності об'єктів, що вивчаються, або їх групи. *Присудок таблиці* відображає те, що говориться про об'єкти за допомогою цифрових даних.

Залежно від виду підмета таблиці поділяються на три групи:

- *прості*, в яких містяться переліки деяких одиниць спостереження для досліджуваних об'єктів або показники, що відносяться до переліку хронологічних дат, територіальних підрозділів. Відповідно таблиці можуть бути простими переліками, хронологічними або територіальними;
- *групові* таблиці, в яких сукупність об'єктів, що розглядаються, розбита

на окремі групи за якою-небудь однією ознакою, причому кожна з груп може бути охарактеризована за рядом показників;

- *комбінаційні* таблиці, в яких сукупність даних розбита на групи не за однією, а за декількома ознаками.

Вибір типу таблиці завжди залежить від мети її побудови. Якщо таблиці використовуються для практичних цілей (наприклад, планування та управління), то в них мають міститися відомості про ті частини, в яких розглядаються ці процеси. Найчастіше для цього використовують прості таблиці, однак можуть застосовуватися і групові. Якщо необхідно розглянути досліджуваний об'єкт детальніше, то використовують групові і комбінаційні таблиці.

Приклад простої таблиці – це табл. 3.1.1, де наведена структура споживання первинної енергії у різних країнах та світі в цілому [30]. Дані таблиці дозволяють порівняти у процентному відношенні показники використання паливно-енергетичних ресурсів у балансі різних країн та середні для світу в цілому. Бачимо, що у більшості країн перевага надається нафті, а в Україні, на відміну від цього, – природному газу. Відновлювальні джерела енергії використовуються в Україні менше, ніж в інших країнах. Таким чином, розглянута проста таблиця дозволяє проаналізувати структуру енергоспоживання, порівняти показники між собою і зробити цей процес більш наочним.

Таблиця 3.1.1

*Структура споживання первинної енергії в Україні, країнах ЄС, США та світі в цілому*

Первинна енергія	Споживання первинної енергії, %, в			
	світі	Україні	країнах ЄС	США
Природний газ	21	41	22	24
Нафта	35	19	41	38
Вугілля	23	19	16	23
Уран	7	17	15	8
Гідроресурси та інші відновлювальні джерела	14	4	6	7
Усього	100	100	100	100

На відміну від простих групові і комбінаційні таблиці мають також такі аналітичні властивості: вони дозволяють наочно здійснювати порівняння і розкривати істотні зв'язки і відмінності в розвитку явищ. Прикладом групової таблиці може бути табл. 3.1.2. У ній усі міждержавні лінії електропередач України розбиті на групи за рівнем напруги. Оскільки в Україні прийняті дискретні стандартні класи напруги, то дана таблиця є прикладом дискретного групування.

Таблицю з безперервним характером групування розглянуто на прикладі групування областей України за рівнем концентрації генеруючої потужності (див. табл. 3.1.3). Для кожної з областей розрахована концентрація потужності, потім за цими даними виділено чотири групи областей: з концентрацією



потужності до 0,1 кВт/люд; від 0,1 до 1 кВт/люд; від 1 до 2 кВт/люд та вище 2 кВт/люд [31].

Таблиця 3.1.2

*Міждержавні лінії електропередачі України та можливості експорту електроенергії за кордон*

Країна	Кількість повітряних ліній за класами напруги, кВ				
	750	400–500	220–330	0,4–110	Усього
Російська Федерація	1	3	10	18	32
Молдова	–	–	7	18	25
Білорусь	–	–	2	6	8
Польща	1		1	–	2
Словаччина	–	1	–	1	2
Угорщина	1	1	2	–	4
Румунія	1	1	–	–	2

Таблиця 3.1.3

*Концентрація генеруючої потужності в регіонах України*

Область	Генеруюча потужність, МВт	Населення, тис. чол.	Концентрація генеруючої потужності, кВт/ люд	Група за рівнем концентрації потужності, кВт/люд
Автономна республіка Крим	375,30	2632,40	0,15	0,1 – 1
Волинська	–	1078,30	–	До 0,1
Вінницька	1828,50	1889,70	0,95	0,1 – 1
Дніпропетровська	54247,55	3888,80	1,35	1 – 2
Донецька	10120,35	5266,90	1,90	1 – 2
Житомирська	4,49	1493,10	0,003	До 0,1
Закарпатська	37,12	1288,10	0,03	До 0,1
Запорізька	8951,52	2094,80	4,30	Вище 2
Івано-Франківська	2531,19	1466,80	1,80	1 – 2
Київська	6878,20	4554,00	1,52	1 – 2
Кіровоградська	27,80	1236,20	0,02	До 0,1
Луганська	1882,35	2827,10	0,66	0,1 – 1
Львівська	697,60	2770,30	0,25	0,1 – 1
Миколаївська	3043,02	1352,10	2,29	Вище 2
Одеська	66,60	2606,50	0,03	До 0,1
Полтавська	254,88	1752,80	0,14	0,1 – 1
Ровенська	1829,10	1194,50	1,56	1 – 2
Сумська	13,09	1411,10	0,01	До 0,1
Тернопільська	15,18	1177,70	0,01	До 0,1

Продовження табл. 3.1.3

Область	Генеруюча потужність, МВт	Населення, тис. чол.	Концентрація генеруючої потужності, кВт/ люд	Група за рівнем концентрації потужності, кВт/люд
Харківська	2816,58	3123,30	0,88	0,1 – 1
Херсонська	79,80	1275,20	0,06	До 0,1
Хмельницька	1001,16	1517,00	0,66	0,1 – 1
Черкаська	664,62	1517,60	0,43	0,1 – 1
Чернігівська	210,54	1367,30	0,15	0,1 – 1
Чернівецька	8,02	945,40	0,005	До 0,1

Ідея комбінаційної таблиці полягає в тому, що кожному з груп в груповій таблиці розбивають на підгрупи за якою-небудь ознакою; виділені підгрупи можуть далі поділятися за наступною ознакою і т.д. Прикладом може бути табл. 3.1.4 [30].

Результати комбінаційного групування за великою кількістю ознак, навіть при невеликому числі інтервалів групування, втрачають свою найважливішу перевагу – наочність. Використання комбінаційних таблиць і системи взаємозв'язаних групувань дозволяє здійснювати глибокий і всебічний аналіз складних явищ.

Групування, здійснюване не послідовно за окремою ознакою, як при комбінаційному групуванні, а одночасно за комплексом ознак, називається *багатовимірним*. Як уже було відзначено, одне й те саме явище, що вивчається, можна охарактеризувати за допомогою набору ознак. Наприклад, для характеристики енергоспоживання підприємств можуть бути використані такі показники: питомі значення споживання енергії за різними типами обладнання або за різними видами паливно-енергетичних ресурсів; споживання енергії підрозділами та підприємством у цілому; питома частка автоматичних машин у складі робочого устаткування; електрооснащеність праці, машинооснащеність робітників; ступінь охоплення механізованою працею, коефіцієнт оновлення машин та устаткування і т.ін.

Характеризуючи таким чином кожному одиницю сукупності набором ознак, можна розглядати цю одиницю як точку в  $n$ -вимірному просторі, а завдання багатовимірного групування полягатиме у виділенні точок, які встановлюють однорідні групи одиниць. Мірою близькості (схожості) точок, за якими вони об'єднуються у групи, можуть служити різні критерії. Залежно від вибраного критерію існують різні методи багатовимірного групування.

Застосування методів багатовимірного групування пов'язане з великою обчислювальною роботою і вимагає використання електронної обчислювальної техніки. За допомогою спеціальних алгоритмів на ЕОМ здійснюється формування груп, в яких одиниці сукупності об'єднуються на основі схожості за усім комплексом ознак.

Таблиця 3.1.4

Баланс електроенергії в Україні за 2010 р., млн кВт·год

Пропозиція електроенергії	Виробництво електроенергії	Електро-станціями загального користування	ТЕС та ТЕЦ	86590	
			ГЕС	10300	
			ГАЕС	2200	
			АЕС	101200	
		Блок-станціями та іншими джерелами	Блок-станціями	9775	
			Електро-станціями на відновлюваних джерелах енергії (без урахування малих ГЕС)	135	
			у тому числі: іншими локальними джерелами	85	
		Імпорт електроенергії			
	Попит на електроенергію	Споживання електроенергії (брутто)	Споживання електроенергії (нетто)	Промисловість	91793
				Сільгосп-споживачі	3426
Транспорт				9235	
Будівництво				948	
Комунально-побутові споживачі				15296	
Інші непромислові споживачі				4707	
Населення				26444	
Втрати електроенергії в мережах при транспортуванні				23300	
Експорт електроенергії			11350		

### Контрольні питання

1. У чому полягає значення методу групувань в аналізі даних?
2. Які основні завдання вирішуються за допомогою методу групувань?
3. Які групування називають комбінаційними? Наведіть приклад.
4. У чому полягає відмінність між комбінаційним і багатовимірним групуванням?

5. Які основні проблеми вирішуються в процесі групування статистичних даних?
6. Як виконується групування, якщо ознака групи є дискретною величиною?
7. В яких випадках необхідно визначати інтервали групування за кількісними ознаками?
8. Які функції виконують статистичні таблиці?
9. Що називається підметом та присудком таблиці?
10. Які існують види статистичних таблиць?

### **3.2. ЗАГАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ГРАФІЧНОГО ПОДАННЯ ДАНИХ**

Графіки, як і статистичні таблиці, є важливим засобом для відображення і аналізу статистичних даних, оскільки наочне уявлення полегшує сприйняття інформації. Графіки дозволяють миттєво охопити та осмислити сукупність показників – виявити найтипівіші співвідношення і зв'язки цих показників, визначити тенденції розвитку, охарактеризувати структуру, ступінь виконання плану, оцінити географічне розміщення об'єктів. Цим пояснюється широке застосування графіків для висвітлювання статистичної інформації, що характеризує результати розвитку різних сфер економіки і соціальних відносин. Нині розроблені пакети прикладних програм комп'ютерної графіки, які полегшують роботу дослідника в практичному застосуванні графіків. Найпоширенішими пакетами прикладних програм є: Excel; Supercalc; Statgraf та ін.

Для подання даних використовуються найрізноманітніші види графіків, які класифікуються за двома основними ознаками [31, 32]:

- а) формою графічного зображення;
- б) способом і метою побудови зображення.

Незважаючи на різноманітність графічних зображень, при їх побудові застосовують загальні правила. По-перше, відповідно до мети використання вибирають графічний образ, тобто вид графічного зображення. По-друге, визначають поле графіка, тобто той простір, в якому розміщуються геометричні знаки. По-третє, задають масштабні орієнтири за допомогою масштабних шкал (рівномірних або нерівномірних). По-четверте, вибирають систему координат, необхідну для розміщення геометричних знаків у полі графіка. Найпоширенішою при побудові статистичних графіків є система прямокутних координат.

#### **3.2.1. Класифікація графіків за формою зображення**

Форми подання графічних даних різноманітні: геометричні і фігурні (негеометричні) знаки з площинним або об'ємним зображенням. Відповідно до цього графіки поділяють на точкові, лінійні, площинні та просторові (об'ємні).

При побудові точкових діаграм як графічні образи використовують сукупності точок, при побудові лінійних – лінії, ізолінії. Основний принцип побудови площинних діаграм зводиться до того, що всі величини зображуються

у вигляді геометричних фігур, які в свою чергу поділяють на стовпчикові, смугові, кругові, секторні, квадратні, фігурні і фонові.

За такими самими принципами але з використанням об'ємних фігур, знаків можуть бути побудовані об'ємні графіки. Крім того, до них відноситься особлива форма об'ємного графічного зображення – поверхневий розподіл, що відображає залежність одночасно трьох величин.

### 3.2.2. Класифікація графіків за призначенням і способом побудови зображення

За призначенням і способом побудови графіки поділять на діаграми, графічні карти, контрольні карти, взаємопов'язані графіки (див. рис. 3.2.1).

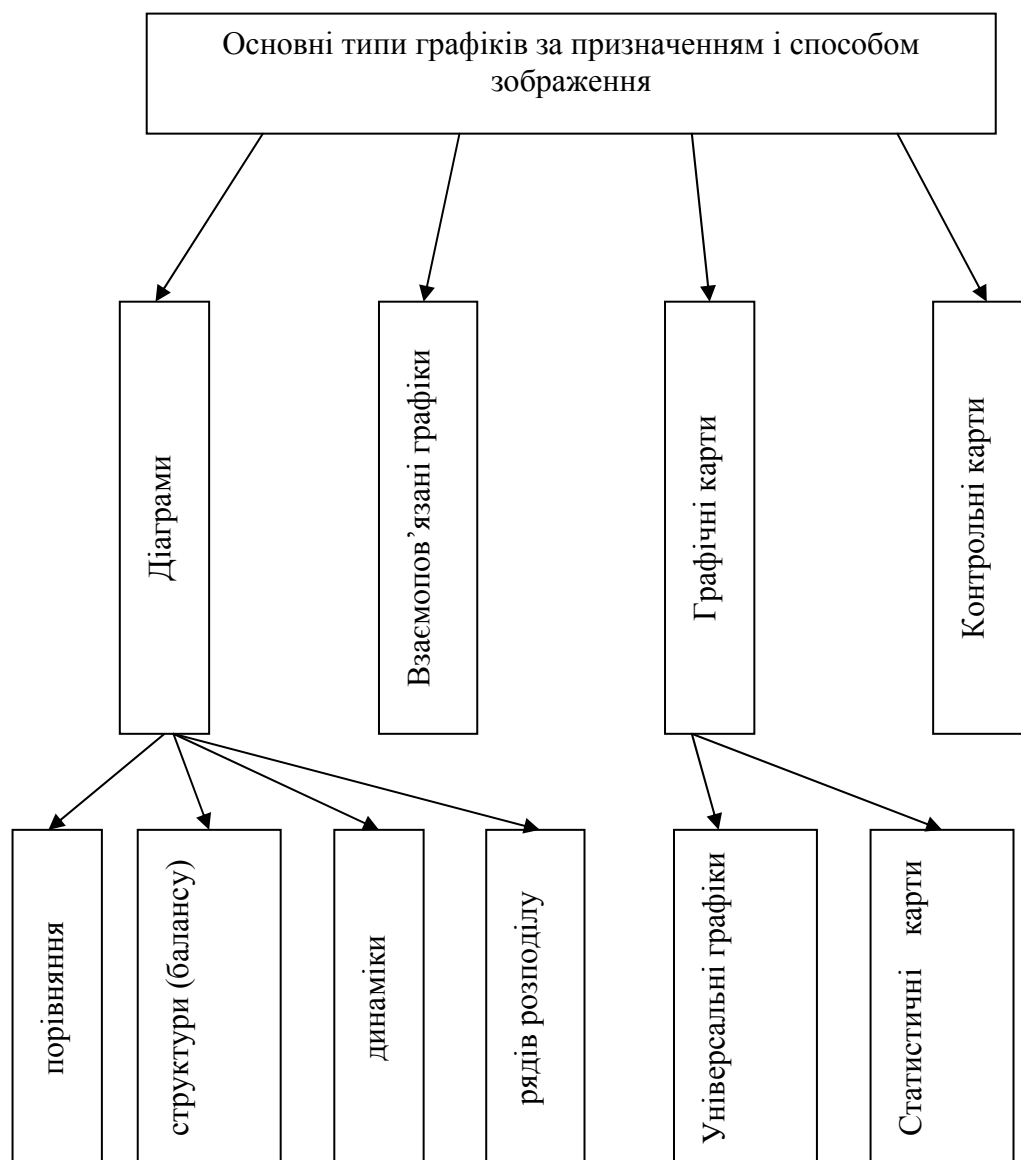


Рис. 3.2.1. Класифікація графіків за призначенням і способом побудови зображення

Треба відзначити, що класифікація видів графічного зображення залежно від мети побудови є не дуже чіткою, оскільки деякі з них тісно пов'язані між

собою, або іноді збігаються. Наприклад, аналіз структури або зіставлення рядів динаміки часто виконується з метою порівняння даних. Тому засоби, що використовуються в цих випадках, можуть бути однаковими. Коротко розглянемо характеристики основних типів графічних зображень.

Діаграми – найпоширеніший спосіб графічного зображення. Вони характеризують кількісні співвідношення величин. Види і способи їх побудови різноманітні. Діаграми застосовуються для наочного зіставлення в різних аспектах (просторовому, тимчасовому та ін.) незалежних одна від одної величин, наприклад, вироблення електроенергії, потужності, що генерується, споживаної електроенергії. При цьому порівняння досліджуваних сукупностей здійснюється за якою-небудь істотною варіювальною ознакою.

Залежно від задачі, що вирішується, виділяють діаграми порівняння, структури, динаміки, накопичення, рядів розподілу величин варіаційного ряду.

Графічні карти – це графіки кількісного розподілу ознак на поверхні або в часі. За своєю основною метою вони близькі до діаграм і специфічні лише в тому, що відображають просторове або тимчасове розміщення чи поширеність даних. Вони поділяються на універсальні графіки і статистичні карти (картограми, картодіаграми). Взаємопов'язані графіки – це вид графічних зображень, які дозволяють дослідити зміну у часі різноманітних взаємопов'язаних показників. Вони поділяються на накопичувальні і технологічні.

Контрольні карти – це вид графічних зображень даних і контрольного діапазону, за їх допомогою можна здійснювати поточний контроль виробничого процесу на промисловому підприємстві і прогнозувати його розвиток.

Розглянуті види графіків не є вичерпними, але вони найчастіше використовуються.

Детальніше характеристики цих видів графіків розглянуті у відповідних розділах.

### **Контрольні питання**

1. Для чого призначене графічне зображення даних?
2. За якими ознаками класифікуються графіки?
3. Які існують загальні правила побудови графічних зображень?
4. Як поділяються графіки за призначенням?

### **3.3. РЯДИ ДИНАМІКИ**

Процес перебігу явищ у часі прийнято називати динамікою. Значення величини ознаки, що змінюється в часі, розташовані в хронологічному порядку, називаються рядом *динаміки* або часовим рядом. *Рівнем ряду називається значення ознаки в деякий момент або за деякий інтервал часу* [33, 34].

Приклад ряду динаміки наведений в табл. 3.3.1. Тут як рівні ряду розглядаються значення питомого енергоспоживання в Україні за різні роки.

Таблиця 3.3.1

Питоме річне споживання енергії в Україні, т у.п./люд  
(за даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА))

Рік	1990	2000	2005
Показник	7,1	3,7	4,3

Існують різні види рядів динаміки, які класифікуються за такими ознаками:

1. Залежно від способу вираження рівнів ряди динаміки поділяють на ряди *абсолютних і відносних величин*.

2. Залежно від того, що виражають рівні ряду на певні моменти часу, розрізняють інтервальні і моментні ряди динаміки. *Моментний ряд динаміки* відображує значення величини ознаки в різні моменти часу. Дані табл. 3.3.1 є прикладом моментного ряду динаміки. *Інтервальний ряд динаміки* показує значення величини ознаки протягом часу. Прикладом інтервального ряду може служити добовий або змінний графік навантаження електроустановки.

3. Залежно від відстані між рівнями ряди динаміки поділяють на *ряди з рівними і нерівними інтервалами відліку*. Дані табл. 3.3.1 є рядом з нерівномірними інтервалами відліку. Якщо в таблицю додати стовпець даних, відповідний питомому енергоспоживанню в 1995 році, то інтервали відліку стануть однаковими і будуть дорівнювати 5 рокам.

4. Залежно від наявності основної тенденції у показника ряди динаміки поділяються на *стаціонарні і нестаціонарні*. У стаціонарному ряду динаміки його математичне сподівання (середнє значення) і дисперсія постійні у часі. У нестаціонарному ряду динаміки або математичне сподівання, або дисперсія, або обидві величини залежать від часу.

Ряди динаміки, представлені технологічними або економічними показниками, часто є нестаціонарними. Нестационарність таких рядів найчастіше обумовлена зміною математичного сподівання у часі. У цьому випадку ряд динаміки можна записати у вигляді  $\varepsilon_t$ ,  $t = 1, 2, \dots$ , де  $\varepsilon_t$  – випадкова величина.

Для кожного моменту часу визначимо математичне сподівання  $\varepsilon_t$ , яке дорівнює  $M(\varepsilon_t)$  та є усередненням усіх реалізацій  $\varepsilon_t$  для фіксованого часу  $t$ . Для змінного дискретного часу  $t$  величина  $M(\varepsilon_t)$ ,  $t = 1, 2, \dots$ , є його функцією. Якщо ця функція змінюється у часі, то ряд динаміки – нестаціонарний. Математичне сподівання, що змінюється у часі, характеризує тенденцію зміни ряду динаміки і називається його трендом.

### 3.3.1. Зіставлення рівнів ряду динаміки

Для правильної побудови ряду динаміки необхідно забезпечити зіставленість його рівнів. Незіставленість може виникнути через зміну одиниць виміру. Не можна, скажімо, частину ряду динаміки виражати в Дж, а частину – в ккал. Наприклад, ряд, наведений у табл. 3.3.1, є зіставленим, оскільки він виражений в однакових одиницях.

Важливо також, щоб моменти часу, для яких визначено рівні часового ряду, мали однаковий економічний сенс. Наприклад, може бути недоцільним порівнювати кількість палива, споживаного опалювальними котельними в січні і червні, оскільки в нашій географічній зоні червень не входить до опалювального сезону, а тому зниження споживання палива визначається відсутністю опалення в цей період.

Незіставленість може виникнути у разі зміни границі території. Наприклад, розглядається споживання електричної енергії Амур-Ніжньодніпровським районом м. Дніпропетровська протягом останніх 30 років. Цей ряд не можна назвати зіставленим, оскільки в інтервалі часу, що розглядається, з району був виділений новий – Індустріальний.

Для зведення рівнів рядів динаміки до зіставленого вигляду, якщо є необхідна інформація, звертаються до способу «змикання рядів динаміки». Він полягає в тому, що використовуються дані за один і той самий період часу, виражені в різних цінах або отримані за допомогою різних методик. За цими даними визначається коефіцієнт, за яким перераховується решта рівнів ряду.

**Приклад.** У табл. 3.3.2 містяться дані про вартість електроенергії, спожитої підприємством, приведені в різних одиницях виміру. Необхідно отримати ряд динаміки, рівні якого можна зіставити.

Таблиця 3.3.2

*Вартість спожитої електроенергії*

Характеристика ряду	Рік				
	1995	1996	1997	1998	1999
Вартість електроенергії, млрд крб	225,3	318,2	–	–	–
Вартість електроенергії, тис. грн	–	3182	3958	2121	2156
Зімкнений ряд динаміки, тис. грн	2253	3182	3958	2121	2156
Зімкнений ряд динаміки, %	70,8	100,0	124,4	66,7	67,8

Визначимо коефіцієнт перерахунку  $k$ , використовуючи дані за 1996 р., оскільки саме для нього відома вартість, виражена в обох одиницях виміру.

$$k = 3182 : 318,2 = 10.$$

Обчислимо рівень зімкненого ряду для 1995 року:

$$225,3 \cdot k = 225,3 \cdot 10 = 2253 \text{ тис. грн.}$$

Отриманий зімкнений ряд динаміки наведений у третьому рядку табл. 3.3.2.

Зімкнений ряд динаміки можна отримати й іншим способом. Рівень ряду для року, в якому є дані, виражені в обох грошових одиницях, приймається за 100%. Решта рівнів, що виражені в різних одиницях, перераховуються у відсотки відносно рівня, прийнятого за 100%:

$$1995 - 225,3 / 318,2 \cdot 100\% = 70,8 \%;$$

$$1997 - 3958 / 3182 \cdot 100\% = 124,4 \%;$$



1998 –  $2121 / 3182 \cdot 100\% = 66,7\%$ ;  
 1999 –  $2156 / 3182 \cdot 100\% = 67,8\%$ .

Зімкнений ряд у відсотках наведений в останньому рядку табл. 3.3.2.

Описаний спосіб одержання ряду динаміки із зіставленими рівнями не є єдиним. Існують також інші способи одержання зіставлених часових рядів динаміки, які впливають з їх особливостей.

### 3.3.2. Графічне зображення рядів динаміки

Для характеристики динаміки, тобто оцінки зміни явищ у часі, а також для характеристики варіації в рядах розподілу зручно застосовувати *лінійні діаграми*.

Вони будуються в прямокутній системі координат. По осі абсцис відкладають відрізки, відповідні датам або періодам часу, по осі ординат – рівні ряду динаміки або темпи їх зміни. Отримані точки з'єднують відрізками у вигляді ламаної лінії. Кожна точка лінійної діаграми відповідає рівню динамічного ряду (або темпу його зміни) на певний момент або за якийсь період часу. В одній системі координат може бути розміщено декілька діаграм, що дозволяє порівнювати динаміку зміни різних показників або одного показника для різних регіонів або країн. На рис. 3.3.1 та 3.3.2 показані ряди динаміки споживання електричної енергії та вугільного палива в Україні за прогнозами Міністерства палива та енергетики [30] для трьох варіантів розвитку енергетики: песимістичного, базового та оптимістичного.

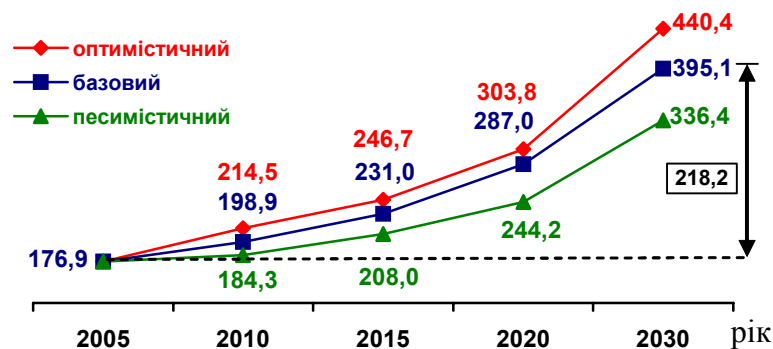


Рис. 3.3.1. Лінійні діаграми споживання електричної енергії в Україні, млрд кВт·год, за прогнозами Міністерства палива та енергетики

Для тієї самої мети, а саме: аналізу динаміки соціально-економічних явищ, оцінки виконання плану і характеристики варіації в рядах розподілу можуть використовуватися також *стовпчикові діаграми*. Стовпчики розташовуються поряд або окремо на однаковій відстані. Вони мають однакову основу, а їх висота пропорційна числовим значенням рівнів ознаки. За висотою стовпчиків цієї діаграми визначають співвідношення між рівнями показників, що вивчаються. Приклад такої діаграми наведений на рис. 3.3.3.

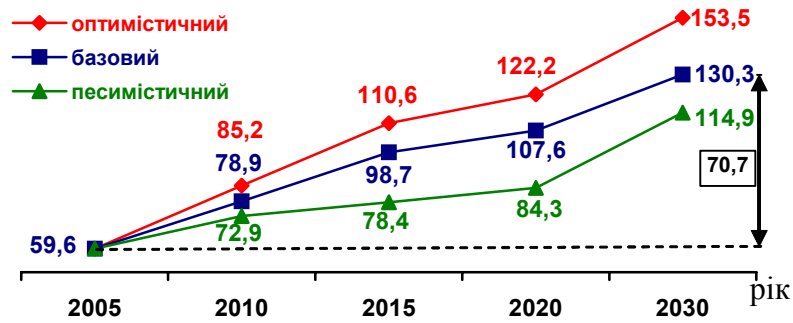


Рис. 3.3.2. Лінійні діаграми споживання вугільного палива в Україні, млн тонн, за прогнозами Міністерства палива та енергетики

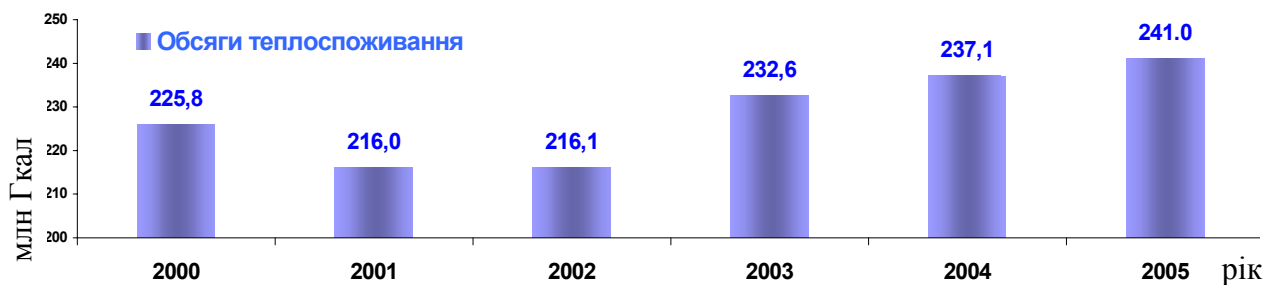


Рис. 3.3.3. Стовпчикова діаграма динаміки споживання теплової енергії (брутто) в Україні

### Контрольні питання

1. Які існують види рядів динаміки? Наведіть приклади.
2. За яких умов ряди динаміки є незіставленими?
3. Яким чином можна одержати зіставлений ряд динаміки?
4. Які основні підходи застосовуються до графічного зображення рядів динаміки?

### 3.4. РЯДИ РОЗПОДІЛУ

*Ряд розподілу* – це впорядкований розподіл одиниць сукупності на групи за певною варіаційною ознакою. Ряд розподілу являє собою просте групування, в якому кожна група, що виділяється, характеризується одним показником – чисельністю одиниць об'єкта, що попали в кожную із груп.

*Варіаційними* називають такі ряди розподілу, які побудовані за кількісною ознакою. Будь-який варіаційний ряд складається з двох елементів: варіантів і частот. Варіантами вважаються окремі значення величини ознаки, які вона приймає у варіаційному ряді, тобто це числа, що показують, як часто мають місце ті або інші варіанти у ряду розподілу. Сума всіх частот визначає чисельність усієї сукупності, її обсяг. Частотами називаються частоти,

виражені в частках одиниці або відсотках до суми. Відповідно сума частостей дорівнює 1 або 100%.

Залежно від характеру варіації ознаки ряди поділяються на *дискретні* та *інтервальні*.

У разі дискретної варіації величина кількісної ознаки має тільки цілі значення. Отже, дискретний варіаційний ряд характеризує розподіл одиниць сукупності за дискретною ознакою. У разі неперервної варіації величина ознаки може мати будь-які значення в певних межах; значення можуть відрізнятися одне від одного на скільки завгодно малу величину.

Будувати інтервальні варіаційні ряди доцільно перш за все при безперервній варіації величини ознаки, а також, якщо дискретна варіація виявляється в широких межах, тобто число варіантів дискретної ознаки достатньо велике.

Найзручніше ряди розподілу аналізувати за допомогою їх графічного зображення, яке дозволяє судити і про форму розподілу.

Для графічного зображення варіаційних рядів може також використовуватися *кумулятивна крива*. За допомогою «кумуляти» (кривої сум) зображується ряд накопичених частот, які визначаються шляхом послідовного підсумовування по групах і виявляють, скільки одиниць сукупності мають значення величини ознаки не більше даного. При побудові «кумуляти» інтервального варіаційного ряду по осі абсцис відкладають варіанти ряду, а по осі ординат – накопичені частоти, які наносять на поле графіка у вигляді перпендикулярів до осі абсцис. Потім ці перпендикуляри з'єднують і отримують ламану лінію, тобто «кумуляту».

Зображення у вигляді «кумуляти» особливо ефективно, якщо частоти ряду виражені в частках або відсотках до суми частот ряду, прийнятої відповідно за одиницю або за 100%, тобто частостям. Наприклад, побудуємо кумулятивну суму з частостями для рівнів споживання електроенергії технологічними процесами та установками вугільних шахт [35], що наведено в табл. 3.4.1. Відповідний графік зображений на рис. 3.4.1.

Таблиця 3.4.1

*Орієнтовні рівні споживання електроенергії технологічними процесами та установками вугільних шахт*

Технологічні процеси та установки	Відносна кількість спожитої електроенергії, %	Кумулятивна сума рівнів споживання електроенергії, %
Видобувні та підготовчі роботи	17	17
Конвеєрний транспорт	12	29
Підйом	15	44
Компресори	5	49

## Орієнтовні рівні споживання електроенергії технологічними процесами та установками вугільних шахт

Технологічні процеси та установки	Відносна кількість спожитої електроенергії, %	Кумулятивна сума рівнів споживання електроенергії, %
Водовідлив	18	67
Вентиляція	25	92
Інші	8	100
Усього	100	–

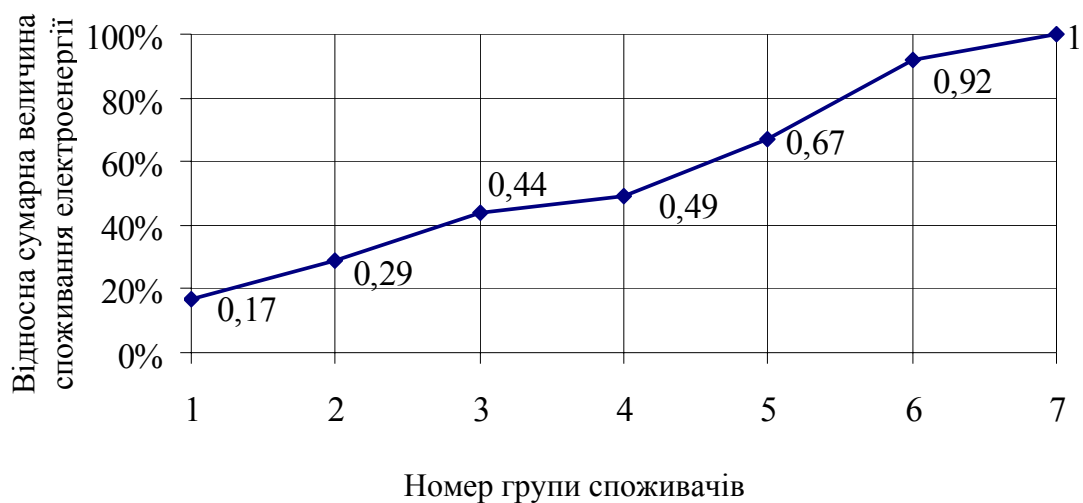


Рис. 3.4.1. Кумулятивна крива суми рівнів споживання електроенергії технологічними процесами та установками вугільних шахт:  
 1 – видобувні та підготовчі роботи; 2 – конвеєрний транспорт;  
 3 – підйом; 4 – компресори; 5 – водовідлив; 6 – вентиляція;  
 7 – інші

Якщо при графічному зображенні варіаційного ряду у вигляді «кумуляти» осі поміняти місцями, то отримаємо «огіву». Розглянемо побудову «огіви» на прикладі рекомендованої структури споживання електроенергії вугільною шахтою згідно з ДСТУ 30356-96 [36]. Для рівнів споживання енергії було розраховано кумулятивну (з накопиченням) суму (див. табл. 3.4.2) та побудовано відповідну «огіву» (рис. 3.4.2).

Таблиця 3.4.2

## Рекомендовані рівні споживання електроенергії вугільною шахтою

№	Група споживачів електроенергії	Рівень енергоспоживання, %	Кумулятивна сума рівнів енергоспоживання, %
1	Видобувні роботи	5,26	5,26
2	Підготовчі роботи	1,29	6,55

## Рекомендовані рівні споживання електроенергії вугільною шахтою

№	Група споживачів електроенергії	Рівень енергоспоживання, %	Кумулятивна сума рівнів енергоспоживання, %
3	Підземний транспорт	5,6	12,15
4	Підйом	13,32	25,47
5	Водовідлив	14,28	39,75
6	Вентиляція	17,13	56,88
7	Кондиціонування повітря	10,88	67,76
8	Освітлення	0,69	68,45
9	Технологічний комплекс поверхні	3,75	72,2
10	Компресори	2,46	74,66
11	Інші електроприймачі	20,58	95,24
12	Втрати електроенергії	4,76	100

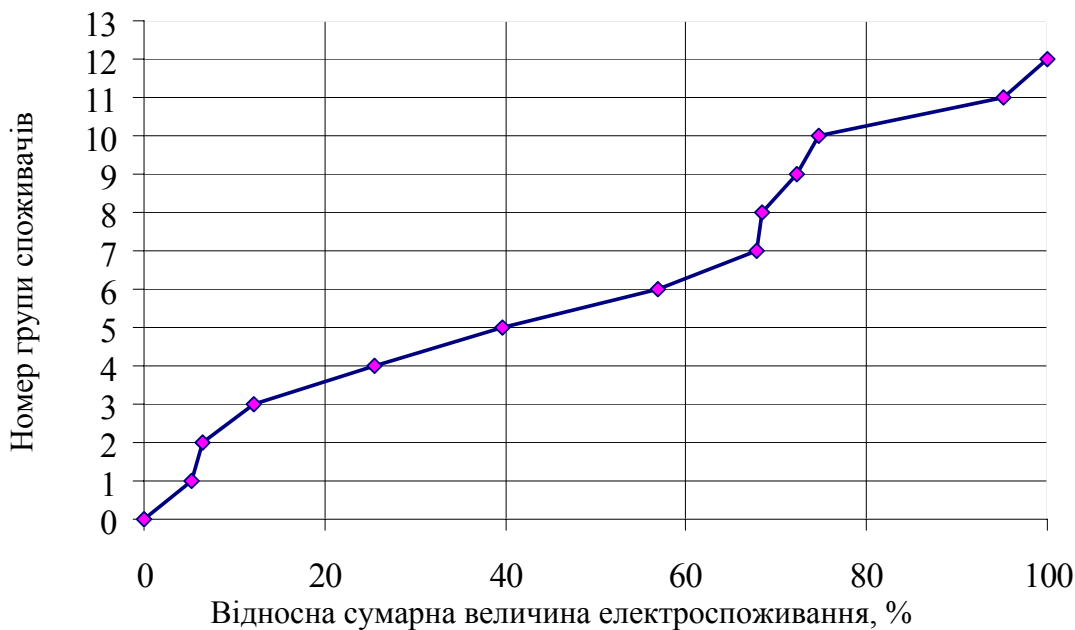


Рис. 3.4.2. Рекомендовані рівні електроспоживання вугільною шахтою відповідно до ДСТУ 30356-96:

1 – видобувні роботи; 2 – підготовчі роботи; 3 – підземний транспорт;  
 4 – підйом; 5 – водовідлив; 6 – вентиляція; 7 – кондиціонування повітря;  
 8 – освітлення; 9 – технологічний комплекс поверхні; 10 – компресори;  
 11 – інші електроприймачі; 12 – втрати електроенергії

### Контрольні питання

1. Що називається варіаційним рядом розподілу?
2. Які варіаційні ряди називаються дискретними, а які інтервальними?
3. Що таке «кумулята»? Як її побудувати?
4. У чому полягає відмінність «кумуляти» від «огіви»?

### 3.5. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ЯВИЩ

Для характеристики структури явищ часто використовують *секторні діаграми*. Структуру явищ аналізують за допомогою зіставлення площ, утворених секторами круга. Для побудови цієї діаграми круг слід поділити на сектори пропорційно питомій вазі частин у цілому. Сума значень питомої ваги дорівнює 100%, що відповідає загальному обсягу явища, яке вивчається. Розмір кожного сектора визначається за величиною кута з урахуванням того, що 1% відповідає  $3,6^\circ$ . Для того, щоб сектори були більш наочними, слід змінювати їх колір або штрихувати. Наприклад, секторна діаграма, що характеризує заплановану структуру генеруючих потужностей України на 2030 р. [30], має такий вигляд, як на рис. 3.5.1.

З діаграми видно, що найбільшу питому вагу в загальному обсязі генеруючої потужності матимуть теплові електростанції (47,6%), далі – атомні (33,3%) та гідроенергетичні електростанції (11,9%), а на останньому місці – блок-станції та інші джерела енергії (7,1%).

Для вивчення структури явищ також широко використовуються *стовпчикові діаграми*. На цих діаграмах різними способами штриховки відображається питома вага різних досліджуваних показників, кожному з яких відведена певна частина стовпця; загальна висота стовпця відповідає 100%. Іноді, окрім штрихування, наводять цифрові значення або питому вагу кожного з показників.

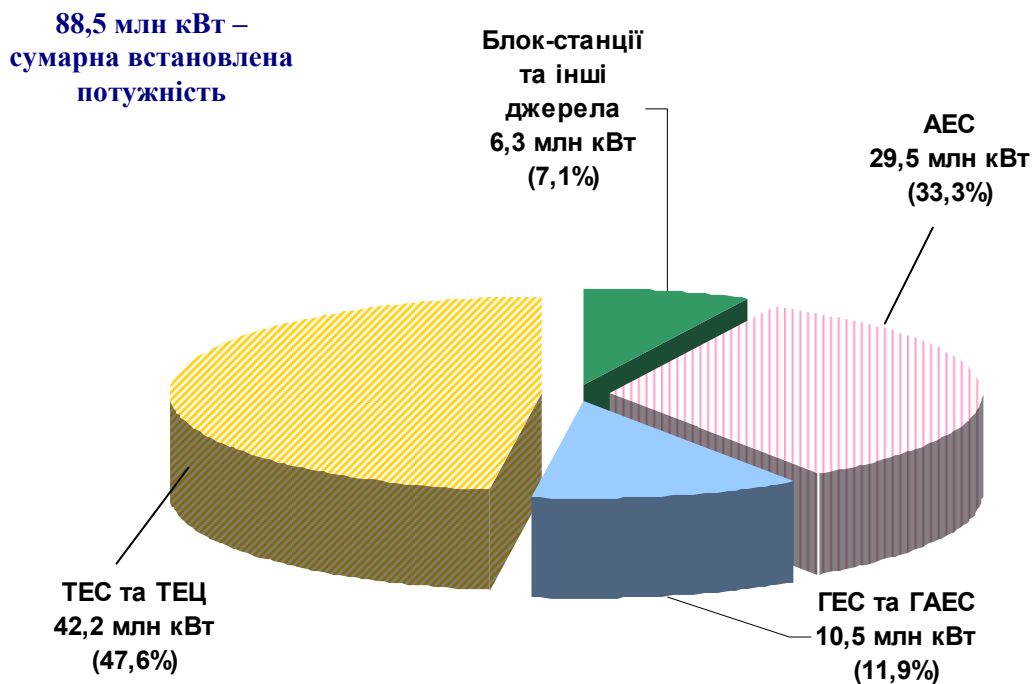


Рис. 3.5.1. Секторна діаграма запланованих енергогенеруючих потужностей електричних станцій України на 2030 р. (базовий сценарій)

Прикладом такого типу діаграми може бути розподіл імпортованих та власних енергоресурсів, що споживаються в Україні (див. рис. 3.5.2). Наведені абсолютні та відносні показники споживання основних видів енергоресурсів у 2005 р. та їх заплановані значення на 2030 р. [30].

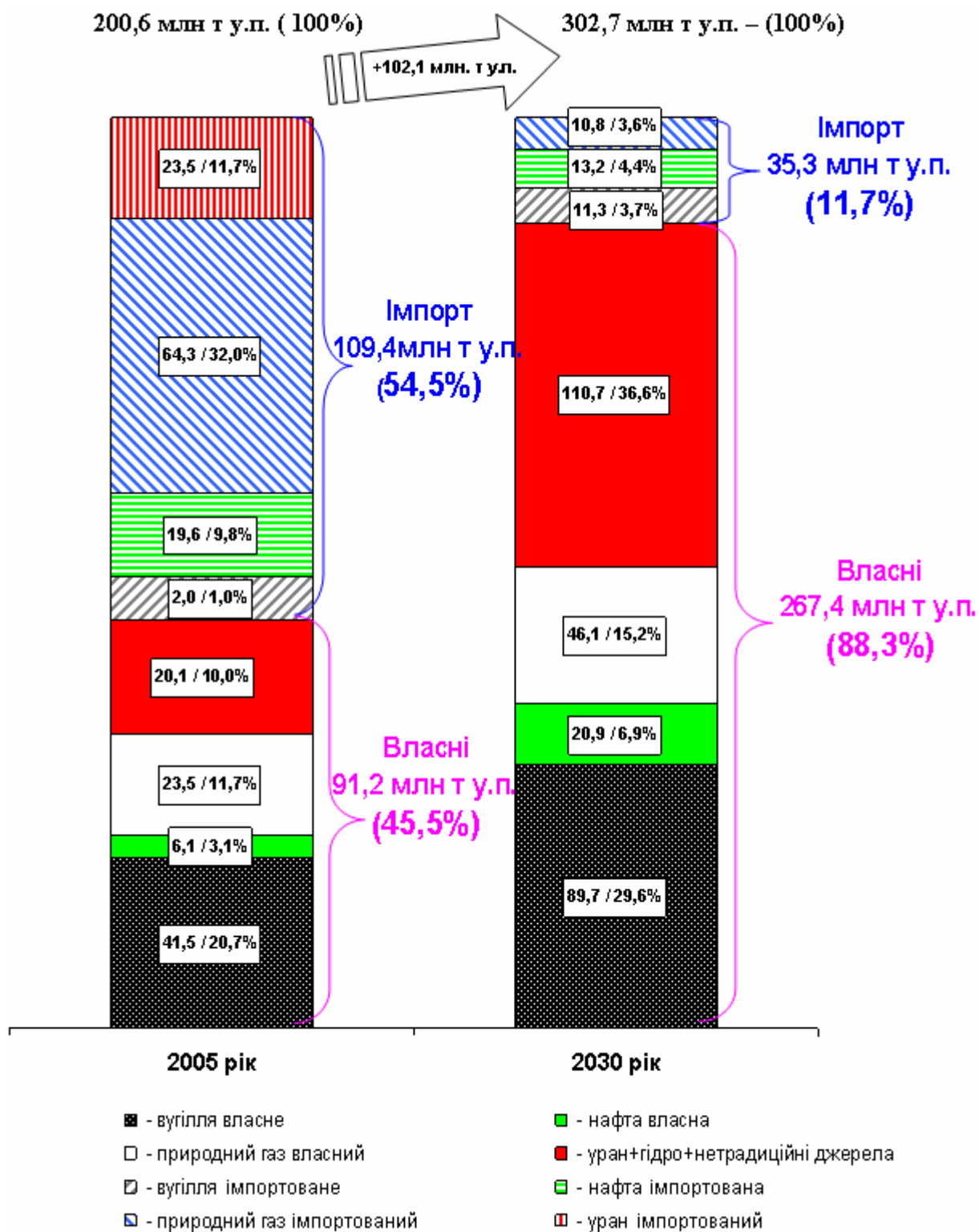


Рис. 3.5.2. Стовпчикова діаграма споживання енергоресурсів в Україні, що мало місце у 2005 р. та заплановане на 2030 р., млн т у.п. (%)

Як бачимо, до 2030 р. в Україні планується збільшити частку споживання власних паливно-енергетичних джерел майже вдвічі. Найбільше зростання планується при використанні нетрадиційних джерел енергії, гідроджерел та урану, а також власного вугілля. Обсяги використання інших власних паливних джерел також будуть збільшуватися, але у меншому розмірі. Планується відмовитися від використання імпортованого урану, суттєво зменшити споживання імпортованого природного газу – з 64,3 до 10,8 млн т у.п. на рік. При цьому загальне споживання енергоресурсів за планом зросте у 1,5 раза – з 200,6 до 302,7 млн т у.п. Подання інформації у вигляді стовпчикової діаграми дозволяє співставити також питому вагу кожного з показників, що полегшує її аналіз.

Смугові діаграми зручні для порівняння декількох балансів між собою або для дослідження змін, що відбуваються у структурі з часом. Приклад смугової діаграми наведений на рис. 3.5.3. Діаграму побудовано за даними табл. 3.1.1.

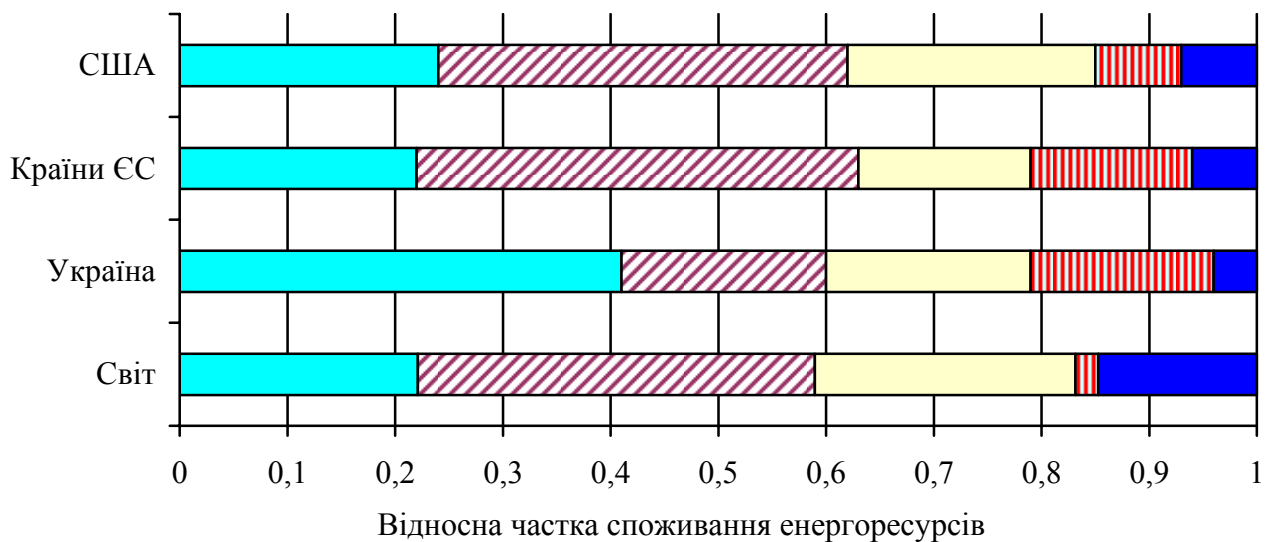


Рис. 3.5.3. Смугова діаграма для порівняння структур споживання первинної енергії в деяких країнах та світі у цілому:

- - природний газ
- / - нафта
- - вугілля
- ▨ - уран
- - гідроресурси та інші поновлювальні джерела

### Контрольні питання

1. Які види графічних зображень використовують для аналізу структури об'єктів?
2. Як побудувати секторну діаграму?
3. З якою метою застосовують смугові діаграми?



### 3.6. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Одним із найпоширеніших видів аналізу, що застосовується у будь-яких галузях промисловості, є порівняння. З метою поглибленого і більш наочного аналізу даних, що вивчаються, використовують графічне зіставлення показників.

Діаграми порівняння різноманітні за формою графічного зображення. Це стовпчикові діаграми – стрічкові (смугові), спрямовані; діаграми числових відхилень; у вигляді правильних геометричних фігур; фігур-знаків та ін. Такі діаграми можуть використовуватися також для просторових зіставлень: територіальних порівнянь, по країнах, фірмах, за видами продукції.

Серед діаграм, що застосовуються для порівняльного аналізу, найпоширенішими є стовпчикові, принцип побудови яких полягає в зображенні показників у вигляді розміщених по вертикалі прямокутників – стовпчиків. Кожний стовпчик зображує величину окремого рівня досліджуваного ряду. Тому порівняння показників можливе тільки тоді, коли всі вони виражені в однакових одиницях виміру. Основні принципи побудови стовпчикових діаграм описані в розд. 3.4. Приклад стовпчикової діаграми для порівняльного аналізу наведений на рис. 3.6.1.

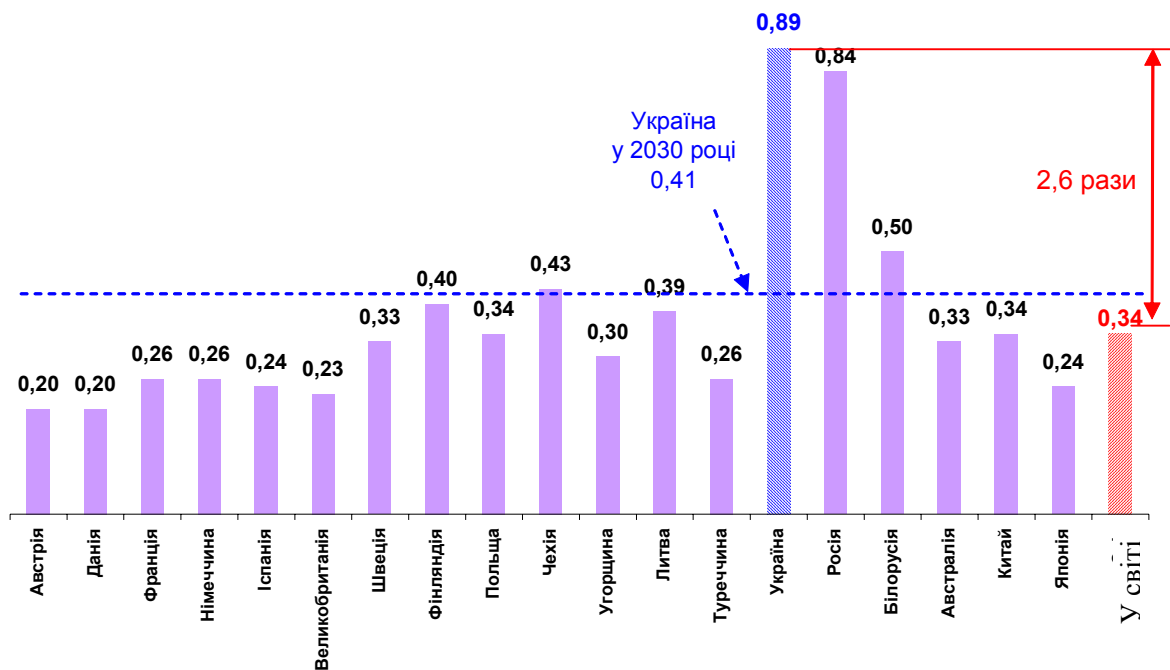


Рис. 3.6.1. Стовпчикова діаграма енергоємності внутрішнього валового продукту країн світу, кг у.п./ \$ США (World Energy Statistics, 2003, 2004)

Даний приклад дає можливість наочно зіставити енергоємність ВВП різних країн світу. Бачимо, що сьогодні Україна відстає за цим показником від більшості країн в декілька разів. Енергоємність ВВП в Україні перевищує середньосвітову в 2,6 раза. Також з цієї діаграми видно, рівень, до якого

заплановано зменшити енергоємність ВВП в Україні до 2030 р. Ця величина приблизно в 2 рази менша за існуючу зараз енергоємність, але все ж таки перевищує відповідний показник розвинених країн світу.

Ще один із багатьох можливих прикладів стовпчикової діаграми наведений на рис. 3.6.2. Тут є можливість зіставити абсолютні прогностні значення видобутку та імпорту природного газу в Україні з 2005 по 2030 р. До того ж можна порівняти величини кожної із складових, проаналізувати, збільшується вона або зменшується. Усі ці дані наочно зображені на діаграмі. Одразу видно, що частка імпортованого природного газу буде знижуватися у цей період часу, а власний видобуток збільшуватися. Ці заходи заплановані для зменшення енергетичної залежності України від імпорту паливних ресурсів.

Іноді з метою порівняльного аналізу по регіонах, країнах використовують *квадратні, кругові, фігурні діаграми (діаграми фігур-знаків)*. Діаграми геометричних фігур відображають значення величини, що вивчається, відповідно до площі.

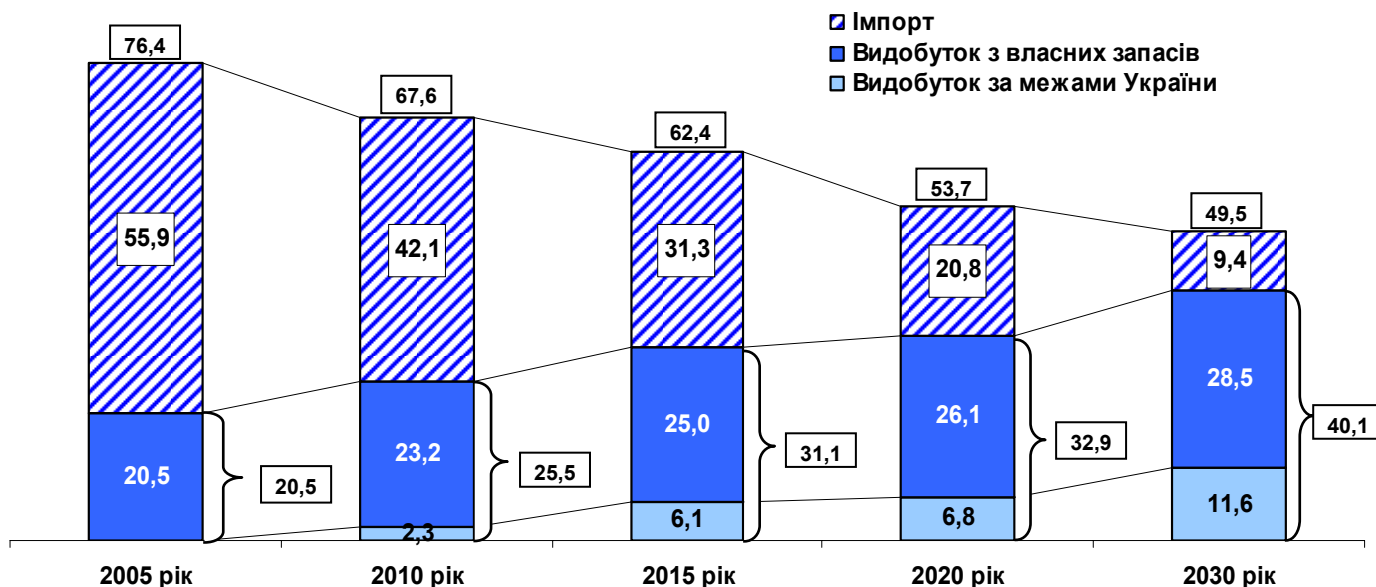


Рис. 3.6.2. Стовпчикова діаграма прогнозу видобутку та імпорту природного газу в Україні, млрд м<sup>3</sup>

При побудові *квадратної діаграми* для порівняльного аналізу слід добути квадратний корінь з порівнюваних величин статистичних показників, а потім побудувати квадрати зі сторонами, пропорційними отриманим результатам. Приклад квадратної діаграми для порівняння кількості вугілля, використаного в Україні за 2010 р., залежно від його призначення наведений на рис. 3.6.3.

При побудові *кругової діаграми* спочатку значення показників ділять на число  $\pi$ , тобто на 3,14, потім з одержаних величин добувають корінь квадратний і зображують круги, радіуси яких пропорційні отриманим результатам.

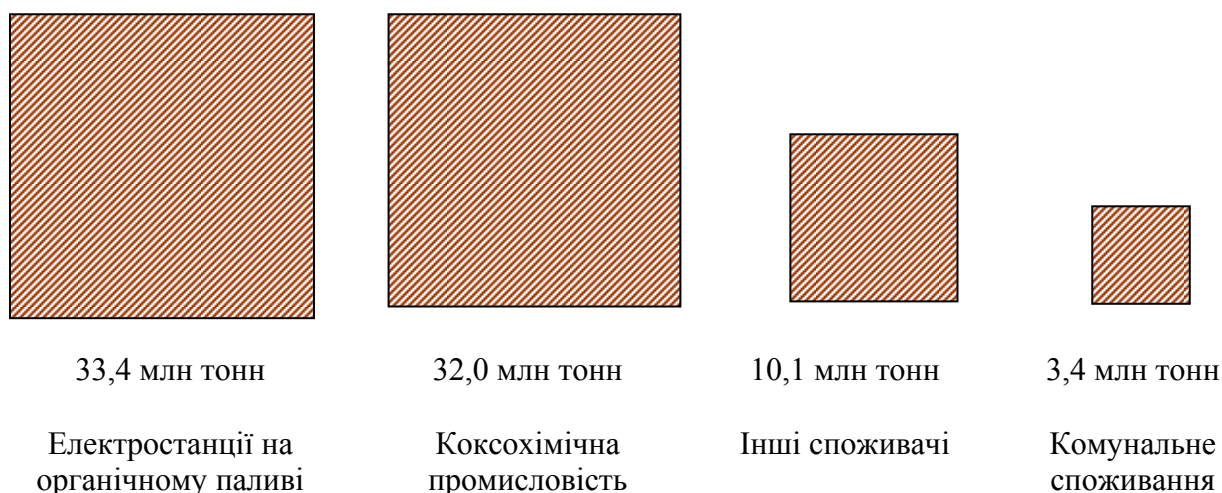


Рис. 3.6.3. Квадратна діаграма обсягів використання вугілля в Україні за 2010 р.

Діаграми з використанням фігур-знаків є графічним зображенням у вигляді рисунків, силуетів, фігур, відповідних змісту статистичних даних. Вони можуть відрізнятися один від одного розміром (який відповідає значенню показника) або кількістю однакових за розміром і типом фігур. Наприклад, видобуток вугілля символічно зображується у вигляді вагонів із зазначенням масштабу (наприклад, 1 вагон дорівнює 10 тис. тонн). Для таких діаграм необхідні супроводжувальні числові написи, оскільки зорове зіставлення таких фігур є досить складним. На рис. 3.6.4 зображена діаграма експорту електроенергії Україною за 8 місяців 2008 р. з використанням фігур-знаків. Одна фігура, використана в даній діаграмі, відповідає приблизно 480 млн кВт·год. Для спрощення читання діаграми на ній також наведені числові значення обсягу експортованої електроенергії.

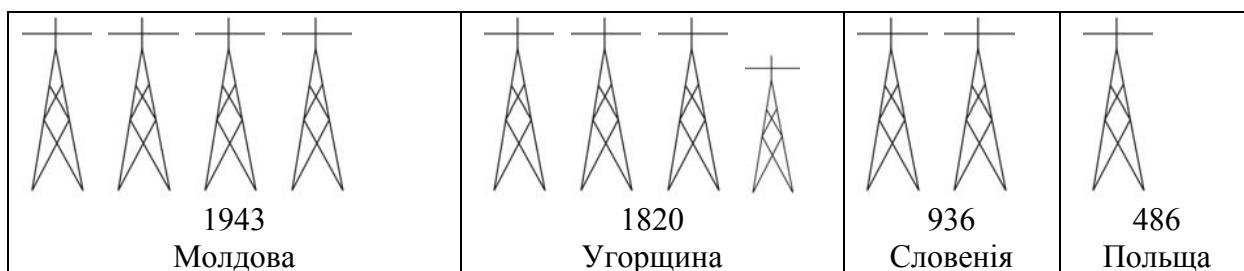


Рис. 3.6.4. Діаграма експорту електроенергії Україною за 8 місяців 2008 р., млн кВт·год, з використанням фігур-знаків

### Контрольні питання

1. Які типи діаграм використовуються для порівняльного аналізу?
2. Як побудувати діаграму з використанням правильних геометричних фігур або фігур-знаків?
3. Які існують принципи побудови кругових, квадратних та інших видів діаграм?

### 3.7. ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНІ ГРАФІКИ

Взаємопов'язані графіки призначені для зображення зміни значень пов'язаних між собою показників у часі. Такі зображення необхідні для аналізу різних характеристик об'єкта, які змінюються одночасно, або для дослідження одночасної роботи декількох окремих механізмів, об'єктів, які входять до однієї системи. Виділяють два типи взаємопов'язаних графіків: накопичувальні і технологічні. Графіки *накопичувального типу* відображають зміну одного параметра в різних частинах системи у часі. Типовий приклад – графіки електричних навантажень окремих підрозділів підприємства разом із сумарним графіком навантажень усього об'єкта. Приклад накопичувального пов'язаного графіка наведений на рис. 3.7.1.

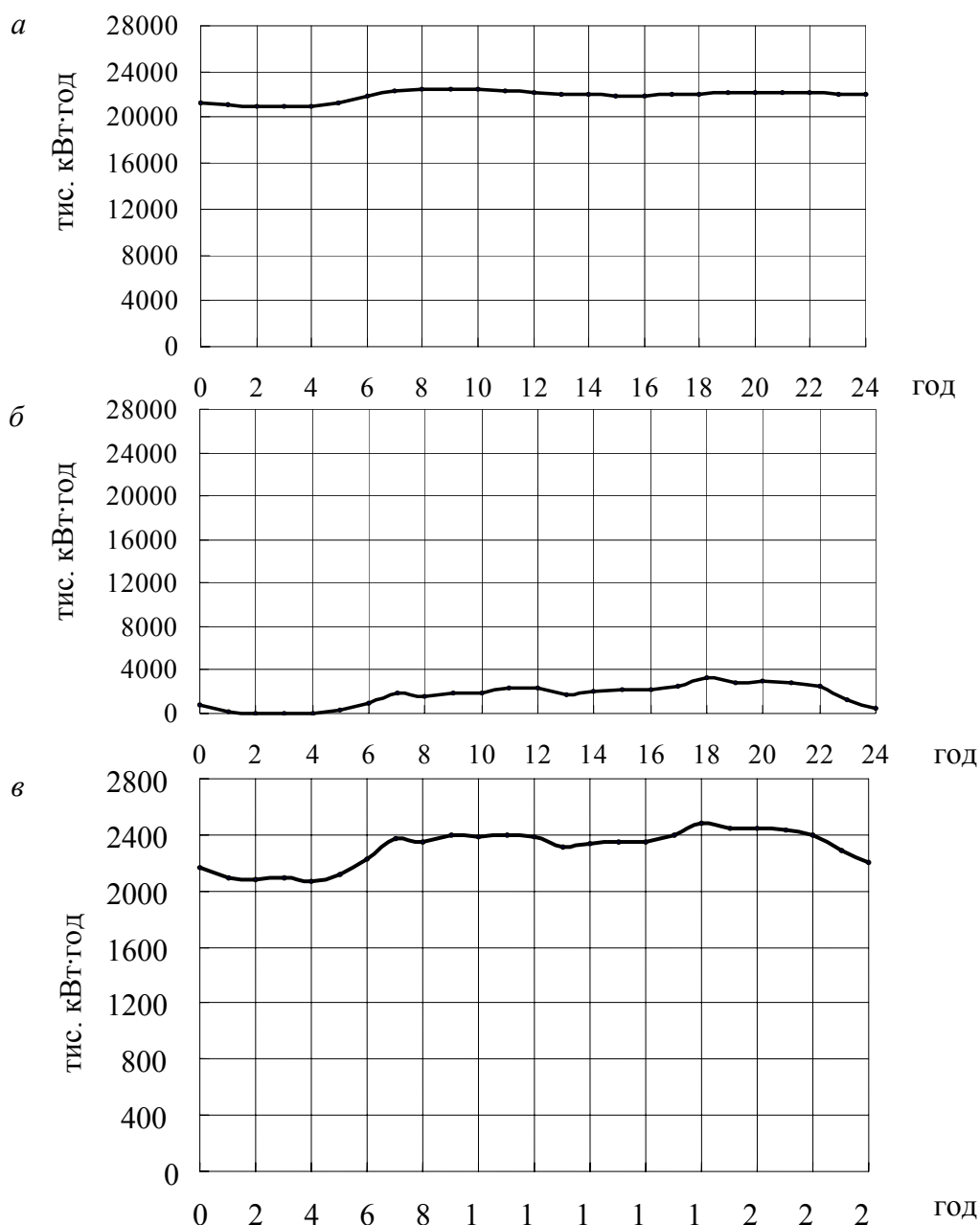


Рис. 3.7.1. Графіки накопичувального типу виробництва електроенергії, тис. кВт·год, ОЕС України на 7.02.01

На ньому зображені добові графіки виробництва електричної енергії тепловими й атомними (а) та гідроелектростанціями (б), а також сумарний графік (в) виробництва енергії Об'єднаною енергосистемою України, до якої входять усі перелічені електростанції [37].

Технологічно пов'язані графіки відображають зміну різних параметрів одного об'єкта за один і той самий час. Приклад пов'язаних технологічних графіків наведений на рис. 3.7.2 [38]. Ці графіки дозволяють проаналізувати, яким чином змінюється потужність, яку споживає з мережі асинхронний двигун підйомної установки, залежно від швидкості та рушійного зусилля підйомної системи.

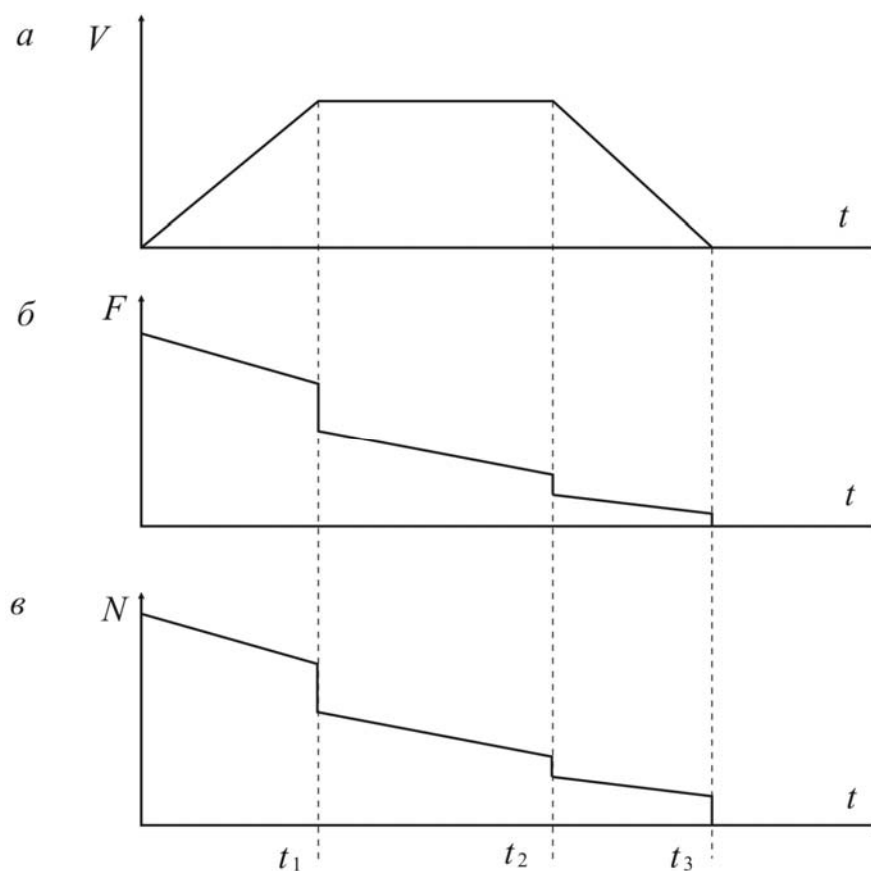


Рис. 3.7.2. Технологічні графіки швидкості (а), рушійного зусилля (б) та потужності (в), що споживається приводом підйомної установки

Ще один приклад технологічно пов'язаних графіків наведений на рис. 3.7.3. Тут об'єднані накопичувальні та технологічні графіки: на ньому зображені графіки наповнення бункерів шахти вугіллям (ГНБ) та графіки електричних навантажень (ГЕН) [39]. Для графіків електричних навантажень також побудовані сумарні графіки. Для зручності аналізу всі дані наведені відносно максимальної потужності та об'єму бункерів у відсотках.

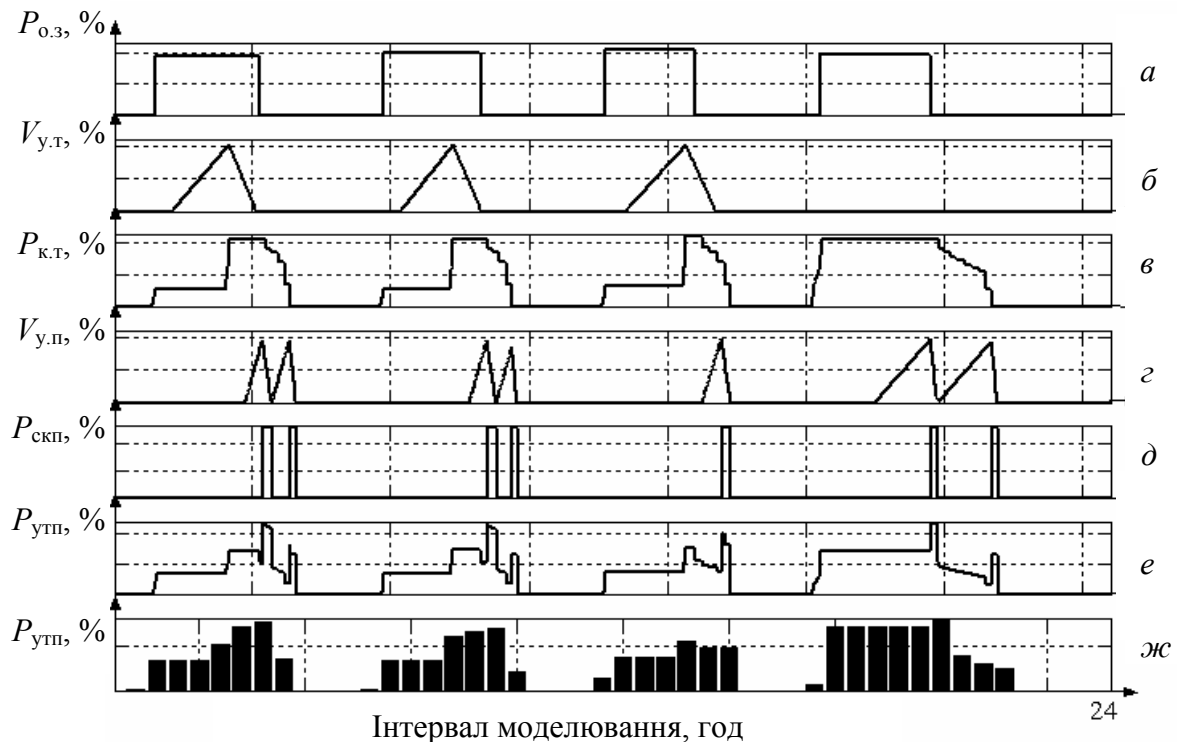


Рис. 3.7.3. Пов'язані графіки електричних навантажень очисного забою (а), конвеєрного транспорту (в), скипового підйому (д), сумарний (е) та сумарний усереднений (ж), а також наповнення бункерів транспорту (б) та бункерів приствольного двору (з) вугіллям

### Контрольні питання

1. Які існують типи взаємопов'язаних графіків?
2. Яку інформацію містять графіки накопичувального типу? Наведіть приклади застосування таких графіків.
3. У чому полягає особливість подання інформації у вигляді технологічно пов'язаних графіків?

### 3.8. СТАТИСТИЧНІ КАРТИ

Для оцінки географічного розміщення об'єктів, порівняльного аналізу територій застосовують статистичні карти.

Статистичні карти поділяють на картограми і картодіаграми. *Картограма* відображає територіальний розподіл ознаки, що вивчається, по окремих районах і використовується для виявлення закономірностей цього розподілу. Картограми бувають фонові і точкові. *Фонові картограми* різною густиною колірного забарвлення характеризують розподіл ознаки, що вивчається, на різних територіях. Наприклад, величини встановленої потужності електростанцій в областях України можуть бути наочно представлені у вигляді фонові картограми (див. рис. 3.8.1), де світло-сірим кольором розфарбовані райони з генеруючою потужністю до 0,1 кВт/люд, темнішим – з 0,1 до 1 кВт/люд, ще більш темним кольором – відповідно з 1 до

2 кВт/люд; чорним – більше 2 кВт/люд. Картограму побудовано за даними табл. 3.1.3.



Рис. 3.8.1. Картограма концентрації генеруючої потужності у регіонах України, кВт/люд:



На *точковій картограмі* кожній точці відповідає одне й те саме прийняте числове значення. Наприклад, при побудові точкової діаграми для розподілу генеруючої потужності за числове значення, що відповідає одній точці, виберемо 1 МВт. При нанесенні на контур кожного району відповідної кількості точок ми одержуємо точкову картограму, що характеризує розподіл ознаки в районах. Як правило, фонові картограми використовуються при аналізі показників у вигляді відносних і середніх величин, тоді як точкові – для характеристики розміщення абсолютних величин.

На *картограмі ізоліній* для зображення концентрації показника використовують ізолінії, які відображають однакові значення якої-небудь величини при її розподілу на поверхні, зокрема, на карті, плані або графіку. Ізолінії відображають безперервну зміну досліджуваної величини залежно від двох інших змінних (наприклад, координат на плані), а тому їх застосовують при картографуванні різноманітних явищ. Ізолінії використовують для одержання кількісних характеристик досліджуваних величин і аналізу

кореляційних зв'язків між ними. Приклад картограми ізоліній для розподілу температури в приміщенні при опаленні його низькотемпературним інфрачервоним випромінювачем [40] наведений на рис. 3.8.2. За нульову лінію на плані приміщення приймають середню лінію підвішування опалювального елемента.

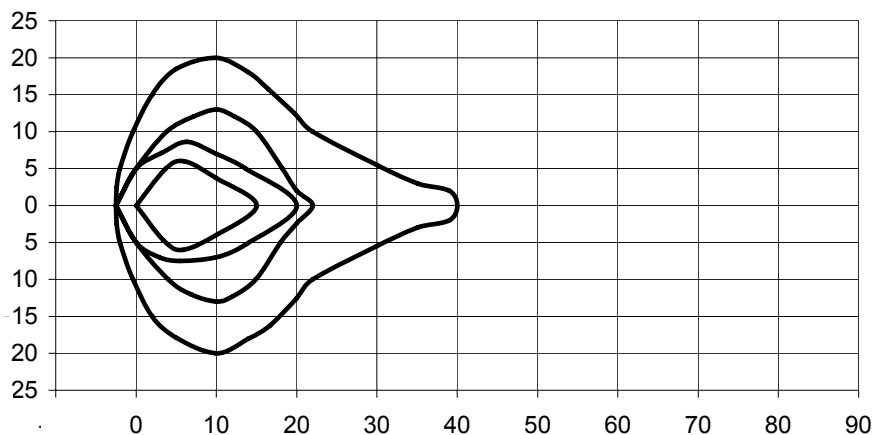


Рис. 3.8.2. Картограма ізоліній розподілу температури в приміщенні при опаленні його низькотемпературним інфрачервоним випромінювачем

Елементи найпростішої картодіаграми можна знайти на політичній карті, де міста відрізняються одне від одного різним масштабом геометричної фігури залежно від числа мешканців. Такі картодіаграми широко застосовуються на практиці. Прикладом може бути картодіаграма потужностей атомних електростанцій в регіонах України, яка наведена на рис. 3.8.3.



Рис. 3.8.3. Картодіаграма розподілу генеруючих потужностей атомних електростанцій в Україні



Один із видів картодіаграм, що найчастіше застосовуються в енергетиці, – картодіаграма електричних навантажень. Картодіаграми такого виду є планом промислового підприємства, на якому відображена середня інтенсивність розподілу навантажень приймачів електроенергії. Картодіаграму навантажень будують як на плані розташування приймачів електроенергії в цехах, так і на генеральному плані всього промислового підприємства. На рис. 3.8.4 наведена картодіаграма активних навантажень для промислового підприємства, що складається з 10 цехів. Пунктиром нанесено навантаження цеху, який заплановано побудувати з урахуванням перспективи розвитку. Величини навантажень зображені у вигляді кругів, секторами на них позначено освітлювальне навантаження.

Якщо картодіаграму будують на генеральному плані промислового підприємства, то як приймачі електроенергії розглядаються самі цехи. Ступінь інтенсивності розподілу навантажень на картодіаграмі зображують різними способами. Найпростіший з них полягає в зображенні навантаження приймачів за допомогою кругів [41].

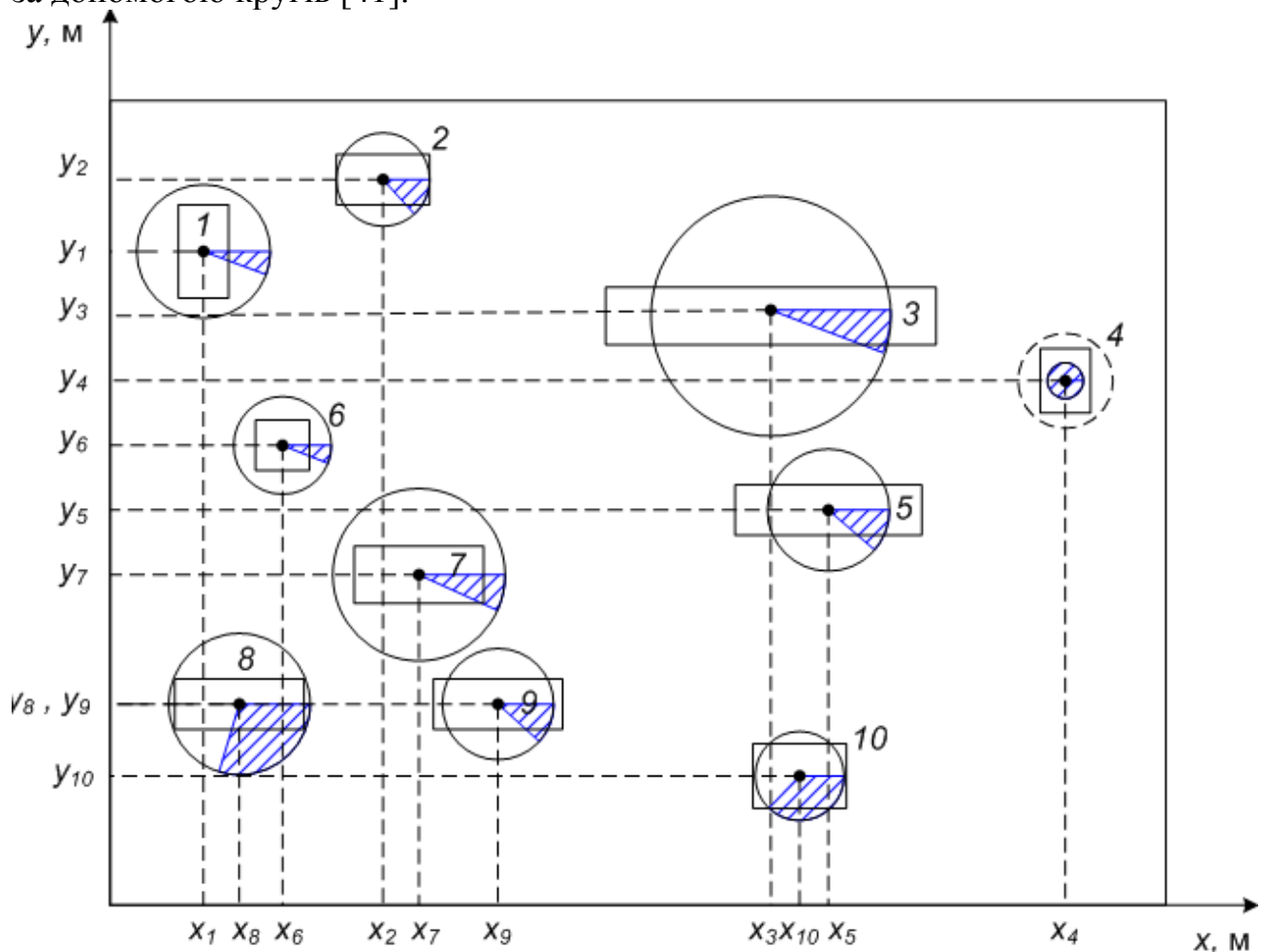


Рис. 3.8.4. Картодіаграма електричних навантажень промислового підприємства

Спосіб полягає в наступному: за центр круга приймають центр електричного навантаження (ЦЕН) приймача електроенергії, а радіус круга

пов'язують з розрахунковою потужністю приймача електроенергії; значення її знаходять за умови, що розрахункова потужність  $P_i$  дорівнює площі круга, тобто

$$P_i = \pi r_i^2 m,$$

де  $r_i$  – радіус круга;  $m$  — прийнятий масштаб;  $\pi$  – 3,14, звідки

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}}.$$

Кожний круг може бути поділений на сектори, площі яких дорівнюють відповідно освітлювальному і силовому навантаженням. У цьому разі картодіаграма дає уявлення не тільки про величину навантажень, але й їх структуру.

### Контрольні питання

1. Що являє собою картограма?
2. Які існують види картограм?
3. Що характеризують картодіаграми?
4. Як побудувати картодіаграму навантажень промислового підприємства?

## 3.9. СТАТИСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

Статистичний контроль якості полягає в застосуванні методів статистики для оцінки і управління результатами різних видів діяльності в умовах невизначеності. Технологічні процеси потрібно контролювати з метою виявлення тенденцій у змінах параметрів, якості продукції та застосування у разі необхідності керуючих дій.

Наприклад, при впровадженні енергозберігаючих заходів для контролю їх виконання та оцінювання ефективності необхідно вимірювати та аналізувати рівень споживання енергії. Слід також перевіряти, чи не знижується якість продукції від зменшення обсягів споживання енергії. При цьому можна контролювати стан усього обладнання, для якого були застосовані заходи енергозбереження, і всю продукцію, що виробляється. Проте такий підхід важко реалізувати: він вимагає дуже великої кількості додаткового устаткування для вимірювання і контролю, а також істотних трудовитрат на їх здійснення.

Вихід достатньо простий: треба контролювати невелику частину устаткування і продукції. Однак при цьому необхідно з великою ймовірністю (говорять також надійністю) бути упевненим в том, що переважна частина зразків мають ті самі значення контрольованих параметрів, що й перевірена група, з варіацією в невеликих допустимих межах. Методи статистичного контролю якраз і дозволяють визначити мінімальну кількість зразків, які слід досліджувати, щоб із заданою ймовірністю можна було стверджувати, що серед

усього устаткування існує не більш, наприклад, 0,5% такого, що не відповідає нормам енергоспоживання. Розглянемо методику статистичного контролю.

Існують *два види статистичного контролю: за якісною та кількісною ознаками*. Результат контролю за якісною ознакою має тільки дві альтернативи: так або ні. Прикладом може бути придатність деталі – годна або ні, документ – правильний або неправильний. При контролі за якісною ознакою враховується інформація про її величину. Такий вид контролю можна застосовувати тоді, коли ця ознака – неперервна величина, наприклад, кількість або вартість спожитої енергії. Контроль за кількісною ознакою – точніший, ніж за якісною.

### 3.9.1. Контроль за якісною ознакою

Розглянемо основну схему контролю якісної ознаки для якого-небудь виробу або процедури.

1. Від партії, що складається з  $N$  одиниць (виробів), випадково відбирається  $n$  виробів.
2. Проводиться суцільний контроль виробів в отриманій вибірці.
3. Якщо число дефектних виробів у вибірці  $c_1 < c$  (де  $c$  називається приймальним числом), то вся партія приймається.
4. Якщо  $c_1 > c$ , то вся партія бракується.
5. Далі повторюються операції 1 – 4.

Величини  $c_1$ ,  $c$  і число потрібних  $n$  виробів вибирають так, щоб із заданою ймовірністю гарантувати, що в партії максимальна частість дефектів не перевищує задану.

Величини  $c_1$  і  $c$  визначаються міжнародним стандартом та державним стандартом України. У них наведено правила вибору величин  $c_1$ ,  $c$  і  $n$  відповідно до вимог до контролю.

### 3.9.2. Контроль за кількісною ознакою

Основна схема контролю для випадку, коли контрольована ознака  $a$  (наприклад, величина енергоспоживання за зміну) обмежена зверху числом  $T_B$ , така:

1. Із партії, що складається з  $N$  виробів, формують випадкову вибірку з  $n$  одиниць. У разі контролю енергоспоживання розглядають, наприклад, сукупність  $N$  однотипних верстатів, з якої формується вибірка з  $n$  штук, або  $N$  днів роботи якого-небудь устаткування, з яких відбирають  $n$  днів для контролю.
2. Визначають вибіркове середнє значення  $\bar{x}$  і дисперсію  $\sigma^2$  контрольованої ознаки.
3. Перевіряють умову  $\bar{x} > c$ , де приймальне число  $c = T_B - k\sigma^2$  (величина  $k > 0$  обчислюється з урахуванням ризиків виробника і споживача для конкретного закону розподілу контрольованої ознаки).

Якщо умова пункту 3 виконується, то партія приймається. Інакше вона бракується.

Значення приймального числа полягає в тому, що завдяки зменшенню допустимої межі  $T_B$  на величину  $k\sigma^2$  до якості ставляться більш жорсткі вимоги, ніж при неперервному контролі. Складова  $k\sigma^2$  необхідна для «підстраховування» висновку про придатність партії за результатами вибіркового випробування.

Величини  $n$  і  $k$  визначаються міжнародним стандартом і державним стандартом України для контролю кількісної ознаки, де  $k$  розраховується, зокрема, для нормального закону розподілу контрольованої ознаки.

Аналогічно до описаного алгоритму виконується статистичний контроль, якщо існує обмеження на ознаку знизу або двостороннє обмеження.

Важливим етапом статистичного контролю є побудова контрольних карт.

### 3.9.3. Контрольні карти

*Контрольні карти* – це графічне зображення значень даних і контрольного діапазону, яке дозволяє здійснювати поточний контроль виробничого процесу на промисловому підприємстві і прогнозувати його розвиток [31]. Техніка контрольних карт відноситься до методу статистичного регулювання якості. Даний метод використовується для запобігання відхилення параметрів виробничого процесу від заданого діапазону. Призначення всякої контрольної карти – приведення процесу до «статистично підконтрольного стану» або його підтримка.

Контрольні карти відрізняються вимірюваними (кількісними) і невимірюваними (якісними) ознаками якості залежно від того, чи потребує характеристика об'єкта кількісного виміру або ж допускає лише якісну оцінку. До контрольних карт за кількісною ознакою, що найчастіше використовуються, відносяться карти середніх значень, карти індивідуальних значень, карти медіан, комбіновані контрольні карти, що дають значно більше інформації, ніж карти з однією характеристикою.

Розглянемо загальні принципи побудови контрольних карт на прикладі карти середніх значень, що є найбільш поширеною на практиці.

Техніка побудови контрольних карт є, по суті, не що інше, як метод перевірки певної статистичної гіпотези [42]. Простота і можливість безпосереднього застосування їх в технологічному процесі дозволяє здійснювати поточний контроль параметрів та кількості продукції, величини енергоспоживання та ін.

Наприклад, на основі попереднього енергетичного аудиту та аналізу його результатів були визначені середні допустимі рівні енергоспоживання для обладнання шахти. Після цього необхідно перевірити, чи знаходиться поточне значення енергоспоживання у допустимих межах. Для цього у кожного окремого електроспоживача визначають контрольовану ознаку. У нашому разі це може бути величина годинного, добового питомого енергоспоживання. Номінальне значення контрольованої величини дорівнює  $a$ . Припустимі відхилення від номінального значення  $a$  дорівнюють  $\delta_1, \delta_2$ , тобто, якщо поточна

величина енергоспоживання знаходиться у межах поля допуску, то вона відповідає встановленим нормам енергоспоживання. Поле допуску має вигляд

$$[T_n; T_e],$$

де  $T_n = a + \delta_1$  – нижня межа поля;  $T_e = a + \delta_2$  – верхня межа поля.

Відхилення величини енергоспоживання від установлених значень можуть спостерігатися внаслідок багатьох факторів: зносу обладнання, невідповідності показників сировини нормам, упровадження енергозберігаючих заходів, випадкових помилок під час роботи обладнання та ін.

Щоб контролювати величину енергоспоживання обладнання через заздалегідь установлені проміжки часу вимірюють  $n$  значень витрати енергії. Потім за отриманими індивідуальними значеннями  $x_1, x_2, \dots, x_n$  розраховують середнє арифметичне за формулою

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

та перевіряють статистичну гіпотезу  $H_0 : \mu = a$ .

Умовою використання такого статистичного методу перевірки гіпотез є те, що ознака  $X$  ( у прикладі величина енергоспоживання) розподілена за нормальним законом з математичним очікуванням  $\mu = a$  і дисперсією  $\sigma^2$ . За цим принципом розроблені методи контролю вимірювальних ознак якості. Згідно з припущенням гіпотеза  $H_0$  не відкидається доти, доки величина, розрахована за кількістю  $n$  індивідуальних значень, не буду задовольняти нерівності

$$|z| = \left| \frac{\bar{x} - a}{\sigma} \sqrt{n} \right| < z_\alpha \quad (3.1)$$

або

$$a - z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{x} < a + z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} . \quad (3.2)$$

Значення  $z_\alpha$  можна для заданого  $\alpha$  знайти у відповідній таблиці, в основі якої лежить співвідношення

$$\Phi(z_\alpha) = 1 - \frac{\alpha}{2} . \quad (3.3)$$

Гіпотеза  $H_0$  відкидається, якщо відхилення розрахункової величини від номінального значення  $a$  дуже велике, тобто при  $|z| \geq z_\alpha$ .

Встановлюючи таким чином межі критичної області для гіпотези  $H_0$ , ми з імовірністю  $\alpha$  припускаємося помилки. Незважаючи на істинність гіпотези  $H_0$ ,

визначають причини порушення процесу в  $\alpha \cdot 100\%$  випадків і залежно від обставин розробляють заходи щодо усунення відхилень або зміни еталонних значень енергоспоживання. Невірний розв'язок являє собою помилку 1-го роду, оскільки відкидається дійсна гіпотеза  $H_0$ .

Цей метод перевірки можна спростити і використати для періодичного відбору значень з поточних  $n$  вимірів.

Для цього на графіку креслять середню лінію  $a$  і межі критичної області гіпотези  $H_0$  для заданої величини  $\alpha$  і постійної  $n$ . Межі мають вигляд горизонтальних прямих, що проходять через точки з координатами  $(0; a)$ ,  $(0; K_H)$  і  $(0; K_B)$ .

$$K_H = a - z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad K_B = a + z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} . \quad (3.4)$$

По осі абсцис на однакових відстанях відкладають моменти часу  $t_1, t_2, \dots$ , відбору  $n$  вимірів, або номери відборів, а по осі ординат згідно з масштабом наносять середні арифметичні значення  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots$ , розраховані для кожних  $n$  вимірів (рис. 3.9.1).

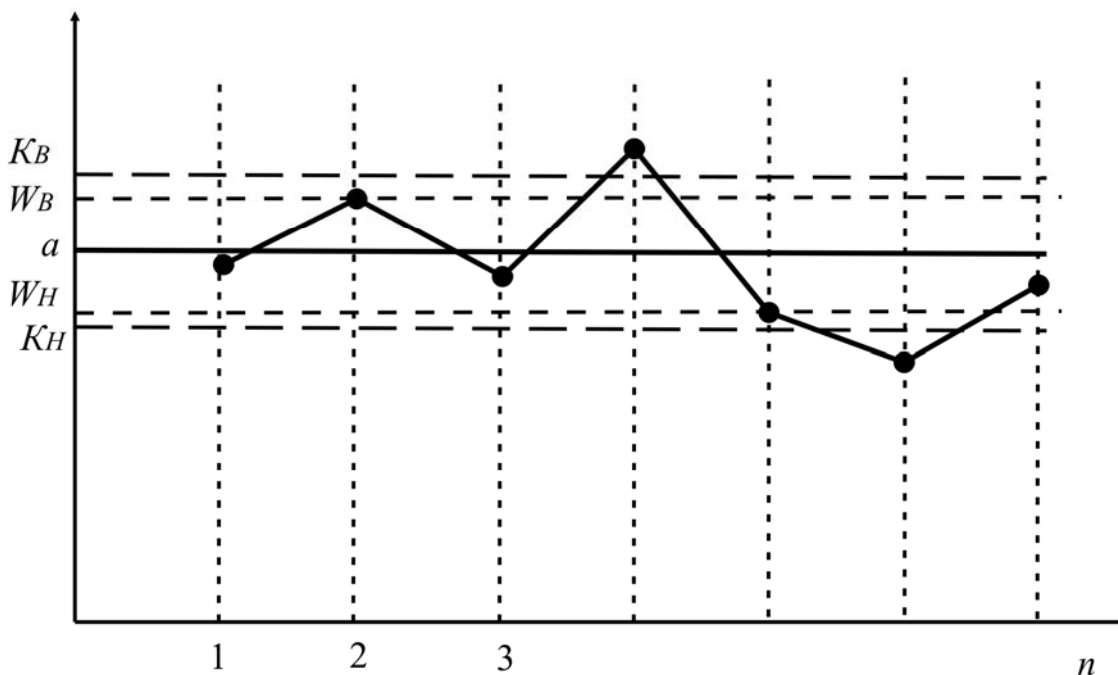


Рис. 3.9.1. Приклад побудови контрольної карти

Такий графік називається контрольною картою, а саме: контрольною картою середніх арифметичних значень. Прямі, що проходять через точки  $(0; K_H)$  і  $(0; K_B)$ , називаються відповідно нижньою і верхньою контрольними межами. Вони розташовані симетрично відносно середньої лінії, що проходить через точку  $(0; a)$ , і відстань між ними складає

$$K_B - K_H = 2z_\alpha \sigma / \sqrt{n} . \quad (3.5)$$

Контроль здійснюється у такій послідовності: у встановлений момент часу  $t_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) відбирають  $n$  вимірів величини енергоспоживання (ми називаємо цю сукупність вимірів пробою або підгрупою, але не вибіркою, оскільки вони відбираються не навмання, а послідовно один за одним, і тому можуть бути взаємозалежними) і розраховують їх середнє арифметичне значення  $\bar{x}_i$ , яке для відповідного  $t_i$  наноситься на контрольну карту у вигляді точки або хрестика.

До того часу, поки така точка знаходиться в інтервалі допустимих значень між контрольними межами  $K_H$  і  $K_B$ , устаткування вважається таким, що споживає встановлену величину енергії. Процес стабільний і перебуває в статистично підконтрольному стані.

Поява значення ординати над верхньою  $K_B$  або під нижньою  $K_H$  межею, розцінюється як сигнал того, що процес перебуває не в підконтрольному стані. Перевищення вимірювальною величиною верхньої межі контрольного діапазону свідчить про зростання витрат енергії, що може бути наслідком зносу устаткування, недотримання вимог до режиму роботи та ін. Таке становище вимагає аналізу причин його виникнення, та, при можливості, їх усунення для подальшого дотримання вимог до енерговикористання. Якщо величина витрат енергії стає меншою, ніж нижня контрольна межа, то також слід виявити причини виникнення цієї ситуації. Зменшення витрат енергії може бути наслідком появи випадкових причин або скорочення обсягу виробництва. Якщо енергоспоживання знизилося завдяки впровадженню організаційних, технічних енергозберігаючих заходів, покращенню режимів роботи устаткування, то виміряні значення мають бути використані для розрахунку нової номінальної величини витрат енергії обладнанням  $a$  та його контрольних меж  $[K_H; K_B]$ .

Проведення такого статистичного контролю за допомогою карт дає, крім того, уявлення про зміну стану технологічного процесу на даному устаткуванні в часі. Якщо всі зафіксовані точки з'єднати ламаною лінією, то з її тенденцією до зростання або спаду, тобто за її виглядом можна простежити появу систематичних помилок (наприклад, знос устаткування) і в потрібний момент часу втрутитися в хід технологічного процесу з метою запобігання перевитрат енергії та браку продукції.

При побудові будь-якої контрольної карти найважливішим етапом є розрахунок контрольних меж  $K_B$  і  $K_H$ . Ці величини залежать від характеристик виробничого процесу – номінального розміру  $a$ , дисперсії  $\sigma^2$  та імовірності появи помилки  $\alpha$ , обсягу вибірки  $n$ . Значення  $\sigma$  і  $n$  заздалегідь фіксуються.

Як імовірність появи помилки у ряді наукових джерел рекомендується використовувати величину  $\alpha = 0,0027 = 0,27\%$ , якій відповідає  $Z_{0,0027} = 3$ . Це означає, що для статистично підконтрольного процесу в інтервалі між контрольними межами

$$K_H = a - 3 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad K_B = a + 3 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.6)$$

очікується поява 99,73% всіх значень спостережуваної ознаки.

Це припущення достовірне лише за умови, що спостережувана ознака має нормальний закон розподілу з математичним сподіванням  $\mu = a$  і дисперсією  $\sigma^2$ . Якщо це припущення в деяких практичних ситуаціях не виконується, то згідно з нерівністю Чебишева приймається твердження: усередині контрольних меж розташовується щонайменше 89% усіх значень  $\bar{x}$ .

Деякі фахівці у розрахунках використовують значення ймовірності появи помилки  $\alpha = 0,01 = 1\%$ ,  $Z_{0,01} = 2,576$ . Тоді всередині контрольних меж

$$K'_H = a - 2,576 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad K'_B = a + 2,576 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.7)$$

слід очікувати 99% усіх значень  $\bar{x}$ . Відмінність між  $K_B$ ,  $K_H$  і  $K'_B$ ,  $K'_H$  полягає в ширині інтервалу контролю: перший інтервал ширше за другий, проте ця розбіжність невелика. Важливо те, що при статистично підконтрольному процесі майже всі значення лежать усередині контрольних меж.

У більшості випадків також розраховують і наносять на карту так звані попереджувальні межі

$$W_H = a - 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad W_B = a + 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (3.8)$$

Для попереджувальних меж приймають, що  $\alpha$  дорівнює 0,05 ( $Z_{0,05} = 1,96$ ). Їх порушення вказує на необхідність посилення контролю. Втручання в хід технологічного процесу здійснюється лише при порушенні контрольних меж. Область, що знаходиться всередині контрольних меж, в літературі часто називається «природним» допуском.

Бажано використовувати вибірки постійного обсягу  $n$ , при будь-якій зміні  $n$  слід розраховувати нові контрольні межі, що значно ускладнює побудову контрольної карти. На практиці зазвичай використовують значення  $n$ , що дорівнюють 4, 5, 6 або 7, причому особливу перевагу надають непарним пробам ( $n = 5$  і  $n = 7$ ), оскільки за ними легко знайти медіану, найчастіше застосовувану в контрольних картах. Слід свідомо вибирати невеликі обсяги вибірки  $n$  з метою зменшення кількості обчислювальних операцій після зняття кожного виміру. Наприклад, за п'ятьма індивідуальними значеннями без громіздких обчислень і допоміжних засобів легко визначити середнє арифметичне або розмах вибірки.

**Приклад.** Розрахувати контрольні та попереджувальні межі діапазону припустимих значень енергоспоживання шахтним конвеєром за даними підгрупи вимірювань (див. табл. 3.9.1). Номінальне значення витрати енергії  $a = 1$  кВт·год/(т·км), імовірність появи помилки  $\alpha = 0,01$ .



Витрати енергії шахтним конвеєром

Номер проби	1	2	3	4	5	6	7
Величина витрати енергії, кВт·год/(т·км)	0,98	1,1	1,2	1,15	0,88	1,03	1,05

Для наведених результатів вимірювань  $n = 7$ ,  $\sigma = 0,1072$ .

Приймаємо значення ймовірності появи помилки  $\alpha = 0,01$ , тоді межі контрольного діапазону згідно з (3.7):

$$K'_H = a - 2,576 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1 - 2,576 \cdot \frac{0,1072}{\sqrt{7}} = 0,8956;$$

$$K'_B = a + 2,576 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1 + 2,576 \cdot \frac{0,1072}{\sqrt{7}} = 1,1044.$$

При значеннях величини електроспоживання, що виходять за розраховані межі контрольного діапазону (а таке спостерігається у 5 контрольних точках), необхідно втручатися у процес виробництва з метою отримання значень енергоспоживання у заданих межах.

Попереджувальні межі розраховуємо за формулою (3.8):

$$W_H = a - 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1 - 1,96 \cdot \frac{0,1072}{\sqrt{7}} = 0,902;$$

$$W_B = a + 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1 + 1,96 \cdot \frac{0,1072}{\sqrt{7}} = 1,079.$$

При значеннях величини електроспоживання, що виходять за розраховані межі, необхідно підсилити контроль за роботою конвеєра.

### Контрольні питання

1. Які існують види статистичного контролю?
2. Для чого використовують контрольні карти?
3. Які параметри відображають на контрольних картах?
4. Як визначають контрольні межі?
5. Які дії необхідно виконувати при виході контрольованої величини за встановлені контрольні межі?
6. Що являють собою попереджувальні межі? Як їх визначити?

## ДОДАТОК

Таблиця 1

Значення  $F_{кр}$  для розподілу Фішера

$\alpha = 0,01$	$k_1 \backslash k_2$	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,91
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,371	
3	10,13	9,552	9,277	9,117	9,014	8,941	8,887	8,841	
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	
5	6,608	5,786	5,410	5,192	5,050	4,950	4,876	4,811	
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,141	
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,688	3,581	3,500	3,438	
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,136	3,07	
12	4,747	3,885	3,490	2,259	3,106	2,996	2,913	2,849	
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,6411	
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,4471	
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,420	2,334	2,266	
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,450	2,336	2,249	2,180	
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,166	2,097	
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	
$\infty$	3,842	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938 1	

Значення  $F_{кр}$  для розподілу Фішера

$\alpha = 0,05$	$k_1 \backslash k_2$	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	4052	5000	5403	5625	5764	5859	5928	5981
2	98,50	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,37	
3	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,46	10,29	
6	13,74	10,92	9,780	9,148	8,746	8,466	8,260	8,102	
8	11,26	8,649	7,591	7,006	6,632	6,371	6,178	6,029	
10	10,04	7,559	6,552	5,994	5,636	5,386	5,200	5,057	
12	9,330	6,927	5,953	5,412	5,064	4,821	4,640	4,499	
15	8,683	6,359	5,417	4,893	4,556	4,318	4,142	4,004	
20	8,096	5,849	4,938	4,431	4,103	3,871	3,699	3,564	
30	7,562	5,390	4,510	4,018	3,699	3,474	3,304	3,173	
40	7,314	5,178	4,313	3,828	3,514	3,291	3,124	2,993	
60	7,077	4,977	4,126	3,649	3,339	3,119	2,953	2,823	
120	6,851	4,786	3,949	3,480	3,174	2,956	2,792	2,663	
$\infty$	6,635	4,605	3,782	3,319	3,017	2,802	2,639	2,511	

Таблиця 2

Критичні значення асиметрії  $Sk_\alpha$  та ексцесу  $Ex_\alpha$ 

$n$	$Sk_\alpha$		$Ex_\alpha^-$		$Ex_\alpha^+$	
	$\alpha=0,01$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$	$\alpha=0,05$
25	1,061	0,711	–	–	–	–
30	0,982	0,661	–	–	–	–
35	0,921	0,621	–	–	–	–
40	0,869	0,587	–	–	–	–
50	0,787	0,533	–1,05	–0,87	1,92	1,01
60	0,723	0,492	–	–	–	–
80	0,631	0,432	–	–	–	–
100	0,567	0,389	–0,82	–0,65	1,40	0,77
150	0,464	0,321	–0,70	–0,55	1,14	0,66
200	0,403	0,280	–0,63	–0,49	0,98	0,57
300	0,329	0,230	–0,54	–0,41	0,79	0,47
400	0,285	0,200	–0,48	–0,36	0,67	0,41
500	0,255	0,179	–0,43	–0,33	0,60	0,37
600	0,233	0,163	–0,40	–0,30	0,54	0,34
800	0,202	0,142	–0,35	–0,26	0,46	0,29
1000	0,180	0,127	–0,32	–0,24	0,41	0,26
1500	0,147	0,104	–0,27	–0,20	0,33	0,22
2000	0,127	0,090	–0,23	–0,17	0,28	0,18
3000	0,104	0,073	–0,19	–0,14	0,22	0,15
4000	0,090	0,064	–0,17	–0,12	0,19	0,13
5000	0,081	0,057	–0,15	–0,11	0,17	0,12

Критичні значення функції  $t_n(P)$   
 для бракування значень, що «вистрибують»  $x^*$   
 ( $n$  – кількість результатів, що розглядаються,  $P$  – надійність виводу)

$n \backslash P$	0,95	0,98	0,99	0,999	$n \backslash P$	0,95	0,98	0,99	0,999
5	3,04	4,11	5,04	9,43	20	2,145	2,602	2,932	3,979
6	2,78	3,64	4,36	7,41	25	2,105	2,541	2,852	3,819
7	2,62	3,36	3,96	6,37	30	2,079	2,503	2,802	3,719
8	2,51	3,18	3,71	5,73	35	2,061	2,476	2,768	3,652
9	2,43	3,05	3,54	5,31	40	2,048	2,456	2,742	3,602
10	2,37	2,96	3,41	5,01	45	2,038	2,441	2,722	3,565
11	2,33	2,89	3,31	4,79	50	2,030	2,429	2,707	3,532
12	2,29	2,83	3,23	4,62	60	2,018	2,411	2,683	3,492
13	2,26	2,78	3,17	4,48	70	2,009	2,399	2,667	3,462
14	2,24	2,74	3,12	4,37	80	2,003	2,389	2,655	3,439
15	2,22	2,71	3,08	4,28	90	1,998	2,382	2,646	3,423
16	2,20	2,68	3,04	4,20	100	1,994	2,377	2,639	3,409
17	2,18	2,66	3,01	4,13	$\infty$	1,960	2,326	2,576	3,291
18	2,18	2,64	2,98	4,07					

Величини, що зв'язані з інтегралом імовірностей  $\Phi(t)$   
(функція  $t=t(P)$  є оберненою для  $P=2\Phi(t)$ )

$t$	$\Phi(t)$	$1-2\Phi(t)$	$1-P$	$t=t(P)$	$P$
2,5	0,49379	0,01242	0,05	1,960	0,95
2,6	0,49534	0,00932	0,04	2,054	0,96
2,7	0,49653	0,00693	0,03	2,170	0,97
2,8	0,49744	0,00511	0,02	2,326	0,98
2,9	0,49813	0,00373	0,01	2,576	0,99
3,0	0,49865	0,00270	0,009	2,612	0,991
3,1	0,49903	0,00194	0,008	2,652	0,992
3,2	0,49931	0,00137	0,007	2,697	0,993
3,3	0,49952	0,00097	0,006	2,748	0,994
3,4	0,49966	0,00067	0,005	2,807	0,995
3,5	0,499767	0,000465	0,004	2,878	0,996
3,6	0,499841	0,000318	0,003	2,968	0,997
3,7	0,499892	0,000216	0,002	3,090	0,998
3,8	0,499927	0,000145	0,001	3,291	0,999
3,9	0,499952	0,000096	0,0009	3,320	0,9991
4,0	0,499968	0,000063	0,0008	3,353	0,9992
4,1	0,499979	0,000041	0,0007	3,390	0,9993
4,2	0,499987	0,000027	0,0006	3,432	0,9994
4,3	0,499991	0,000017	0,0005	3,481	0,9995
4,4	0,499995	0,000011	0,0004	3,540	0,9996
4,5	0,4999966	0,0000068	0,0003	3,615	0,9997
4,6	0,4999979	0,0000041	0,0002	3,720	0,9998
4,7	0,4999987	0,0000025	0,0001	3,891	0,9999
4,8	0,4999992	0,0000016	$10^{-5}$	4,417	$1 \cdot 10^{-5}$
4,9	0,4999995	0,0000009	$10^{-6}$	4,892	$1 \cdot 10^{-6}$
5,0	0,4999997	0,0000006	$10^{-7}$	5,327	$1 \cdot 10^{-7}$

Квантилі нормального розподілу  $u_{1-\frac{p}{2}}$ 

$p$	$1-\frac{p}{2}$	$u_{1-\frac{p}{2}}$	$p$	$1-\frac{p}{2}$	$u_{1-\frac{p}{2}}$	$p$	$1-\frac{p}{2}$	$u_{1-\frac{p}{2}}$
0,80	0,60	0,25	0,15	0,925	1,44	0,01	0,995	2,58
0,50	0,75	0,67	0,10	0,95	1,64	0,005	0,9975	2,81
0,40	0,80	0,84	0,05	0,975	1,96	0,002	0,999	3,09
0,30	0,85	1,04	0,04	0,980	2,05	0,001	0,9995	3,29
0,25	0,875	1,15	0,02	0,990	2,33	0,0001	0,99995	3,89
0,20	0,90	1,28						

## Список літератури

1. Праховник, А.В. Контроль і нормалізація енергоспоживання [Текст] / А.В. Праховник, Г.Р. Трапп // Управління енерговикористанням: зб. доп. – К.: Изд-во Альянс за збереження енергії, 2001. – С. 387 – 397.
2. Методы и средства обеспечения энергетической эффективности угольных предприятий [Текст] / В.И. Логвиненко, Б.А.Грядущий, Н.А. Чехлатый, В.Н. Мьялковский. // : тез. доп. міжнар. наук.-техн. конф. – К.: Аверс, 2003 – 287 с.
3. Системи ефективного енергозабезпечення вугільних шахт [Текст] / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець, В.Т. Заїка, Ю.Т. Разумний; за ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2004. – 206 с.
4. Випанасенко, С.І. Передумови створення систем енергоменеджменту вугільних шахт [Текст] / С.І. Випанасенко // Зб. наук. праць НГУ. – 2004. – № 20. – С. 136 – 143.
5. Справочник по электроснабжению угольных шахт [Текст] / под ред. В.П. Морозова. – М.: Недра, 1975. – 576 с.
6. Випанасенко, С.І. Центри обліку енергії у системі енергоменеджменту вугільної шахти / С.І. Випанасенко // Наук. вісн. НГУ. – 2005.– № 10. – С. 89 – 94.
7. Энергетический менеджмент [Текст] / А.В. Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прохоренко и др. – К.: ІЕЕ НТУУ „КПІ”, 2001. – 472 с.
8. Випанасенко, С.І. Загальні вимоги до контрольованих технологічних параметрів в Центрах обліку енергії вугільних шахт [Текст] / С.І. Випанасенко // Наук. вісн. НГУ. – 2006. – № 2. – С. 78 – 81.
9. Краткий справочник горного инженера угольной шахты [Текст] / под общ. ред. А.С. Бурчакова и Ф.Ф. Кузюкова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 454 с.
10. Рыжков, П.А. Математическая статистика в горном деле [Текст]: учеб. пособие для вузов / П.А. Рыжков. – М.: Высш. шк., 1973. – 287 с.
11. Випанасенко, С.І. Обґрунтування вибору контрольованих технологічних параметрів в Центрах обліку енергії вугільних шахт [Текст] / С.І. Випанасенко // Наук. вісн. НГУ. – 2006. – № 2. – С. 88 – 93.
12. Демиденко, Е.З. Линейная и нелинейная регрессии [Текст] / Е.З. Демиденко. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 301 с.
13. Випанасенко, С.І. Контроль ефективності використання електроенергії вугільними шахтами [Текст] / С.І. Випанасенко // Техн. електродинаміка. Проблеми сучасної електротехніки. – 2006. – Ч.4. – С. 53 – 59.
14. Випанасенко, С.І. Розробка типової структури системи енергоменеджменту вугільної шахти [Текст] / С.І. Випанасенко // Наук. вісн. НГУ. – 2006. – № 12. – С. 75 – 82.
15. Випанасенко, С.І. Контроль ефективності використання енергії підрозділами вугільних шахт [Текст] / С.І. Випанасенко // Наук. вісн. НГУ. – 2006. – № 6. – С. 84 – 90.



16. Випанасенко, С.І. Організація оперативного контролю й управління енерговикористанням вугільних шах [Текст] / С.І. Випанасенко // Наук. вісн. НГУ. – 2007. – № 8. – С. 78 – 82.
17. Петрович, М.Л. Регрессионный анализ и его математическое обеспечение на ЕС ЭВМ. Практическое руководство [Текст] / М.Л. Петрович. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 199 с.
18. Пустыльник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений [Текст] / Е.И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
19. Управління енерговикористанням вугільних шахт [Текст] / С.І. Випанасенко // Форум гірників – 2007: матеріали міжнар. конф. – Д., 2007. – С. 190 – 193.
20. Випанасенко, С.І. Діяльність керівництва вугільної шахти при впровадженні та функціонуванні систем енергоменеджменту [Текст] / С.І. Випанасенко // Наук. вісн. НГУ. – 2008. – № 1. – С. 87 – 92.
21. Гурский, Е.И. Теория вероятностей с элементами математической статистики [Текст]: учеб. пособие для вузов / Е.И Гурский. – М.: Высш. шк. – , 1971. – 328 с.
22. Климов, Г.П. Теория вероятности и математическая статистика [Текст] / Г.П. Климов – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 328 с.
23. Колмогоров, А.Н. Теория вероятности и математическая статистика [Текст] / А.Н. Колмогоров; отв. ред. Ю.В. Прохоров. – М.: Наука, 1986. – 534 с.
24. Микулин, Н.А. Решение технических задач по теории вероятности и математической статистике [Текст]: справ. пособие / Н.А. Микулин, Г.Н. Рейзина. – Минск: Вышэйш. шк., 1991.– 163 с.
25. Вильямс Орвис. EXCEL для ученых, инженеров и студентов [Текст]: пер. с англ. / Орвис Вильямс. – К.: Юниор, 1999. – 528 с.
26. Румшицкий, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента [Текст] / Л.З. Румшицкий. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
27. Справочник по теории вероятности и математической статистике [Текст] / В.С. Королев, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин.– 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Наука, 1995. – 640 с.
28. Комаров, Л.Б. Статистические методы обработки экспериментальных данных [Текст]: учеб. пособие / Л.Б. Комаров. – Л.: ЛТИ, 1972. – Ч. 2. – 208 с.
29. Кременр, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учебник / Н.Ш. Кременр. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Юнити, 2007. – 551 с.
30. Офіційний веб-сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/index>.
31. Калинин, В.П. Энергетический менеджмент. Графические методы обработки информации [Текст]: учеб. пособие / В.П. Калинин, В.П. Розен, А.И. Соловей. – К.: Кондор, 2007. – 104 с.
32. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. для вузов / В.Е. Гурман. – М.: Высш. шк., 2003. – 480 с.
33. Салин, В.Н. Статистика [Текст] / В.Н. Салин. – М.: КноРус , 2009. – 288 с.

34. Розанов, Ю.А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика [Текст] / Ю.А. Розанов. – М.: Наука, 1985. – 320 с.
35. Разумный, Ю.Т. Классификация графиков электрической нагрузки по группам электроприемников угольной шахты [Текст] / Ю.Т. Разумный, А.В. Рухлов // Наук. вісн. НГУ. – 2009. – № 12. – С. 64 – 65.
36. ДСТУ 3224-95 (ГОСТ 30356-96) Енергозбереження. Методи визначення норм витрачання електроенергії гірничими підприємствами [Електронний ресурс] / Document.ua.– Режим доступа: [www/vpl:](http://www.vpl:) <http://document.ua/energozberezhennja-metodi-viznachennja-el-std-1367.html> – 10/05/2010 р. – Загл. с экрана.
37. Разумный, Ю.Т. Енергозбереження [Текст]: навч. посібник / Ю.Т. Разумный, В.Т. Заїка, Ю.В. Степаненко. – Д.: Національний гірничий університет, 2005. – 166 с.
38. Алексеев, В.В. Стационарные машины [Текст]: учеб. для вузов / В.В. Алексеев. – М.: Недра, 1989. – 416 с.
39. Рухлов, А.В. Моделивання графіків електричного навантаження вугільних шахт [Текст]: монографія / А.В. Рухлов. – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – 119 с.
40. Infrared Handbook [Text] / Roberts-Gordon, Inc. 1994. – 104 P. (Учебник по инфракрасному отоплению).
41. Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий [Текст]: учеб. для вузов / А.А. Федоров, В.В. Каменева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
42. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст]: учеб. пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 2000. – 480 с.

Навчальне видання

**Півняк** Геннадій Григорович  
**Випанасенко** Станіслав Іванович  
**Хованська** Олена Ігорівна  
**Хацкевич** Юлія В'ячеславівна  
**Дрешпак** Наталія Станіславівна

## **Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення**

Навчальний посібник

Редактор Л.О. Чуїщева

Підп. до друку 28.01.2013. Формат 30x42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 11,9.  
Обл.-вид. арк. 11,9. Тираж 300 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
у Державному вищому навчальному закладі  
«Національний гірничий університет»  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.

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