

## ***1 Історичний аспект виникнення енергозбереження***

Після енергетичної кризи 1972-1973 р.р. розвинені країни прийняли так звані «енергетичні» закони. Наприклад, у США завдяки великій увазі, як було приділено енергозбереженню після нафтової кризи споживання енергоресурсів за десять років після кризи зменишилося на кілька відсотків порівняно з рівнем 1973 р., валовий же суспільний продукт країни за цей період зріс на 25%.

Україна дістала у спадщину від СРСР надзвичайно неефективну, енергоємну й матеріалоемну промисловість. Наприклад, для отримання 1т цементу ми витрачаємо 274 кг умовно палива, а японці – 142. Питомі затрати енергії у чорної металургії Японії на 20 –30% нижчі, ніж у нас, причому, як не парадоксально – головним чином за рахунок впровадження таких передових технологій, як безперервна розливка сталі, сухе гасіння коксу, утилізація тепла газів доменних печей. Ці технології були розроблені у нас, японці придбали ліцензії на їх застосування і мають із цього неабияку вигоду, а у вітчизняній металургії вони майже не впроваджені.

Невдовзі після здобутті Україною незалежності був прийнятий Закон України про енергозбереження 1994 р..

## ***2 Загальні засади Закону України про енергозбереження***

Цей Закон визначає правові, економічні, соціальні та екологічні основи енергозбереження для всіх підприємств, об'єднань та організацій, розташованих на території України, а також для громадян. У цьому Законі вживаються такі поняття: "енергозбереження"— діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), яка спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів в національному господарстві і яка реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів; "енергозберігаюча політика" — адміністративно-правове і фінансово-економічне регулювання процесів видобування, переробки, транспортування, зберігання, виробництва, розподілу та використання паливно-енергетичних ресурсів з метою їх раціонального використання та економного витрачання; "паливно-енергетичні ресурси" — сукупність всіх природних і перетворених видів палива та енергії, які використовуються в національному господарстві; "раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів" — досягнення максимальної ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів при існуючому рівні розвитку техніки та технології і одночасному зниженні техногенного впливу на навколишнє природне середовище; "економія паливно-енергетичних ресурсів" — відносне скорочення витрат паливно-енергетичних ресурсів, що виявляється у зниженні їх питомих витрат на виробництво продукції, виконання робіт і надання послуг встановленої якості; енергоефективні продукція, технологія, обладнання— продукція або метод, засіб її виробництва, що забезпечують раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів порівняно з іншими варіантами використання або виробництва продукції однакового споживчого рівня чи з аналогічними техніко-економічними показниками; (Абзац восьмий преамбули в редакції Закону N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) енергозберігаючі (енергоефективні) заходи — заходи, спрямовані на впровадження та виробництво енергоефективних продукції, технологій та обладнання; (Абзац дев'ятий преамбули в редакції Закону N 3260-IV (3260-15) від

22.12.2005) енергоефективний проект— проект, спрямований на скорочення енергоспоживання, а саме: реконструкція мереж і систем постачання, регулювання і облік споживання води, газу, теплової та електричної енергії, модернізація огорожувальних конструкцій та технологій виробничих процесів; (Преамбулу доповнено абзацом згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) енергетичний аудит (енергетичне обстеження— визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та розроблення рекомендацій щодо її поліпшення; (Преамбулу доповнено абзацом згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) менеджмент з енергозбереження— система управління, спрямована на забезпечення раціонального використання споживачами паливно-енергетичних ресурсів; (Преамбулу доповнено абзацом згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) норми питомих витрат палива та енергії— регламентована величина питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів для даного виробництва, процесу, даної продукції, роботи, послуги; (Преамбулу доповнено абзацом згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) прямі втрати паливно-енергетичних ресурсів— втрата паливно-енергетичних ресурсів поза технологічними процесами (вид нераціонального використання паливно-енергетичних ресурсів); (Преамбулу доповнено абзацом згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) марнотратне витрачання паливно-енергетичних ресурсів— систематичне, без виробничої потреби, не зумовлене вимогами технічної безпеки недовантаження або використання на холостому ходу електродвигунів, електропечей та іншого електро- і теплоустаткування; систематична втрата стисненого повітря, води і тепла, спричинена несправністю арматури, трубопроводів, теплоізоляції трубопроводів, печей і тепловикористовуючого устаткування; недотримання вимог нормативної та проектної документації щодо теплоізоляції споруд та інженерних об'єктів, яке призводить до зниження теплового опору огорожувальних конструкцій, вікон, дверей в опалювальний сезон (вид нераціонального використання паливно-енергетичних ресурсів); (Преамбулу доповнено абзацом згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) нераціональне (неефективне) використання паливно-енергетичних ресурсів— прямі втрати паливно-енергетичних ресурсів, їх марнотратне витрачання та використання паливно-енергетичних ресурсів понад показники питомих витрат, визначених системою стандартів, а до введення в дію системи стандартів — нормами питомих витрат палива та енергії; (Преамбулу доповнено абзацом згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) "вторинні енергетичні ресурси" — енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється в технологічних агрегатах (установках, процесах) і не використовується в самому агрегаті, але може бути частково або повністю використаний для енергопостачання інших агрегатів (процесів); "нетрадиційні та поновлювані джерела енергії"— джерела, що постійно існують або періодично з'являються в навколишньому природному середовищі у вигляді потоків енергії Сонця, вітру, тепла Землі, енергії морів, океанів, річок, біомаси.

Метою законодавства про енергозбереження є регулювання відносин між господарськими суб'єктами, а також між державою і юридичними та фізичними особами у сфері енергозбереження, пов'язаної з видобуванням, переробкою, транспортуванням, зберіганням, виробленням та використанням паливно-енергетичних ресурсів, забезпечення заінтересованості підприємств, організацій та громадян в енергозбереженні, впровадженні енергозберігаючих технологій,

розробці і виробництві менш енергоємних машин та технологічного обладнання, закріплення відповідальності юридичних і фізичних осіб у сфері енергозбереження.

Основні принципи державної політики енергозбереження Основними принципами державної політики у сфері енергозбереження є: а) створення державою економічних і правових умов заінтересованості в енергозбереженні юридичних та фізичних осіб; б) здійснення державного регулювання діяльності у сфері енергозбереження на основі застосування економічних, нормативно-технічних заходів управління; в) пріоритетність вимог енергозбереження при здійсненні господарської, управлінської або іншої діяльності, пов'язаної з видобуванням, переробкою, транспортуванням, зберіганням, виробленням та використанням паливно-енергетичних ресурсів; г) наукове обґрунтування стандартизації у сфері енергозбереження та нормування використання паливно-енергетичних ресурсів, необхідність дотримання енергетичних стандартів та нормативів при використанні палива та енергії; д) створення енергозберігаючої структури матеріального виробництва на основі комплексного вирішення питань економії та енергозбереження з урахуванням екологічних вимог, широкого впровадження новітніх енергозберігаючих технологій; е) обов'язковість державної експертизи з енергозбереження; (Пункт "е" статті 3 із змінами, внесеними згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) є) популяризація економічних, екологічних та соціальних переваг енергозбереження, підвищення громадського освітнього рівня у цій сфері; ж) поєднання методів економічного стимулювання та фінансової відповідальності з метою раціонального використання та економного витрачання паливно-енергетичних ресурсів; з) встановлення плати за прямі втрати і нераціональне використання паливно-енергетичних ресурсів; и) вирішення проблем енергозбереження у поєднанні з реалізацією енергетичної програми України, а також на основі широкого міждержавного співробітництва; і) стимулювання раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів шляхом комбінованого виробництва електричної та теплової енергії (когенерації); (Статтю 3 доповнено пунктом "і" згідно із Законом N 2509-IV (2509-15) від 05.04.2005) ї) поступовий перехід до масового застосування приладів обліку та регулювання споживання паливно-енергетичних ресурсів; (Статтю 3 доповнено пунктом "ї" згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) й) обов'язковість визначення постачальниками і споживачами обсягу відпущених паливно-енергетичних ресурсів за показаннями приладів обліку споживання паливно-енергетичних ресурсів у разі їх наявності; (Статтю 3 доповнено пунктом "й" згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005) к) запровадження системи енергетичного маркування електрообладнання побутового призначення. (Статтю 3 доповнено пунктом "к" згідно із Законом N 3260-IV (3260-15) від 22.12.2005)

Стаття 4. Об'єкти правового регулювання відносин у сфері енергозбереження Об'єктами правового регулювання законодавства про енергозбереження є відносини у сфері функціонування енергетичного господарства України, проектування, створення та впровадження наукових та конструкторських розробок, пов'язаних з підвищенням ефективності використання палива та енергії, інформаційного забезпечення народного господарства та населення з проблем енергозбереження, а також у сфері управління та контролю за використанням паливно-енергетичних ресурсів.

### **3 Основні поняття енергозбереження**

При реалізації енергетичної політики слід розрізняти економію ПЕР, що виникає внаслідок „природного” удосконалення технологічних процесів та підвищення свідомості суспільства, і ту, яка виникає внаслідок цілеспрямованої діяльності державних органів управління, зокрема завдяки цільовим інвестиціям та іншим системним економічним заходам (імпортні та експортні митні бар'єри, податкові пільги і т.п.).

*Енергозбереження* – це діяльність спрямована на ефективне використання ПЕР. Енергозбереження реалізується за допомогою організаційних, технічних, інформаційних та правових методів.

*ПЕР* – це сукупність всіх природних та перетворених видів палива та енергії, які використовуються в національному господарстві.

*Енергозберігаючі заходи* – це заходи спрямовані на впровадження та виробництво енергоефективних технологій, продукції, обладнання.

*Енергетичний аудит* – це складова частина енергоменеджменту, спрямована на обстеження об'єкта та його енерговикористання, визначення заходів для енергозбереження та їх техніко-економічне обґрунтування.

*Пряма економія ПЕР* виникає внаслідок зменшення енергозатрат на всіх етапах виробництва, в т.ч. – організаційних заходів і використання досконаліших засобів праці і технологій.

*Непряма економія ПЕР* виникає завдяки підвищенню якості продукції, зменшення її матеріалоємності, використанню нових матеріалів та нових джерел енергії.

*Структурна економія ПЕР* досягається шляхом переходу від енергозатратної до енергоекономної структури економіки як у регіональному, так і національному масштабах.

*Неефективними (марнотратними) називаємо енергозатрати*, що виникають внаслідок відхилення технологічних процесів від нормативних вимог, режимних карт, вимог технологічної та проектної документації на електро- та тепlopостачання, відхилення характеристик споруд, машин та графіка їх роботи від паспортних вимог чи галузевих стандартів.

*Теоретичний потенціал енергозбереження (ТПЕ)* – це максимальна економія ПЕР, що досягається завдяки ліквідації всіх видів втрат.

*Технічний потенціал енергозбереження* рівний економії ПЕР, що може бути досягнена за фіксований проміжок часу доступними засобами залежно від стану науково-технічного рівня даного соціуму.

*Економічний потенціал енергозбереження (ЕПЕ)* – це частина технічного ПЕ, яка може бути прибутково впроваджена при наявності інвестиції, ЕПЕ завжди менший від технічного, оскільки регламентується окупністю та іншими вимогами до інвестицій.

*Енергозберігаючий потенціал* поведінки визначається розумінням актуальності енергозбереження суб'єктами ринку, що можуть (уповноважені) приймати рішення.

*Енергоємність продукції* – це відношення річного обсягу спожитої енергії (в натуральному обчисленні) до річного обсягу продукції (в натуральному та вартісному обчисленні). Аналогічно визначають електричну, або теплову ємність продукції.

*Електропаливний коефіцієнт* – це відношення обсягу річного споживання електроенергії до річного обсягу спожитої енергії палива (без урахування затрат на виробництво електроенергії).

*Теплоенергетичний коефіцієнт* – це відношення обсягу річного споживання тепла (гарячі пара, вода) до річного обсягу спожитої електроенергії.

*Якість* – це сукупність властивостей об'єкта, які визначають його здатність задовольняти певні потреби відповідно до його призначення.

*Ефективність* – це одна з характеристик якості, що виражається зіставленням витрат і результатів функціонування.

Існують два основних критерії визначення якості. Перший базується на нормуванні, порівнянні та максимізації відношення результату до затрат, а другий – різницею між результатами та затратами. Останній критерій слід застосовувати лише при адитивності результатів і витрат.

При оцінці *ефекту енергозбереження* використовують поняття інженерна та економічна еластичність потенціалу економії ПЕР.

*Інженерна еластичність* вимірює можливість заміщення енергії капіталом за умови, що його сприяння виробництву є постійним.

*Економічна еластичність* енергозбереження вимірює можливість заміщення енергії капіталом за умови незміни кінцевого продукту.

## Лекція №2

**Тема:** Визначення енергоефективності виробництва електричної та теплової енергії.

**Мета:** Ознайомитися з поняттям енергоефективності, з проблемами її підвищення; розглянути тенденції зміни рівня енергоефективності виробництва енергії; ознайомитися зі світовим досвідом у сфері енергоефективності.

**Методи:** словесні, наочні.

### План:

1 Проблеми підвищення енергоефективності виробництва електричної та теплової енергії.

2 Тенденції зміни рівня енергоефективності виробництва енергії.

3 Світовий досвід, досягнення та стратегічні орієнтири політики енергоефективності.

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:** конспект, підручник.

### Література:

1 Основы энергосбережения: учебник / Н. И. Данилов, Я. М. Щелков; под ред. Н. И. Данилова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006 – 564 с.

2 Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергосбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

## ***1 Проблеми підвищення енергоефективності виробництва електричної та теплової енергії***

Поняття енергоефективності тісно пов'язане з поняттям «енергозбереження». Енергоефективність слід розуміти як такий стан економіки, який дозволяє максимально ефективно використовувати наявні енергетичні ресурси, спираючись на існуючий технологічний уклад. Таким чином, енергоефективність є якісним показником ступеня розвитку національної економіки, а енергозбереження – це кількісна характеристика зменшення використання одного показника відносно іншого.

Основним із показників, який дозволяє визначити енергетичну ефективність економіки країни, виступає енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП). Він визначається як відношення кількості спожитих паливно-енергетичних ресурсів до валового внутрішнього продукту країни. Для співставлення показників різних країн враховують розбіжність офіційних курсів національних валют стосовно їх паритету реальної купівельної спроможності (ПКС). Це дає можливість співставити показники країн з різними внутрішніми цінами та різними доходами.

Показник енергоємності ВВП України за останні роки в декілька разів перевищує аналогічний показник індустріально розвинених країн. За підсумками 9 місяців 2010 року енергоємність ВВП в Україні склала 0,80 кг умовного палива на 1 дол. Цей показник є сьогодні найвищим серед країн Європи. Зокрема в Польщі енергоємність ВВП складає 0,34 кг у.п./дол., Угорщині - 0,30, Німеччині - 0,26, Великобританії - 0,23. Така ситуація з енергоємністю ВВП об'єктивно обмежує конкурентоспроможність національного виробництва і лягає важким тягарем на економіку країни, тим більше в умовах залежності від зовнішніх постачальників ресурсів. На відміну від розвинених країн, де енергозбереження є питанням енергетичної та екологічної доцільності, для України це питання національної безпеки.

На рівень енергоефективності впливають такі чинники: ефективність використання ресурсів для виробництва товарів та послуг, структура національної економіки, цінова політика на енергоресурси, рівень розвитку транспортної інфраструктури, географічне розташування країни, кліматичні умови, соціально-культурні, демографічні чинники тощо. Але статистичні дослідження щодо впливу кожного з факторів на показник енергоефективності не проводились ні у вітчизняній практиці ні за кордоном. Тому досить складно визначити ступінь впливу кожного чинника на енергоефективність національної економіки. Потреба у визначенні чіткої системи факторів впливу на енергоефективність національної економіки постала лише з моменту формування стратегії підвищення енергоефективності провідними країнами і загострилася в зв'язку з необхідністю запровадження механізмів реалізації положень Кіотського протоколу [3]. Слід зазначити, що на даний момент розробкою системи чинників переважно займаються різні міжнародні агентства, кожне з яких формує систему показників та індикаторів виходячи із своїх завдань та бачення проблеми. Формування системи факторів впливу на показник енергоефективності повинно сприяти визначенню напрямів державного впливу та формування дієвої програми енергоефективного розвитку економіки.

Енергетична проблема завжди гостро стояла перед економікою України. Першу паливно-енергетичну кризу 70-х років Україна пережила в складі СРСР, де

вона була форпостом індустріалізації на основі дешевих енергоресурсів, а енергоємність її ВВП була на 25% вища за середньосоюзню. Суттєвих кроків по зменшенню енергоємності ВВП не було зроблено, оскільки впродовж 1975-1990 років цей показник зменшився лише на 16% [4]. Підвищення цін на енергоносії виявило низьку ефективність національної економіки, побудованої на засадах екстенсивного використання енергоресурсів. Низькі ціни на газ впродовж 90-х років ХХ століття відіграли роль своєрідного інгібітора оновлення матеріально-технічної бази. Відсутність стимулів до зменшення енергоспоживання призвело до того, що українські підприємства не здійснили модернізацію виробничого обладнання, спрямовану на енергозбереження. Економіка України виявилася не готовою до високих цін на енергоносії і цілком залежною від них.

Вивчення проблеми енергоефективності приводить нас до розуміння необхідності енергозбереження на усіх стадіях – виробництво, транспортування та споживання енергетичних ресурсів. Кожна стадія потребує детального вивчення на предмет факторів впливу та можливості максимально ефективного використання ресурсів.

Наслідком вирішення проблеми енергоефективності повинно стати:

1. Забезпечення за нормальної ситуації безперебійного постачання споживачам доступних енергоресурсів належної якості, а в екстремальних умовах - задоволення мінімально необхідного попиту соціально-значущих споживачів;
2. Ефективне використання енергоресурсів, що сприятиме переведенню держави на енергозберігальний шлях розвитку та зменшення енергоємності виробництва товарів та послуг;
3. Задоволення вимог економічної, виробничої, екологічної та соціальної безпеки.

## ***2 Тенденції зміни рівня енергоефективності виробництва енергії***

Піднесення ступеню відкритості економіки внаслідок лібералізації та глобалізації, надання Україні статусу країни з ринковою економікою та вступ до СОТ спричинили суттєвий вплив кон'юнктури зовнішніх ринків на фінансово-економічний стан вітчизняних підприємств. В цих умовах, країна не стала рівноправним суб'єктом світового ринку. Торгівельний баланс промислової групи товарів держави формується переважно за рахунок імпорту енергоресурсів та експорту, енергоємної продукції проміжного споживання. Така ситуація вказує на значний потенціал збільшення валової доданої вартості, а відтак і економічною зростання за умови прориву у розвитку енергоефективних технологій виробництва.

Динаміка енергоефективності економіки України мала три стадії. На першій стадії (1991-1995 роки) економіка відзначалася істотним зростанням енергоємності (**ЕВВП** в період 1990-1996 років зросла на 42%). На другій стадії (1996-1999 роки) економіка країни стабілізувалась, енергоємність почала знижуватися. На третій стадії (2000-2010 роки) економічний рівень країни зростає, енергоємність мала позитивну тенденцію до зменшення.

Зменшення останніми роками енергоємності ВВП не може вважатися результатом виключно державної політики енергоефективності, або ринковими факторами прояву цінової еластичності енергоспоживання. Значно більший вплив мав фактор масштабу виробництва. Зменшення питомих витрат енергоресурсів на



виробництво окремих видів товарів та послуг відбулося на тлі невеликої кількості впроваджених енергозберігаючих проектів в модернізацію виробництва.

Одним з факторів динаміки енергоємності ВВП стала тіньова економіка (особливо протягом 90-х років, коли, за різними оцінками, у «тінь» пішло до 60% **ВВП**). Рівень тіньової економіки в Україні у 2010 році, за оцінками Мінекономіки, становив більше 30%. Це відповідно впливає на динаміку енергоефективності, оскільки загальне споживання енергоресурсів відноситься фактично лише до двох третин економіки. Підприємства, які працюють у тіньовому секторі, одержують надприбутки й не зацікавлені в ощадливому використанні ПЕР

В галузевій структурі промислового виробництва в Україні домінують енергоємні галузі. Експортуючи сировину й імпортуючи готову продукцію, економіка України втрачає природну непоновлювальну ренту, обмінюючи її на інтелектуальну ренту, тобто фінансуючи за рахунок власного природною багатства науково-технічний прогрес і економічне зростання в інших країнах.

Найбільш ефективним інструментом енергозбереження є цінова політика. Але в Україні, при істотному зростанні, ціни і тарифи на енергоресурси не стали стимулом енергоефективності. Директивне, а не економічно обґрунтоване ціноутворення у поєднанні з недосконалістю обліку споживання енергоресурсів призвело до перехресною субсидування споживачів та до енергетичного марнотратства.

Цінові перекоси і субсидування, що мають місце в енергетичному вартісному ланцюгу України, зосереджені переважно на ділянках видобутку палива та постачанні енергоресурсів деяким категоріям споживачів.

Для населення тарифи на електроенергію є меншими майже вдвічі, ніж для решти споживачів, і забезпечують відшкодування лише близько 60% собівартості. Але досвід європейських країн свідчить, що тарифи на електроенергію для населення мають перевищувати промислові щонайменше на 40%, оскільки витрати на постачання енергії для великих споживачів значно менші. **Підприємства** з року в рік отримують через це недостатньо коштів на модернізацію та реконструкцію, проведення капітальних ремонтів, енергозберігаючих заходів.

Механізмом вирішення цієї проблеми є поступове вирівнювання тарифів для різних груп споживачів відповідно до реальних витрат, з включенням механізмів бюджетних субсидій та адресної допомоги.

До визначальних факторів, що негативно впливають на енергоефективність економіки, можна віднести: домінування в галузевій структурі енергоємних виробництв; зношеність основних фондів підприємств та відповідно великі понаднормативні втрати енергоносіїв; недостатня оснащеність невиробничої сфери (в першу чергу житлового фонду) приладами обліку спожитих енергоносіїв; проблеми, пов'язані з залученням інвестицій та використанням кредитних ресурсів; відсутність реальних інноваційних механізмів у виробничій сфері, ліквідація галузевої науки та механізмів залучення потенціалу академічних інститутів для виконання прикладних розробок; відсутність дії ефективного антимонопольного механізму, який би запобігав компенсації нераціональних витрат енергоресурсів шляхом підвищення цін на продукцію; недостатнє інституційне забезпечення політики енергоефективності.

Вказані вище чинники призводять до зниження конкурентоздатності вітчизняної продукції' на внутрішньому і зовнішньому ринках.

### *3 Світовий досвід, досягнення та стратегічні орієнтири політики енергоефективності*

*Промисловий сектор.* Кінцеве споживання енергії промисловістю у світі склало у 2005 році 116 кДж, що утворило 9,9 Гтонн емісій діоксиду вуглецю. Зростання енергоспоживання відбувається головним чином завдяки країнам, що не є членами ОЕСР. Оцінка динаміки індикаторів енергоефективності свідчить про значне її підвищення у переважній кількості енергоємних галузей промисловості у всіх частинах світу. Це є результатом упровадження нових, більш ефективних технологій. Найбільш енергоефективна промисловість – у Японії та Республіці Корея, трохи менша – в країнах Європи та Північній Америці. У країнах, що розвиваються, та країнах з перехідною економікою показники енергоефективності у промисловості останнім часом почали різке зростання. Це відбувається завдяки будівництву нових промислових потужностей за новітніми енергоефективними технологіями. Річний світовий потенціал зростання енергоефективності від поширення «кращих практик» та застосування технологій, що підтвердили свою енергоефективність, оцінений МЕА, дорівнює 25-37 кДж. Це відповідає 18%-26% поточного споживання первинної енергії промисловістю та дозволяє щороку уникати емісії 80 Мтонн діоксиду вуглецю. Найбільший потенціал сконцентрований у виробництві металів і сталі, цементу, хімічній та нафтохімічній промисловості.

Для виробництва електроенергії у світі витрачається близько третина палива, що призводить до викидів близько 10 Гтонн діоксиду вуглецю. Середньосвітовий показник ефективності виробництва електроенергії з органічних видів палива становить 36%, а саме: 34% - з використанням вугілля, 40% - газу, 37% - мазуту. Рівень ефективності поступово зростає в останні роки та є найбільш високим у розвинених країнах. Однак технічно досяжний потенціал підвищення ефективності значний: на рівні 21-29 кДж на рік, (переважно у вугільній енергогенерації).

З 1990 року енергоспоживання транспортним сектором у світі зросло на 37% (найінтенсивніше автомобільним транспортом, та в країнах, що не є членами ОЕСР) до 75 кДж, що еквівалентно 5,3 Гт викидів діоксиду вуглецю. Із зростанням пасажиропотоків на 30%, автомобільний пасажирський транспорт споживає тепер на 24% палива та енергії більше, ніж у 1990 році. Покращення ефективності двигунів нівелюється збільшенням маси транспортних засобів та кількістю транспортних засобів, що зменшує енергоефективність. Енергоспоживання вантажоперевізним транспортом зросло на 27% зі зростанням вантажопотоків на 34%. Енергоефективність вантажоперевізного транспорту зросла на 5% головним чином через логістику та оптимізацію завантаження транспортних засобів.

*Побутовий сектор* у світі споживає близько 80 кДж на рік, що утворює близько 4 Гт емісій діоксиду вуглецю (у т.ч. непрямі емісії від електроспоживання). Це єдиний сектор, що з 1990 року наростив енергоспоживання більше в країнах ОЕСР (на 22%), ніж в інших країнах (на 18%). У структурі енергоспоживання побутовим сектором в країнах ОЕСР переважають електроенергія та природний газ (72%), в інших країнах - відновлювальні джерела енергії (59%), здебільшого біомаса. Зростаюча кількість електричних побутових пристроїв та збільшення житлової площі помешкань у розвинених країнах призводить до підвищеного попиту на електроенергію.

*Сфера послуг* споживає близько 30 кДж енергії, що спричиняє близько 3 Гт емісій парникових газів. Більше 70% енергоспоживання цим сектором - в країнах ОЕСР, з використанням, переважно, електроенергії та природного газу. В інших країнах переважають вугілля (Китай та ПАР), біомаса (Індія), теплова енергія для комунального теплопостачання (Росія). Якщо показник питомого енергоспоживання на одиницю валової доданої вартості має тенденцію до зниження, інший важливий показник енергоспоживання у цьому секторі - енергоспоживання на одиницю площі, у різних країнах має як позитивну, так і негативну динаміку.

Скорочення енергоємності ВВП країн світу відбувається, головним чином, за рахунок інтенсифікації процесів інноваційного розвитку. Важливим стимулом цих процесів стала залежність більшості розвинених країн від імпорту енергоносіїв, а також необхідність вирішення проблеми погіршення екологічної ситуації. Внаслідок політики енергозбереження енергоємність ВВП зменшилася за останні два десятиріччя на 18%, в т. ч. у розвинених країнах - на 21-27%. Підвищення енергоефективності дозволило забезпечити до 60-65% економічного зростання. Ця тенденція і надалі буде домінувати. Невипадково Світовий Банк серед найважливіших факторів, що обумовлюють стійкість економічних систем країн, називає еластичність попиту промислових підприємств на енергоносії завдяки впровадженню заходів з енергозбереження<sup>45</sup>.

Огляд досліджень щодо взаємозв'язку між економічним зростанням та енергоспоживанням показує, що не існує типових економетричних залежностей, які можуть бути застосовані для будь-якої країни. Результатом енергоефективності є відставання зростання енергоспоживання від зростання ВВП, яке характеризується величиною еластичності енергоспоживання. Як показують розрахунки, еластичність енергоспоживання змінюється від 0,85 в 1990 році до 0,73 для періоду 1995-2010 років. Аналіз свідчить, що зменшення енергоємності ВВП на 0,1 т у.п./1000 дол. США відповідає збільшенню темпів зростання ВВП на 0,030-0,035%.

Директивою ЄС щодо енергозбереження встановлений індикативний показник скорочення споживання енергії у 9%. Національними планами дій з енергоефективності деяких країн встановлені вищі значення цього індикатора: Італія – 9,6%, Кіпр – 10%, Литва – 11%, Румунія – 13,5%. Ірландія, Нідерланди та Велика Британія задекларували перевищення рівня 9%<sup>6</sup>. Обов'язковість чи індикативність задекларованого рівня енергозбереження, так як і відповідальність за його досягнення, покладена на уряди країн.

Японська програма енергоефективності Top 1000 – це підвищення енергоефективності на 1000 найбільш енергоємних підприємствах, що дозволило заощадити близько 100 млн. т н.е. до 2010 року.

Чверть енергоресурсів Китаю витрачається на виробництво товарів для експорту, тому до 2015 року планується досягти зміщення структури ВВП у бік легких та високотехнологічних галузей промисловості.

Країни СНД на даний час знаходяться на різних етапах переходу до нового рівня енергоефективності. Загальним для всіх цих країн є висока енергоємність, яка приблизно в п'ять разів перевищує відповідний показник західноєвропейських країн.

Для економіки Російської Федерації рівень енергоемності ВВП, розрахований за паритетом купівельної спроможності, у 3 рази вищий, ніж в країнах ЄС і Японії, та у 2 рази, ніж у світі в цілому. Головними причинами такого стану є структура промислового виробництва в Росії, де переважають енергоємні галузі (близько 62%), а також технологічна відсталість і високі втрати у сфері енергоспоживання.

Отже, світовий досвід доводить, що результативна політика енергоефективності є суттєвим фактором економічного розвитку та підвищення конкурентоспроможності економіки. За оцінками експертів, щорічний обсяг втрат національної економіки від неефективного, порівняно з європейськими показниками, енергоспоживання оцінюється на рівні 15-17 млрд. дол. США. Важливим інтегруючим висновком для енергетичної політики України з наведених спостережень є те, що досягнення стійкого економічного розвитку за умови реалізації енергозберігаючої політики може бути забезпечене без істотного збільшення енергоспоживання.

## **Лекція №3**

**Тема:** Основні напрямки економії енергоресурсів.

**Мета:** ознайомитися із шляхами економії енергоресурсів, з методами стимулювання економії та зі світовим досвідом.

**Методи:** словесні, наочні.

### **План:**

- 1** Шляхи економії енергоресурсів.
- 2** Методи стимулювання економії енергоресурсів.
- 3** Економія енергоресурсів за кордоном.

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:**  
конспект, підручник.

### **Література:**

**1** Основы энергосбережения: учебник / Н. И. Данилов, Я. М. Щелков; под ред. Н. И. Данилова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006 – 564 с.

**2** Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергосбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

### ***1 Шляхи економії енергоресурсів***

Комплексний підхід до організації раціонального використання енергоресурсів передбачає техніко–економічний аналіз резервів економії енергоресурсів, розробку планів організаційно–технічних заходів і їх реалізацію.

Економія енергоресурсів досягається за рахунок інтенсифікації технологічних процесів і впровадження нової техніки і прогресивної технології, скорочення норм розходу на виробництво продукції, зменшення витрат енергії, робота обладнання в економних режимах, використання вторинних енергоресурсів.

Резерви економії розподіляють:

1) 60 – 70 % дає розробка і використання нової більш економного енергоспоживання обладнання, застосування менше енергомістких технологій, застосування засобів автоматизації і контролю;

2) 20 – 25 % можна отримати шляхом зниження енергоресурсів на стадії споживання і при передачі, транспортуванні і зберіганні енергоресурсів;

3) 10 – 15 % можуть давати організаційно – технічні міроприємства, в т.ч. використання вторинних енергоресурсів.

Оцінка ефективності енергозбереження повинна проводитися при обов'язковому співставленні деяких варіантів: якість готової продукції, продуктивність обладнання, конструктивно-технологічні особливості, ступінь забруднення навколишнього середовища.

Серед економічних показників треба виділити коефіцієнт попиту:

$$K_c = K_z \cdot K_o$$

$K_z$  – коефіцієнт загрузки, який показує, яку частину від максимально можливої потужності складає загрузка електроприймачів;

$K_o$  – коефіцієнт одночасності, який показує, яка частина всіх встановлених приймачів знаходиться в роботі.

Цей коефіцієнт використовується при проектуванні нових об'єктів для визначення максимального навантаження.

Поряд з організаційно-технічними заходами по економії паливно-енергетичних ресурсів велике значення має стимулювання персоналу за їх ефективне використання.

В теперішній час необхідне комплексна система стимулювання, яка передбачає:

1) посилення дії стимулювання (премії, доплати, надбавки) на підвищення ефективності енерговикористання, прискорення впровадження енергозберігаючих технологій і обладнання і поліпшення якості продукції;

2) забезпечення єдності інтересів робітників, спеціалістів, службовців і керівників;

3) стимулювання персоналу за підтримку на оптимальному рівні показників роботи обладнання;

4) колективні форми стимулювання.

Основними показниками для нарахування винагороди є квартальні дані бух обліку і статистичних звітів про досягнення економії енергоресурсів. Стимулювання повинно проходити за:

1) економію палива, теплової і електричної енергії;

- 2) компенсація реактивної потужності;
- 3) перевиконання норм повернення конденсату проведення заходів по регулюванню навантаження в години пік.

## ***2 Методи стимулювання економії енергоресурсів***

Методи стимулювання економії енергоресурсів поділяються на соціальні, матеріальні і примусові.

### 1. Соціальні методи впливу.

Соціальні методи включають заходи моральної дії на членів суспільства — від пропаганди до різних форм індивідуального заохочення.

До методів пропаганди прийомів і способів економії енергоресурсів можна віднести вивішування на видних місцях плакатів, що ілюструють ці прийоми і способи; оголошення конкурсів на пропозиції по найекономічніших режимах роботи і по енергозберігаючих пристроях і технологіях; розробку відповідних пропозицій для раціоналізаторів і винахідників; постачання робітників інструкціями з експлуатації устаткування, що враховують енергозберігаючі прийоми роботи; вивчення і розповсюдження наявного досвіду споріднених підприємств по економічних прийомах експлуатації устаткування. До форм індивідуального заохочення можна віднести накази з оголошенням подяки, вручення Почесних грамот, занесення на дошку пошани, статті в газеті, привласнення звань кращого раціоналізатора і т. д. Для вживання цих методів велике значення має знання закономірностей соціальної психології і індивідуальної психіки людини.

### 2. Матеріальні методи впливу.

З матеріальних методів дії в сільському господарстві отримали розповсюдження системи матеріального заохочення за економію енергоресурсів. Для цього були розроблені спеціальні системи економічного стимулювання. Ними дозволяється частину вартості заощаджених в порівнянні з нормованою кількістю паливно-енергетичних ресурсів перевести до преміального фонду на заохочення працівників, що заощадили паливо і енергію. При цьому преміальна фундація формується незалежно від інших - господарських показників. Розмір винагород, виплачуваних працівникам автомобільного транспорту за економію бензину і дизельного палива, досягає 95 % їх оптової вартості. За перевитрату палива понад затверджені норми з вини працівників транспорту з них утримується 200 % вартості перевитратного бензину або дизельного палива. Виплату премій за економію або утримання за перевитрату проводять щокварталу. Якщо в подальшому кварталі допущений раніше перевитрата була заповнена, то потрібно зробити перерахунок з поверненням утриманих раніше сум. Остаточний розрахунок премій проводять в кінці календарного року. При виконанні тракторних робіт за економію палива і змащувальних матеріалів проти встановлених норм витрати при дотриманні агротехнічних вимог трактористу-машиністу виплачується 70 % вартості заощаджених паливно-мастильних матеріалів, бригадиру тракторно-рільничої, тракторної або комплексної бригади — 7%, помічнику бригадира — 3, майстру-налагоджує — 5 і заправнику палива — 3 % вартості нафтопродуктів, заощаджених по бригаді. У механіка відділення радгоспу премія складає 3 % вартості заощаджених паливно-мастильних матеріалів по відділенню, у завідуючого нафтогосподарським — також 3 %. Робітником

ремонтних майстерень, зайнятим на роботі по регулюванню паливної апаратури, виплачується 5 % вартості паливно-мастильних матеріалів, заощаджених в цілому по господарству. Така премія виплачується незалежно від других видів премій, понад встановлені їх максимальні розміри. Засоби для преміювання за економію паливно-мастильних матеріалів направляють до фонду

Матеріального заохочення господарства, підприємства і використовують за цільовим призначенням – на виплату премій працівникам, для яких вони установлені. Ці премії враховують при численні середнього заробітку працівників. За економію котельно-пічного палива, електричній і тепловій енергії на винагороду можна витратити:

До 30 % вартості заощадженого палива;

До 45 % вартості заощадженої теплової енергії;

До 45 % преміальної суми, отриманої підприємством від енергозабезпечуючої організації;

До 55 % вартості заощаджених електричній енергії, стислого повітря і води.

Залежно від організації обліку і звітності за наслідками роботи преміюються бригадири, відділення, зміни, ферми і інші виробничі одиниці за квартал. Конкретні розміри засобів для преміювання працівників встановлюють керівники господарств за узгодженням з комітетом профспілки. При цьому із загальної суми на преміювання інженерно-технічних працівників повинне витратитися не більше 30 % преміальних засобів. Керівництву господарств надається право не виплачувати премію повністю або частково працівникам, що припустилися аварії або брак в роботі, порушення технологічного процесу і виробничих інструкцій. Невиплата премії повинна бути оголошений наказом з вказівкою причини невиконання. Загальна сума премії, виплачуваної одному працівнику за квартал, не може перевищувати 0,75 величини місячної тарифної ставки (посадового окладу). Підставою для нарахування премії є дані бухгалтерської або затвердженої статистичної звітності. Норми переглядаються не частіше одного разу в квартал. При цьому для працівників, за ініціативою і за участю яких були здійснені заходи щодо економії паливно-енергетичних ресурсів, відповідні норми переглядаються тільки після закінчення шести місяців після їх упровадження.

Колгоспам рекомендовано преміювати працівників за економію паливно-мастильних матеріалів і паливно-енергетичних ресурсів, а також утримувати суми із заробітку за їх перевитрату в порядку і розмірах встановлених для працівників державних підприємств сільського господарства.

3. Примусові методи впливу.

За перевитрату паливно-мастильних матеріалів з вини працівників адміністрація має право проводити утримання: з тракториста-машиніста – 50 % вартості перевитратних нафтопродуктів, з бригадира тракторно-рільничої (тракторної, комплексної) бригади – 10, з помічника бригадира і заправника пального – 5% вартості перевитратних матеріалів по бригаді а з механіка відділення колгоспу – 5 % вартості паливно-мастильних матеріалів, перевитратних по відділенню. Якщо перевитрата паливно-мастильних матеріалів допущена не з вини працівників, то до 30 % їх списує керівник господарства. Якщо перевитрата, допущена не з вини працівників, а через складні умови виконання сільськогосподарських робіт, перевищує 30% то його списує керівник вищестоящої організації, яка зобов'язана контролювати витрату нафтопродуктів.



Обґрунтовуванням для такого списання є акти комісії, що складається з керівника господарства (голова комісії) головного фахівця (агронома або інженера) і бригадира тракторно-рільничої (тракторної, комплексної) бригади. Терміни і перерахунки виплати премій такі ж, як працівникам автомобільного транспорту. При виконанні тракторних робіт з порушенням встановлених агротехнічних вимог адміністрація зобов'язана утримати з тракториста-машиніста 50 %, а з бригадира тракторно-рільничої (тракторної, комплексної) бригади – 10 % вартості паливно-мастильних матеріалів, витрачених на роботу, виконану недоброякісно. За перевитрату паливно-енергетичних ресурсів стягується в дохід держави вартість цієї перевитрати в 1,5-кратному розмірі. Вказана сума перераховується колгоспом або радгоспом в місячний термін в дохід союзного бюджету за підсумками роботи за рік. Примусові методи дії, направлені на економію енергоресурсів, частіше за все виступають як потенційна можливість у вигляді законів, інструкцій, нормативних положень і рекомендацій. Їх виконання перевіряють при контрольно-ревізійних обстеженнях з оформленням відповідних розпоряджень. Якщо при повторному обстеженні раніше встановлене розпорядження не було виконано, то застосовують наступні заходи: направляють лист у вищестоящу організацію з проханням про вживання дисциплінарних заходів дії до порушника; на особливо недбайливих осіб направляють матеріали в комітети народного контролю і адміністративні комісії місцевих Рад народних депутатів для розгляду і накладення персональних штрафів. У випадках, коли заподіюється значний матеріальний збиток або істотна шкода державним або суспільним інтересам, посадовці можуть притягати до кримінальної відповідальності. Підводячи підсумки методам стимулювання економії палива і електроенергії, слід мати на увазі, що технологічні і енергетичні режими у багатьох випадках взаємозв'язані. Оптимальним енергетичним режимам відповідає максимальна продуктивність технологічного устаткування з мінімальними питомими витратами енергії.

### ***3 Економія енергоресурсів за кордоном***

Основні напрями робіт, що проводяться по економії енергоресурсів: автоматизація виробництва із застосуванням обчислювальної техніки і електроніки; використання енергії відходів сільськогосподарського виробництва; вдосконалення організації енергозбереження; вдосконалення техніки і технології сільськогосподарського виробництва.

#### **Характеристика напрямків.**

На першому напрямі дослідження ведуться по широкому використуванню електроніки і обчислювальної техніки для стеження за технічним станом складальних одиниць складних машин, для регулювання виробничих процесів і підтримки підходящих режимів їх роботи, для контролю і обліку роботи енергоспоживаючих установок.

Наприклад, фірма БПВ (Швейцарія) розробила автоматизовану систему реєстрації, аналізу і обробки даних про стан і роботу автопоїздів. Вона складається з бортової мікроЕОМ, сполученої з електронним блоком і датчиком на вузлах автопоїзда, і стаціонарної міні-ЕОМ, що знаходиться на автотранспортному підприємстві. Інформація зі всіх датчиків поступає на електронний блок, де покази порівнюються з граничними запрограмованими значеннями. Водій зразу ж одержує сигнал від мікроЕОМ при виході окремих показників за допустимі межі, і це

дозволяє управляти автопоїздом в найекономічніших режимах. Вся інформація про технічний стан основних складальних одиниць автопоїзда, режимах роботи, витрати палива, простоях в дорозі, надходженнях і виконаннях замовлень поступає з магнітного блоку бортової мікроЕОМ на ЕОМ автопідприємства.

Отримана на ЕОМ інформація обробляється і використовується технічною і комерційною службами для управління системою технічної експлуатації і службою перевезення.

Аналогічна автоматизована система управління вантажним автопарком була розроблена фірмою Кіенцле (ФРН). Такі системи доцільно розглянути на предмет використання в автотранспортних господарствах агропромислового комплексу.

В Угорщині і Данії, наприклад, починають вводити мікропроцесорний контроль за процесом сушки. Мікропроцесор, одержуючи сигнали від різних датчиків, управляє процесом сушки в автоматичному режимі відповідно до заданої програми, не допускаючи перевитрати енергії і забезпечуючи сушку тільки до заданого програмою рівня. Спеціальні сенсори реєструють вологість продукту і автоматично враховують всі відхилення від заданої величини.

По другому напрямку – використання енергії відходів сільськогосподарського виробництва – основні дослідження ведуться в справі створення біогазових установок і за способами спалювання відходів рослинництва.

Закордоном дані установки набувають все більше і більше поширення, особливо на великих комплексах, де потрібна швидка переробка гною на органічне добриво.

Для спалювання рослинних відходів, наприклад соломи, стебел кукурудзи, соняшнику і т. п., в багатьох західноєвропейських країнах і США були розроблені спеціальні агрегати, що служать для виробництва теплової енергії. По розрахунку західнонімецьких фахівців, енергетичний потенціал соломи, одержуваної з 1 га посівів зернових, еквівалентний 1200... 1800л рідкого палива. Рослинні відходи пресують в пакунки, які і спалюють в печах. Істотною трудністю при спалюванні стебел кукурудзи є їх висока вологість (35...60 %), що не дозволяє пресувати їх в пакунки. Перешкодою є також висока вартість машин для прибирання, зберігання і спалювання стебел. Тому в цій області основні дослідження ведуть по вдосконаленню конструкцій печей Для спалювання відходів.

По третьому напрямку – вдосконалення організації енергозбереження – основні дослідження ведуться по методах стимулювання економії палива. Так, наприклад, в Угорщині була введена система придбання палива для автотранспорту за готівковий розрахунок. Не витрачені на паливо гроші залишаються у водія як винагорода. Завдяки такому матеріальному стимулюванню водіїв став зразковим зміст автомобілів, їзда – більш економічної.

Постійно контролюється витрата палива. При перевищенні витрати на 10 % в порівнянні з нормами повинна бути в шестиденний термін була виявлена причина цієї перевитрати. Якщо продовжується експлуатація несправного автомобіля, то винні карають штрафом рівним 100-процентній вартості перевитраченого палива. Такі жорсткі заходи забезпечили особливо дбайливе відношення до автотранспорту.

По четвертому напрямку досліджень – вдосконалення техніки і технології сільськогосподарського виробництва – роботи виконуються аналогічно роботам,

що проводяться в нашій країні. Це сушка сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням використання теплоти охолодженого молока і відпрацьованого повітря тваринницьких приміщень через рекуператори і регенератори енергії для нагріву повітря і води.

## Лекція №4

**Тема:** Енергозбереження на підприємствах та в цивільних спорудах.

**Мета:** ознайомитися з поняттям енергетичної політики підприємства та енергетичного балансу; з модернізацією системи підприємства; із засобами енергозбереження в цивільних спорудах.

**Методи:** словесні, наочні.

### План:

- 1 Енергетична політика підприємства. Вибір типу енергоносія.
- 2 Енергетичний баланс підприємства. Модернізація системи підприємства.
- 3 Енергозбереження в цивільних спорудах.

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:**  
конспект, підручник.

### Література:

1 Основы энергосбережения: учебник / Н. И. Данилов, Я. М. Щелков; под ред. Н. И. Данилова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006 – 564 с.

2 Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

## ***1 Енергетична політика підприємства. Вибір типу енергоносія***

Енергетична політика підприємства представляє собою низку задекларованих правил поведінки в енергетичній, політичній, економічній і частково в екологічній галузях діяльності підприємства. Енергетична політика підприємства розробляється відповідно до поставлених цілей та задач підприємства. Кожне підприємство має власні інтереси та власний погляд на шлях досягнення поставлених цілей, а отже і енергетична політика готується індивідуально для кожного окремого випадку. Але які б цілі та задачі не ставило перед собою підприємство існують загальні принципи складання енергетичної політики а саме:

- Гласність – енергетична політика не повинна містити таємних пунктів.
- Чіткість і конкретність – задекларовані в енергетичній політиці правила не повинні бути суперечливими при відображенні інтересів підприємства.
- Законність діяльності – відповідність діяльності підприємства існуючому законодавству.
- Екологічність – негативний вплив діяльності підприємства на навколишнє середовище має бути зведений до мінімуму.
- Енергоощадливість – забезпечення необхідних об'ємів виробництва при мінімальних витратах енергії.

Ефективна енергетична політика підприємства є запорукою прибуткового виробництва.

Енергетична політика повинна вирішувати наступні питання:

- 1.Забезпечення стабільної роботи енергетичного оснащення з метою виготовлення високоякісної і конкурентоздатної продукції в достатній кількості;
- 2.Забезпечення надійного енергопостачання підприємств, раціональне і ефективне використання палива і енергії;
- 3.Організація створення нового енергозберігаючого оснащення і технології, їх впровадження і наукове забезпечення
- 4.Забезпечення захисту екології, створення безпечних умов роботи при використанні енергетичного оснащення.
- 5.Розробка енергетичної стратегії до питань енергоефективності може допомогти в поліпшенні економічних показників підприємства. Це включатиме розподіл відповідальності на підприємстві і отримання "корпоративної підтримки" програми по енергоефективності, оскільки всі працівники повинні розуміти вигоди від поліпшення енергоефективності.

Без чітко впровадженої енергетичної стратегії підприємство не зможе розробити ефективну програму по енергоефективності. Енергетична стратегія підприємства повинна включати наступні питання:

1. Закупівля первинних ресурсів;
2. Їх перетворення на підприємстві;
3. Розподіл і постачання;
4. Використання енергії;
- 5.Загальний розподіл відповідальності керівної ланки за використання енергії.

Енергетична стратегія не повинна бути сформульована тільки на вартості енергії, вона повинна стати всеосяжним документом, що відображає те, як ухвалені рішення вплинуть на енергоефективність. Енергетична стратегія повинна включати

ряд цілей, з якими звірятиметься робота підприємства, і встановлювати задачі для її поліпшення.

Одним із основних напрямків по зменшенню питомих витрат електричної енергії та енергоносіїв є розробка і впровадження заходів, спрямованих на раціональне її використання.

#### Вибір типу енергоносія.

Нижченаведений перелік включає ключові елементи розгляду, що необхідні при виборі типу енергоносія.

- Установити стратегічний план;
- Проаналізувати стратегію закупівель;
- Проаналізувати поточні тарифи енергокомпаній;
- Провести енергетичний аудит можливостей підвищення ефективності;
- Проаналізувати моделі споживання;
- Оцінити внутрішньозаводську генерацію (самогенерацію);
- Розглянути можливість використання альтернативних палив;
- Можливість упровадження автоматичних засобів керування.

#### Установити стратегічний план

Із самого початку потрібно визначити енергетичні цілі. Деякі питання, що можуть допомогти:

- Наскільки сильно рахунок за енергію впливає на рівень виробництва?
- Чи передбачаються заздалегідь фіксовані платежі за енергію?
- Чи містить фінансовий план кошти для проектів заощадження енергії?

#### Проаналізувати свою стратегію закупівель

##### *Природний газ*

Компанія може часто досягти успіху, провівши аналіз того, як вона купує природний газ. Розрахунок довгострокової стратегії покупок (хоч і займає багато часу) має переваги в порівнянні з щомісячними закупівлями, але деякі компанії продовжують купувати щомісяця і щорічно (за щомісячними оцінками).

##### *Електроенергія*

Сьогодні в наявності мається невелика кількість компаній, що можуть вибирати своїх постачальників електроенергії. Цим компаніям повідомляють у середньому про 2–5 різних постачальниках електроенергії. Багато учасників ринку нездатні порівняти і вибрати "яблуко з яблук". Украй важлива оцінка енергетичної компанії, на яку можна покласти в спірних випадках, і яка допоможе орієнтуватися в ринковому середовищі. Потрібна буде докладна інформація про використання енергії, розуміння моделей використання необхідних для максимізації заощаджень.

#### Проаналізувати поточні тарифи енергокомпаній

Кожна енергокомпанія має свої власні тарифи, що засновані на цілій низці факторів, включаючи тип замовника (житловий сектор, комерційний, промисловий) і обсяг споживання. Тарифи часто важко зрозуміти замовникам, для яких обґрунтування тарифів не є частиною щоденної роботи. Оскільки бізнес розвивається, звичайно потрібно небагато уваги, щоб зрозуміти, коли підходять конкретні тарифи. Компанія може прийняти тариф, що не підходить іншим. Ця можливість заощаджень дуже часто не враховується.

#### Провести енергетичний аудит можливостей ефективності

Як і всі інші продукти, енерговитрати є функцією споживання і цін. Зниження цін – це тільки половина рівняння. Для оцінки можливостей зниження споживання енергії підприємства потрібно провести енергетичного аудита кваліфікованим інженером-енергетиком. Аудит перевіряє моделі споживання енергії і енергоспоживаюче устаткування (котли, холодильники, освітлювальну апаратуру і так далі) для розробки рекомендацій з поліпшення енерговикористання і зменшення витрат.

#### Проаналізувати моделі споживання

Компанія повинна установити, на якому основному рівні здатне працювати устаткування, це мінімізує можливість появи піків споживання. До того ж фактичний хід процесів можна переглядати при впровадженні змін, що мінімізують споживання енергії – і зберігають гроші.

#### Оцінити внутрішньозаводську генерацію (самогенерацію)

Альтернативою закупівлі енергії від енергокомпанії або постачальника енергії може бути самогенерація енергії. Самогенерація енергії загалом, або зокрема, відповідно до вимог до енергії компанії, часто призводить до витрат на одиницю енергії меншим, чим найкращі пропозиції постачальника. Велика частина енергокомпаній недоброзичливо відноситься до самогенерації, оскільки вона призводить до великих утрат доходів енергокомпаній.

#### Розглянути можливість використання альтернативних палив

Можливість використання альтернативного палива (АП) дуже важлива для багатьох компаній. Для деяких підприємств АП може надати енергію для основної роботи, у той час, як для інших АП служить резервним джерелом енергії.

Іншою основною перевагою установки джерела АП є можливість компанії купувати АП на підставі безперервного (тобто гарантованого) постачання, що саме по собі дає значимі заощадження для компанії.

#### Можливість упровадження засобів керування

Професіонали-енергетики вважають, що одним з найбільш критичних елементів успішної енергетичної програми є загальне розуміння моделей використання енергії. При можливості забезпечення постачальників енергії докладними даними по споживанню енергії, вони зможуть розробити послуги "за замовленням" для максимізації ваших можливостей заощадження. Більшість компаній сьогодні використовують стандартні лічильники для одержання даних споживання енергії.

Розширені засоби керування можуть аналізувати моделі споживання реального часу і визначати, коли компанія переходить заздалегідь визначений поріг споживання. Не дозволяючи компанії перевищити цей поріг, засіб керування автоматично накаже визначеним, заздалегідь зазначеним, частинам устаткування тимчасово змінити режим роботи (виключає його на кілька хвилин і так далі). Такий "інтелектуальний лічильник" або розширений засіб керування, і надалі керує устаткуванням (повторним включенням через кілька хвилин і так далі). Такий засіб інтелектуальний і може пророчити, коли компанія досягне порога споживання, ґрунтуючись на моделях споживання, погодних умовах, дні тижня, часу дня й іншій статистиці. Застосування таких даних може привести до істотних заощаджень.

## **2 Енергетичний баланс підприємства. Модернізація системи підприємства**

### Поняття енергетичного балансу підприємства

Енергетичний баланс підприємства – це система показників, що відображають кількісну відповідність між надходженнями та витратами всіх видів енергетичних ресурсів на промислових енергетичних об'єктах. Основні положення, щодо енергетичного балансу підприємства відображені в ДСТУ 28-04-94 "Енергетичний баланс промислового підприємства. Загальні положення, терміни та визначення".

Виділяють наступні види енергетичних балансів:

- Оптимальний енергетичний баланс – баланс, що складається для визначення енергопостачання об'єкта, за яким вироблення продукції можна здійснити з мінімальними витратами, при встановлених оптимальних режимах обладнання, виборі найекономічнішого енергетичного ресурсу, встановлених економічних режимах роботи генеруючих установок

- Фактичний енергетичний баланс – баланс, що відображає реальний стан використання енергетичних ресурсів, всі виправдані та не виправдані втрати.

- Енергетичний баланс в робочій формі – баланс у витратній частині якого зображається розподіл енергоресурсів, що виробляються чи надходять з інших джерел, за виробничо – територіальною та цільовою ознакою, без розподілу їх витрати на корисну складову та втрати.

- Частковий енергетичний баланс – баланс, що складається для окремих видів палива, енергії чи енергетичних носіїв. Він складається в грошовій, натуральній формах, або у відсотках.

- Зведений баланс – баланс, що складається із часткових балансів.

- Баланс витрат на енергетичні ресурси – енергетичний баланс в грошовій формі.

Існують 3 форми складання енергетичного балансу:

- Експериментальний – ґрунтується на проведенні випробувань електроустановок, замірах по обліку використання енергетичних ресурсів.

- Розрахунковий – баланс, що складається на підставі фізико-хімічних функцій та залежностей.

- Розрахунково – експериментальний – поєднує в собі два попередні.

Ведення аналізу енергетичного балансу – процедура, що полягає у визначенні основних споживачів енергетичних ресурсів для вироблення пріоритетних напрямків в області енергозбереження.

Виділяють прибуткову і витратну частини енергетичного балансу.

Прибуткова – характеризує структуру видобутку і виробництва всіх видів енергетичних ресурсів і енергії, надходжень їх з боку і перехідні залишки.

Видаткова характеризує структуру і напрями використання всіх видів енергії, включаючи втрати, відпуски на сторону і перехідні залишки.

Слід зазначити, що втрати неминучі в будь-якому виробництві.

Дані енергобалансу служать основою для розрахунку ряду показників. Так, відношення енергії, одержаної від електроцентралей і енергосистем, до всієї кількості енергії, спожитої на підприємстві (коефіцієнт централізації електропостачання), показує, яка частина спожитої електричної енергії вироблена



на спеціалізованих енергетичних підприємствах, де вона виробляється з якнайменшими витратами.

#### Аналіз енергетичного балансу підприємства

Ефективним напрямом дослідження енергетичних балансів є метод, заснований на розрахунку коефіцієнтів корисної дії (ККД) окремих енергоносіїв і всього енергетичного господарства підприємства. Розрахунок ККД проводиться за даними витратної частини балансу, складеного по цільових витратах палива і енергії.

Наступний напрям аналізу енергетичного балансу промислового підприємства полягає у визначенні зв'язку енергетики з основними показниками господарської діяльності і оцінці взаємного впливу енергетики і економіки виробництва. Цей напрям аналізу передбачає розрахунок узагальнених енергоекономічних характеристик підприємства, з яких найважливішими є: електро- і енергоозброєність праці; енерго-, електро- і теплоємність продукції; енерго-, електро- і теплозабезпеченість основних виробничих фондів; теплоелектричний і електропаливний коефіцієнти.

Електробаланс відображає відповідність надходжень та витрат в частині використання електричної енергії. Він використовується для організації робіт з економії електроенергії, необхідно знати її розподіл як по підприємству так і по окремим технологіям та агрегатам. Електробаланс дозволяє виявити втрати та оцінити ефективність того чи іншого заходу з економії електроенергії.

Всякий електробаланс складається з двох частин: приходної та витратної. В приходній частині електробаланса вказується електроенергія або потужність (активна і реактивна), що надходить від енергопостачальної організації. У витратній частині вказуються корисні (технологічно необхідні) витрати електроенергії і втрати електроенергії.

В залежності від галузі промисловості, специфіки технології та обладнання відношення окремих статей витратної частини електробалансу до його приходної змінюється, що дозволяє акцентувати увагу енергоменеджерів на необхідності реалізації енергозберігаючих заходів для зниження за окремими статтями витратної частини електробалансу.

Наступний напрям аналізу енергетичного балансу промислового підприємства полягає у визначенні зв'язку енергетики з основними показниками господарської діяльності і оцінці взаємного впливу енергетики і економіки виробництва. Цей напрям аналізу передбачає розрахунок узагальнених енергоекономічних характеристик підприємства, з яких найважливішими є: електро- і енергоозброєність праці; енерго-, електро- і теплоємність продукції; енерго-, електро- і теплозабезпеченість основних виробничих фондів; теплоелектричний і електропаливний коефіцієнти і ряд інших показників.

Завданням складання електробалансу є: виявлення і надходження витрат електроенергії по статтям, щоб чітко виділити витрати електроенергії на основну продукцію підприємства; визначення дійсних питомих витрат електроенергії на одиницю продукції підприємства; виявлення можливостей економії електроенергії.

#### Система освітлення

Хоча в загальному споживанні енергії в промисловості частка освітлення невисока, проекти по установці ефективної системи освітлення все-таки мають високу економічну ефективність. Найчастіше на даному промисловому

підприємстві використовуються лампи розжарювання і ртутні лампи. Вони не є найефективнішими. Заміна на флуоресцентне освітлення або натрієві лампи звичайно має строк окупності менш 5 років при існуючих в Україні тарифах на електроенергію. За рахунок установки енергоефективних ламп можна одержати й інші дуже важливі вигоди: такі лампи знижують витрати на експлуатацію і технічне обслуговування, тому що вони служать довше, ніж традиційні лампи, і з їх допомогою можна підвищити безпеку на робочому місці за рахунок забезпечення кращого освітлення при споживанні меншої кількості енергії. Установка ефективної системи освітлення може також свідчити про те, що підприємство зацікавлене у впровадженні програми енергоефективності в цілому і готове до цього. З психологічної точки зору це треба розглядати як позитивний фактор для впровадження програми підвищення енергоефективності на підприємстві. Першим кроком до підготовки модернізації системи освітлення є оцінка потреби у освітленні. Кількість світла вимірюється в люменах або в люксах. Суспільство інженерів-світлотехніків, наприклад, рекомендує для внутрішнього освітлення виробничих приміщень рівень освітленості 500-10000 люкс, а для зовнішнього – 10-300 люкс.

Технологія освітлення лампами розжарювання є найбільш старою і самою неефективною. Вартість ламп розжарювання невисока, але втрати протягом усього періоду служби не конкурентноздатні в порівнянні з флуоресцентними лампами. Застосування флуоресцентних ламп у промисловості є гарним енергозберігаючим заходом для внутрішнього освітлення. При зовнішнім освітленні ртутні лампи можуть бути замінені натрієвими лампами високого або низького тиску. Натрієві лампи низького тиску є найбільш ефективними серед інтенсивних газорозрядних ламп (до таких ламп відносять ртутні лампи, металогалогенні і натрієві лампи високого тиску). Однак натрієві лампи низького тиску забезпечують недостатню передачу кольору. Натрієві лампи високого тиску є проміжним варіантом: вони більш ефективні в порівнянні з ртутними лампами, але на 60 % менш ефективні, чим натрієві лампи низького тиску. Рівень інтенсивності освітлення натрієвими лампами високого тиску не є найвищим, але інтенсивність освітлення цими лампами вище, ніж натрієвими лампами низького тиску. Приймаючи рішення про вибір системи освітлення, необхідно належну увагу приділити баластам, оскільки вони мають безпосередній вплив на інтенсивність освітлення (і, зрозуміло, на його ефективність). Усі системи освітлення, крім ламп розжарювання, вимагають використання баластів. Існує два типи баластів для систем освітлення флуоресцентними лампами: магнітні й електронні. Останні є найбільш ефективними. Лампи з високоінтенсивним розрядом також вимагають застосування баластів, але з меншою кількістю варіантів вибору. Для того щоб одержати точні результати при оцінці витрат і вигод проекту по впровадженню систем освітлення, дуже важливо врахувати вартість як баласту, так і додаткової електричної енергії, що споживається ним.

Крім заміни системи освітлення, існує ряд інших енергозберігаючих заходів. Вимикання світла при відсутності необхідності в ньому – найпростіше рішення проблеми енергозбереження. Системи автоматичного регулювання можуть бути встановлені з метою відключення системи освітлення при відсутності в приміщенні працівників. Використання місцевого освітлення також забезпечує економію енергії. Сконцентрувавши світло на робоче місце (звичайно,

установивши систему освітлення якнайближче до робочого місця). Регулярне технічне обслуговування може підвищити рівень продуктивності і збільшити інтенсивність освітлення при мінімальних витратах. Арматура люмінесцентних ламп також може бути модернізована при використанні рефлекторів для підвищення ефективного використання освітлення.

### Модернізація електродвигунів і електроприводів

Навряд чи знайдеться промисловий процес, де б не використовувалися електродвигуни. Вони пускають у хід багато видів устаткування, у тому числі насоси, вентилятори, повітродувки, конвеєри, млини. Оскільки двигуни широко використовуються у виробничому процесі, вони споживають значну кількість електричної енергії і можуть стати привабливим об'єктом з погляду інвестування в енергозберігаючі заходи. Цілеспрямований і систематичний збір даних по кожному двигуні, що функціонує більш 2000 годин у рік, являється початковим етапом підвищення ефективності використання двигунів на підприємстві. При обліку даних про двигуни особливу увагу слід звернути на місце розташування двигунів, призначення, частоту обертання, навантаження, паспортні дані. Відразу ж після огляду цього устаткування можна впровадити деякі заходи щодо підвищення ефективності електродвигунів на підприємстві.

Правильний вибір потужності електродвигуна дозволить скоротити споживання енергії. Найчастіше двигуни мають надмірну потужність, щоб при необхідності можна було б справитися зі значним перенавантаженням. Правильно підібрані електродвигуни повинні працювати при навантаженні 75-100 % від їхньої паспортної потужності. До того ж електродвигуни більшої потужності коштують дорожче, ніж електродвигуни меншої потужності. Зростають також витрати, оскільки електродвигуни працюють з максимальною ефективністю при навантаженні, близьким до повного.

Одна з можливостей енергозбереження – установка електродвигунів з частотно-керованим електроприводом. Вони застосовуються у випадках, коли навантаження електродвигуна коливається і він тривалий час працює з низьким навантаженням. Визначення графіка навантаження електродвигуна (відсоток навантаження від часу) має важливе значення при оцінці економічної ефективності: звичайно вигідно застосовувати частотно-керовані електроприводи для двигунів потужністю більш 10 кВт, що працюють більш 8000 годин у рік. Частотно-керовані електроприводи приводять споживання електроенергії у відповідність з рівнем навантаження, змінюючи частоту обертання електродвигуна. Застосування частотно-керованих електроприводів ефективно для вентиляторів, насосів і устаткування, частота обертання якого не є критичною. Електроприводи даного типу можуть сприяти підвищенню якості продукції, за рахунок контролю і зниження вартості технічного обслуговування.

Натяжка і регулювання пасових передач також підвищує енергоефективність. Необхідно систематично здійснювати контроль стану пасових передач. Ослаблення ременів і розрегулювання ремінних приводів приводять до збільшення втрат на тертя. Це викликає додаткове споживання електричної енергії і скорочує термін служби ремінного приводу. Ремінні приводи мають низьку вартість, але для ефективного функціонування існує постійна необхідність у їхньому технічному обслуговуванні. Навчання персоналу, відповідального за

керування системами електродвигунів, допоможе підвищити рівень технічного обслуговування.

Заміна стандартних клинчастих ременів високоефективними ременями підвищить загальну ефективність електропроводу при більш низьких витратах у порівнянні з вартістю нового двигуна з більш високим КПД. Клинчасті ремені з зубцями і синхронні ремені більш ефективні, чим стандартні клинчасті. Високоефективні електродвигуни (з підвищеним коефіцієнтом корисної дії) також можуть скоротити витрати на енергоресурси. КПД електродвигунів визначається як відсоток електричної енергії, перетвореної в механічну енергію.

Виходячи з діючих сьогодні тарифів на електричну енергію і щодо високих капітальних витрат, необхідних для модернізації електродвигунів, замінити функціонуючі двигуни новими більш ефективними в більшості випадків не має змісту. Однак періодично на підприємствах електродвигуни все-таки приходиться замінити (до 10 % у рік). Придбання високоефективних електродвигунів для заміни старих може мати високу економічну ефективність. Часто економічно ефективною є заміна двигуна на двигуни з великим КПД, якщо КПД приводу не можна змінити в іншому місці. Коефіцієнт потужності показує, наскільки ефективно пристрій перетворить вхідну напругу і струм у корисну електричну потужність.

#### Звітність за пророблену роботу у напрямі впровадження енергозберігаючих заходів

Кожен звітний період управління головного енергетика складає відомості про виконані на підприємстві енергозберігаючі заходи. Тут наведений приклад такого звіту, який містить у собі інформацію про енергозберігаючі заходи, місце їх впровадження та кількісні характеристики ефективності їх роботи, тобто економія по різних показниках.

Необхідність такої звітності полягає в можливості оцінки ефективності проведених заходів задля планування втілення подібних у суміжних виробництвах. Або, наприклад, при проведенні поетапного втілення проекту з енергозбереження на певному підприємстві – також потрібно складання таких відомостей, які являють собою частину проекту, бо містять інформацію про отриману економію в фінансовому та енергетичному еквівалентах.

### ***3 Енергозбереження в цивільних спорудах***

В Україні на сьогодні існує достатня законодавча та технічна база для успішної реалізації муніципальних програм з енергозбереження та енергоефективності. З технічної точки зору доцільність та економічна обґрунтованість підвищення енергоефективності комунальних будівель була доведена низкою проектів, які впроваджувалися в Україні за підтримки міжнародних донорських організацій протягом останніх 10 років (ПРООН, ГЕФ, GTZ та інших донорів). Відсутність прозорого діалогу громади, влади та бізнесу у питаннях покращення енергоефективності на місцевому рівні є однією з причин гальмування реалізації програм з енергозбереження і енергоефективності на муніципальному рівні. Передовсім це стосується таких соціально-важливих бюджетних установ, як школи, лікарні заклади соціально-культурної сфери. Існує велика прогалина між наявними механізмами та реальним впливом громад на запровадження результативних муніципальних програм з енергозбереження. Найбільш проблематичним питанням є дієва участь громадськості у формування та

реалізації муніципальних програм енергозбереження (зокрема доступ до інформації про використання отриманих коштів та практичні наслідки реалізованих проектів). Без усунення цих бар'єрів навряд чи загальнонаціональна програма підвищення енергоефективності буде реалізована ближчим часом. Проект з енергозбереження (надалі Проект) дасть можливість розробити сталий механізм впровадження енергоефективних заходів в комунальних закладах на прикладі освітніх установ через залучення до контролю та впровадження проектів місцевих громад, підвищення обізнаності населення та відповідного посилення і вдосконалення регулятивної політики на муніципальному рівні. Тому одним з основних напрямків роботи проекту полягатиме у сприянні діалогу між місцевими громадами та органами місцевої влади через організацію Дорадчих комітетів з енергозбереження. Дорадчі комітети матимуть дієвий вплив як на формування політики енергозбереження у місті, так і на її подальшу реалізацію через запровадження та контроль муніципальних фондів револьверного фінансування енергозберігаючих проектів, положення про які планується розробити в рамках проекту. На додаток, реалізація проекту сприятиме створенню нових та посиленню вже існуючих об'єднань співвласників багатоквартирних будинків, асоціацій співвласників, а також житлових кооперативів через запровадження прозорої та зрозумілої процедури участі уповноважених представників громади у розробці, прийнятті та реалізації програм з енергоефективності на рівні міста.

Складові проекту:

- організація постановки енергоменеджменту в містах;
- розробка дієвих механізмів по фінансуванню та контролю політики з енергозбереження з боку територіальної громади;
- розробка міської програми енергозбереження в шкільних закладах міста та формування ощадливої поведінки споживачів енергетичних послуг.

Реалізація проекту у середньостроковій перспективі дозволить громаді міста:

- мати доступ до інформації щодо енергоспоживання, муніципальних програм енергозбереження та їх фінансування;
- приймати участь у, розробці відповідних програм, рішень та нормативно-правових актів та розраховувати на належне врахування результатів участі громадськості у прийнятті відповідних рішень;
- отримати дієві механізми контролю за політикою енергозбереження та енергоефективності в місті.

Впровадження запропонованих складових Проекту дозволить:

- запровадити ефективну модель участі громади міста у формуванні, виконанні та контролі споживання енергоресурсів бюджетними установами міста;
- запровадити пілотну модель енергомоніторинг в шкільних закладах міста з доведенням оптимізованих лімітів по використанню енергоресурсів;
- за рахунок проведених енергоаудитів визначити реальні енерговтрати та перспективні заходи по їх оптимізації;
- розробити механізми залучення інвестицій у процеси технологічного переозброєння та енергоефективної модернізації інфраструктури міста;
- зменшити захворюваність, поліпшити умови праці та навчання за рахунок дотриманням нормативних умов теплової комфортності в будівлях;

- створити додаткові робочі місця та інфраструктуру по наданню послуг з енергозбереження в місті.

Ще одним заходом енергозбереження в цивільних спорудах є те, що Академія будівництва України висунула на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки 2011 року науково-технічну роботу "Енергозбереження в будівництві – від наукових розробок до енергозберігаючих конструкцій і технологій", виконану спільними зусиллями науково-дослідних інститутів та виробничих підприємств України.

Метою роботи є розробка наукових та інженерних теорій і методик для ефективного енергозбереження в житлових будинках та спорудах. Аналіз та узагальнення результатів натурних та експериментальних досліджень, створення нових теоретичних основ для розвитку енергозберігаючих технологій в будівельній галузі.

Авторами роботи розроблені науково-теоретичні основи енергозбереження в будівництві, методи досліджень та експериментальна база для проведення випробувань огороджуючих конструкцій будинків та їх елементів, а також інженерно-фізичні методи розрахунків теплотехнічних властивостей конструкцій. Ці наукові та інженерні методики є унікальними і стали класичними в галузі теплотехніки.

У результаті дослідження, розробки та впровадження на практиці нових технологій енергозбереження, зокрема улаштування огороджуючих конструкцій (стін, вікон, підлоги) суттєво покращились якість і комфортність житла.

В останні роки склалася надзвичайно складна ситуація в енергетичній галузі України, тому проблема енергозбереження в будинках та спорудах – одна з найважливіших в наш час.

Проведені дослідження показали недосконалість класичної конструкції стін з жорсткими зв'язками (ребрами) з бетону між внутрішніми і зовнішніми шарами панелі. Зв'язки мали значну площу з порівняно високою теплопровідністю, що погіршувало теплотехнічні якості панелі. І вже з 1996 року почали випускати тришарові зовнішніх стінових панелей на гнучких зв'язках з утеплювачем із пінополістиролу. Опір теплопередачі в таких стінах становить 2,5 ( $\text{m}^2\text{°C/Вт}$ ), що значно краще, ніж в попередніх конструкціях. Але пошук шляхів збереження тепла в будинках на цьому не тільки не припинився, а поглиблювався, розширювався, і проводився в декількох напрямках: удосконалення теплотехнічних властивостей зовнішніх тришарових стінових панелей і дослідження та застосування зовнішніх систем утеплення.

В результаті випробувань встановлено, що середній опір теплопередачі розроблених зразків становить 2,8  $\text{m}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ . Цей показник значно підвищує ефективність енергозбереження житлових будинків.

Пріоритетним напрямком роботи в умовах підвищення вимог по теплозбереженню стала розробка технологій та матеріалів зовнішнього утеплення багатоповерхових житлових будинків, а також нових систем опалення, в тому числі і електричного.

Вперше в Україні зовнішнє утеплення, при будівництві багатоповерхівок експериментально було застосоване ВАТ "ДБК-3" в 1995 році на

масиві Південна Борщагівка в місті Києві. Результати були позитивні; втрати тепла зменшилися.

Проведені випробування показали, що найбільш ефективними системами в частині енергозбереження та архітектурних можливостей являються навісні вентилязовані фасади. Так з'явилась система "Термофасад". Її особливістю є установка утеплювача із базальтової вати завтовшки 100 мм безпосередньо на стіну будівлі і утворення повітряного прошарку між утеплювачем та зовнішньою плиткою, яка навішується на несучі сталеві конструкції. Цей повітряний прошарок забезпечує вентиляцію, захищаючи утеплювач від зволоження, переохолодження та перегріву.

Опір теплопередачі стін з застосуванням системи "Термофасад" дорівнює 2,6 ( $\text{m}^2\text{C}/\text{Вт}$ ), що є наступним кроком вперед на шляху вдосконалення теплозахисту житлових будинків.

Термофасад – це замкнута система, яка складається з наступних конструкційних елементів та матеріалів:

- профільований бетонний камінь (кам'яний профіль);
- монтажний профіль;
- металева (іноді дерев'яна) несуча конструкція - кронштейни та профілі;
- теплоізоляція (плитний утеплювач);
- елементи кріплення;
- обшивка вікон та дверей, кутові та кінцеві профілі.

При влаштуванні вентилязованого фасаду шари різних матеріалів розташовують таким чином, що в напрямку зсередини споруди назовні теплопровідність матеріалів і їх опір водяній парі зменшується (бетон чи цегла, мінераловатний утеплювач, повітряний прошарок, захисне декоративне облицювання). Таке розташування матеріалів разом з дією повітряного прошарку, де через перепад тиску відбувається постійний вертикальний рух повітря, дозволяє ефективно видаляти вологу, як із несучої стіни, так із утеплювача, що підвищує ефективність теплоізоляції будівлі та забезпечує відносно сухий стан утеплювача під час всього періоду експлуатації. Крім того, зменшення тепловтрат відбувається також внаслідок виникнення ефекту „повітряної теплової завіси”, так як температура вертикального теплового потоку на два-три градуси вище, ніж у зовнішнього повітря.

Влаштування теплоізоляції ззовні краще захищає стіну від перемінного замерзання та відтавання. Вирівнюються температурні коливання масиву стіни, що перешкоджає виникненню деформацій, особливо небажаних при індустріальному будівництві. Точка роси зміщується в зовнішній теплоізоляційний шар, внутрішня частина стіни не відсиріває і не потребує додаткової пароізоляції.

Іншою перевагою зовнішньої теплоізоляції є збільшення теплоакumuлюючої здатності масиву стіни. Установка теплоізоляції ззовні дозволяє також виключити проблему „містків холоду” при каркасно-монолітному будівництві.

Технічні характеристики розробленої системи:

1. Облицювальний камінь представляє собою бетонний профіль, який виготовляється з бетону В20 методом напівсухого формування. Розміри: 600x600x30 мм, вага: 2,94 кг, щільність: 2000 кг/м<sup>3</sup>, міцність на згин: 600 - 800 Н, морозостійкість: Р35, водопоглинання: не більше 12%, основний колір: білий, піщаний, жовтий, кремовий, бежевий, темно-жовтий, теракот, темно-коричневий, темно-зелений, синій.

2. Підоблицювальна система „Кронштейн” представляє собою сталевий лист товщиною 1,5 мм або 2,0 мм (ГОСТ 1653-70). Спосіб захисту від корозії: гаряче оцинкування товщиною не менше 60 мкр, або інший, що відповідає йому. Розміри: 40x200x65 мм. Розрахункова монтажна схема установки: по горизонталі -• 700 мм, по вертикалі - 620 мм.

Несучий профіль представляє собою сталевий лист товщиною 1,0 мм (ГОСТ 1653-70). Спосіб захисту від корозії: такий же. Розміри: 45x45 мм. Монтажна схема установки: горизонтально – через 620 мм.

Монтажний профіль представляє собою сталевий лист товщиною 0,8 мм (ГОСТ 9045-80). Спосіб захисту від корозії: такий же. Монтажна схема установки: вертикально - через 300 мм.

3. Утеплювач – мінеральна вата з базальтового волокна товщиною 100 мм. Розмір листів: 625x1000x100 мм. Теплопровідність при 25°C - 0,040 Вт/м<sup>2</sup>.

Іншим важливим напрямком по збереженню тепла в панельних житлових будинках був пошук шляхів удосконалення конструкцій тришарових стінових панелей, та технології влаштування зовнішніх стиків із застосуванням нових прогресивних матеріалів. Стики залізобетонних конструкцій, які виконуються в процесі будівництва за існуючими технологіями є найбільш слабким місцем будівлі. Затікання, продування та промерзання стиків збільшують тепловитрати огорожуючих конструкцій за рахунок різкого зниження їх теплозахисних властивостей. Це призводить до негативних наслідків: необхідності ремонту, зниження комфорту в будівлях і відповідно до зниження терміну їх експлуатації. Правильний вибір матеріалів і технології герметизації стиків є важливим фактором в збереженні тепла в будинках, а також збільшення терміну їх експлуатації.

Першим кроком для реалізації поставлених задач, був вибір ущільнювача. Найефективнішим із сучасних теплоізоляційних матеріалів, які призначені для герметизації та ущільнення стиків, є поліуретановий герметик "Макрофлекс", і пінопропіленовий жгут (ППЖ). В процесі полімеризації "Макрофлекс" збільшується в об'ємі майже вдвічі і щільно прилипає до бетонної поверхні, монтажна піна швидко заповнює найменші щілини та пустоти, які неможливо залаштувати іншими теплоізоляційними матеріалами, що дуже суттєво. Поверхня його полімеризується за 20-30 хвилин, а на протязі 12 годин він остаточно твердіє.

Але для того, щоб герметик-ущільнювач міг виконувати свої функції якнайдовше, треба захистити його від атмосферних впливів. Такими надійними захисниками стали герметизаційні мастики марки "Тенакс". Це мастики: однокомпонентний акрилатний герметик "Тенапласт", двокомпонентний поліуретановий герметик "Оксіпласт", експосіуретановий герметик "Елур-Т". Їх можна використовувати для герметизації стиків в будівельних конструкціях з максимальною деформацією 50%. Вони мають хорошу адгезію до бетонних поверхонь, стійкі до кліматичних факторів, ультрафіолетових випромінювань, зберігають еластичність при великих перепадах температур, не дають усадки, експлуатуються при температурах від -60°C до +70°C, технологічні, зручні і прості при застосуванні, добре замальовуються різними фасадними фарбами, безпечні при користуванні, не токсичні і не горючі.



В результаті застосування ущільнювача "Макрофлекс" і герметизаційних мастик марки "Тенакс" та вдосконалення технології улаштування герметизації стиків, було досягнуто значного збереження тепла в будівлях.

Наступним напрямком роботи по збереженню теплової енергії в будинках, стало дослідження проблем, пов'язаних з втратами тепла через вікна. Втрати тепла через вікна можна розділити на трансмісійні та вентиляційні. Трансмісійні втрати через скло в 4-6 разів вищі, ніж через стіни. Вентиляційні втрати також можуть бути дуже великими, якщо вікна не досить ущільнені. Ці проблеми вирішуються при застосуванні віконних конструкцій зі склопакетами.

Теплозахисні властивості склопакетів, що заповнені інертними газами збільшуються на 12-13%. Теплова ефективність тришарового скління основана на зниженні конвективних (15%) та тепловтрат теплопровідністю (15%). Але більш ніж 70% теплоти витрачається через скло за рахунок випромінювання. Зниження променевої складової тепловтрат відбувається за рахунок нанесення на скло тепловідбивного покриття. Опір теплопередачі двокамерного склопакета складає  $R_0^{от} = 0,61 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ , а однокамерного з нанесенням тепловідбивного покриття  $R_0^{от} = 0,65 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ . Звідси висновок, що вигідніше застосовувати не третє скло, а покриття, що відбиває тепло, оскільки застосування третього скла призводить до перевитрат матеріалу на віконну конструкцію, зменшенню світлопропускних властивостей за рахунок третього скла, збільшенню ваги вікна.

Тепловідбиваючі покриття на склі володіють низьким ступенем чорноти  $\epsilon$  в інфрачервоному діапазоні довжини хвиль від 2,5 до 25 мкм. Скло з таким покриттям на 5% менше пропускає світла та відбиває назад в приміщення до 90% тепла, що виходить за рахунок випромінювання. В літню пору таке покриття відбиває інфрачервоні промені на вулицю тим самим не допускається перегрів приміщення.

Віконна рама займає 15-35% площі вікна, тому теплотехнічні параметри віконного профілю також повинні відповідати вимогам енергозбереження. Рами виготовляють з багатокамерного профілю з різних матеріалів: полівінілхлориду (ПВХ), дерева або металу (алюмінію). Високі теплоізоляційні властивості забезпечують 3-х камерні профілі, з двома контурами зовнішнього ущільнення: один – по зовнішньому периметру рами, другий – по зовнішньому периметру стулки (в приміщенні).

Таким чином, сучасні конструкції склопакетів (двокамерних чи однокамерних зі спеціальним покриттям) забезпечують необхідні теплоізоляційні властивості. Основні проблеми при використанні таких віконних конструкцій виникають при монтажі їх в залізобетоні або цегляних огорожуючих конструкціях.

Теплотехнічні властивості, навіть найкращої віконної конструкції, можуть бути втрачені при неправильному її монтажу. До теплотехнічних характеристик монтажних швів (в місці спряження віконної і будівельної конструкції) висувуються такі вимоги – високий опір теплопередачі, звукоізоляції, вологого переносу, фільтрації повітря, механічна міцність та можливість компенсувати теплові деформації віконної конструкції.

При цьому механічні навантаження в зоні спряження повинні компенсуватися властивостями шва.

В результаті проведених досліджень авторами роботи розроблені оптимальні параметри монтажних швів (геометричні, теплофізичні і масообмінні), які обумовлюють ефективність застосування сучасних віконних конструкцій. Одним з важливих елементів огорожуючих конструкцій будинку є підлога підвалу та горища. Для запобігання великих витрат тепла через підвал необхідно його теплоізолювати. Традиційно підлоги першого поверху над підвалом утеплювались теплоізоляційними рулонними матеріалами типу "Ворсаніт". В результаті проведених досліджень були вибрані і застосовані більш ефективні теплоізолюючі матеріали і технології та розроблені рекомендації по їх застосуванню. Таким ефективним матеріалом є "Полізол" (тепло-звукоізоляційний матеріал на основі вспіненого поліетилену). Він має кращі теплоізоляційні характеристики порівняно з іншими матеріалами.

Таким чином досліджені на протязі тривалого часу (більше 20 років), вдосконалені і впроваджені більше, ніж на 127 об'єктах житлового будівництва нові матеріали і технології, а також розроблені рекомендації, технічні вказівки, проекти виконання робіт, технологічні карти, інструкції та інші нормативно-технічні документи дозволяють покращити теплозахисні властивості огорожуючих конструкцій житлових будинків і споруд, що дало можливість заощадити в процесі експлуатації будинків енергоресурсів на суму біля 301,4 млн. грн.

Виконана робота "Енергозбереження в будівництві – від наукових розробок до енергозберігаючих конструкцій і технологій" реально забезпечує ефективне енергозбереження і відкриває кілька нових напрямків для подальшого розвитку і вдосконалення енергозберігаючих технологій.

## Лекція №5

**Тема:** Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії.

**Мета:** ознайомитися з видами нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії.

**Методи:** словесні, наочні.

### План:

- 1 Загальні питання. Нетрадиційні джерела енергії в Україні.
- 2 Геліоенергетика та вітроенергетика.
- 3 Гідроенергетика та біоенергетика.
- 4 Енергія морських хвиль та припливів.

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:** конспект, підручник.

### Література:

1 Основы энергосбережения: учебник / Н. И. Данилов, Я. М. Щелков; под ред. Н. И. Данилова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006 – 564 с.

2 Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергосбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

## ***1 Загальні питання. Нетрадиційні джерела енергії в Україні***

Характер взаємодії між людством і природою визначається насамперед людиною і антропогенним впливом на навколишнє середовище. Існуючі моделі розвитку суспільства визначають прямо пропорційну залежність між науково-технічним прогресом (символом економічного стану) і споживанням енергії на душу населення. У країнах Західної Європи воно становить більше трьох умовних тонн вугілля на рік (близько 100 ГДж), у США і Канаді цей показник утричі вищий (300 ГДж), але у більшості країн Африки – у 30–40 разів нижчий.

Проблеми використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) у різних галузях народного господарства почали розв'язуватися з другої половини ХХ ст. До цього спонукали кризові ситуації: світова енергетична криза 1973 р. і Чорнобильська катастрофа 1986 р., які змусили більшість країн переглянути свою енергетичну політику щодо темпів і перспектив практичного застосування НВДЕ.

В загальному випадку під нетрадиційними і поновлюваними джерелами енергії визначають джерела електричної і теплової енергії, що використовують енергетичні ресурси рік, водоймищ і промислових водостоків, енергію вітру, сонця, біомаси, стічних вод, твердих побутових відходів та ін.

Основні джерела поновлюваної енергії :

- сонячне випромінювання;
- гравітаційна взаємодія Сонця, Місяця і Землі, наслідком чого, наприклад, є морські припливи і відливи;

теплова енергія ядра Землі, а також хімічних реакцій і радіоактивного розпаду в її надрах, які проявляються, зокрема, у вигляді геотермальної енергії джерел гарячої води – гейзерів.

Навколишній простір безупинно пронизується потоками енергії від різних джерел. Так, повний потік сонячного випромінювання на Землю дорівнює  $1,2 \cdot 10^{17}$  Вт, тобто на одну людину приходиться близько 30 МВт, що відповідає потужності 10 великих дизель-електрогенераторів.

Важливість використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії обумовлена тим, що населення Землі в даний час складає близько 6 млрд людей і зростає приблизно на 2-3 % у рік, при середньому споживанні потужності на душу населення - 0,8 кВт. Національні розходження рівнів спожитої енергії - від 10 кВт у США, 4 кВт - у країнах Європи до 0,1 кВт - у Центральній Африці. Середні темпи росту національного доходу в країнах сучасного світу складають 2-5 % у рік. При цьому щорічне підвищення споживання енергії з урахуванням росту населення повинно бути 4 - 8 %, що неможливо забезпечити без використання нових джерел енергії. Нарощування виробництва енергії такими темпами за рахунок спалювання вуглеводородних палив веде до серйозних екологічних наслідків, зокрема, до парникового ефекту.

Інтерес до НВДЕ у всьому світі зумовлений двома негативними тенденціями розвитку традиційної енергетики: швидким виснаженням природних ПЕР і забрудненням навколишнього середовища. За даними ООН, уже до середини ХХІ ст. можливе виснаження таких видів ПЕР як нафта, газ і уран ( $U^{238}$ ).

Особливу роль у виникненні ПЕР на Землі відіграє Сонце. Сонячна енергія протягом мільйонів років була рушійною силою виникнення родовищ нафти, газу

та твердого палива. Одним з основних напрямів нетрадиційної енергетики є використання енергії Сонця прямими і непрямими методами.

Прямі методи використання сонячної енергії ґрунтуються на перетворенні променистої енергії Сонця на електричну і теплову, непрямі – дозволяють використовувати кінетичну і потенційну енергію, що виникає внаслідок сонячного випромінювання з біосфери. Це енергія вітру, біомаси (органічні відходи в господарській діяльності людини, енергетичні плантації), океанів і морів (наприклад, енергія припливів і відпливів, температурного градієнта великих товщ води), гідроенергія (великих та малих річок, що виступають як гідроакумулювальні системи).

Сумарний потенційний внесок усіх НВДЕ у світовий енергетичний баланс до кінця 2000 р. становив майже 10 %. Об'єм використання окремих видів НВДЕ розподілявся так (млн т у. п.): сонячна енергія (на гаряче водопостачання й опалення) – 36; геотермальна енергія – 29; енергія вітру – 7; енергія біомаси – 7; інші види енергії – 7 (усього – 86 млн т у. п.).

Енергетична криза 70-х рр. і усвідомлення наслідків Чорнобильської катастрофи зробили свою справу: світове співтовариство шукає «нову енергію», насамперед, у напрямі використання НВДЕ, об'єм яких до 2020 року повинен скласти 20% (табл.12.1) від загального виробництва (споживання).

Таблиця 12.1 - Виробництво теплової та електричної енергії в країнах ЄС на базі нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії

Тип НВДЕ	Виробництво енергії, млн т н.е.		Загальні капітальні витрати у 1997–2000 рр., млрд доларів	Зниження викидів CO <sub>2</sub> до 2010 р., млн т/рік
	1995	2010		
Вітроенергетика	0,350	6,90	34,56	72,0
Гідроенергетика	26,400	30,55	17,16	48,0
Фотоелектрична енергетика	0,002	0,26	10,80	3,0
Біомаса	44,800	135,00	100,80	255,0
Геотермальна енергетика	2,500	5,20	6,00	5,0
Сонячні теплові колектори	0,260	4,00	28,80	19,0
Усього	74,300	182,00	198,12	402,0

Примітка. Теплота згорання 1 т нафтового еквівалента (1 т н.е.) –  $Q_H^p = 41,86$  ГДж.

Потреба і можливість розвитку в Україні цього напрямку зумовлені наступними причинами:

- дефіцитом традиційних для України ПЕР;
- дисбалансом у розвитку енергетичного комплексу України, орієнтованого, на централізоване електро- і теплопостачання та значне (понад 40

%) виробництво енергії на АЕС. Разом з тим, відсутнє власне виробництво ядерного палива, технології утилізації і переробки відходів АЕС, виробництв для модернізації устаткування діючих АЕС;

– наявністю науково-технічної і промислової бази, придатної для виробництва практично усіх видів устаткування нетрадиційної енергетики;

– сприятливими клімато-метеорологічними умовами для використання основних видів НВДЕ.

Виходячи з географічних, науково-економічних та екологічних факторів для України доцільно розглядати використання таких НВДЕ, як енергія Сонця, вітру, біомаси, малих рік, геотермальна енергія, ресурси яких подано в табл. 12.2.

Використання відновлюваних джерел енергії дозволить знизити споживання дефіцитних для України нафтопродуктів (загальний об'єм приблизно 300 млн т у. п./рік) на 5–6 %, зокрема за рахунок використання геліоресурсів – на 1,7 %, вітроенергії – на 2,8 %; геотермальної енергії – на 0,1 %; біогазу – на 0,2 %; гідроенергії рік – на 0,9 % (великих – 0,6 %, малих – 0,3 %).

Перевагою нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії є їх екологічна безпека та можливість локального використання в будь-якому районі. За даними ЮНЕСКО, приблизно 2 млрд людей на Землі мають обмежений доступ до електропостачання в силу відсутності розвинутих електричних мереж, а 2,4 млрд – до сучасних видів пального для приготування їжі та обігріву помешкань. Тому навіть активні прихильники випереджального розвитку ядерної енергетики у прогнозах на кінець ХХІ століття віддають поновлюваній енергії не менш 18 % загального споживання. Це, приблизно, стільки, скільки зараз людство одержує за рахунок викопного палива.

Таблиця 12.2 - Ресурси відновлюваних джерел енергії України

Джерело енергії	Теоретичний потенціал	Використання на початку ХХІ ст.		Технічний потенціал	
	МВт·год на рік	МВт·год на рік	т у. п.	МВт·год на рік	т у. п.
Геліоресурси	$720 \cdot 10^9$	$81 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	$0,13 \cdot 10^9$	$0,16 \cdot 10^9$
Вітроенергетика	$965 \cdot 10^9$	$0,8 \cdot 10^3$	$0,096 \cdot 10^3$	$0,36 \cdot 10^9$	$40 \dots 70 \cdot 10^9$
Геотермальна енергетика	$5128 \cdot 10^9$	$0,4 \cdot 10^3$	$0,049 \cdot 10^3$	$14 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^9$
Біоенергія с.-г. відходів	$12,5 \cdot 10^6$	$0,14 \cdot 10^3$	$0,002 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^6$	$0,73 \cdot 10^6$
Гідроенергетика, зокрема:	$42,4 \cdot 10^6$	$10,2 \cdot 10^6$	$1,22 \cdot 10^6$	$21,5 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$
велика	$25,0 \cdot 10^6$	$9,7 \cdot 10^6$	$1,16 \cdot 10^6$	$15,1 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^6$
мала	$17,4 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$	$0,06 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^6$	$0,8 \cdot 10^6$

Енергетична стратегія України на період до 2030 року, яка передбачає використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії в наростаючих масштабах. З обліком природних, географічних і метеорологічних умов перевага віддається малим гідроелектростанціям, вітроенергетичним установкам, біоенергетичним установкам, установкам для спалювання відходів рослинництва і побутових відходів, геліоводопідогрівачам. Потенціал цих джерел України

оцінюється у 6 % від усієї розрахункової економії палива, що планується одержати за рахунок енергозбереження. При цьому особливо підкреслюється, що вони дають реальну економію палива, відчутний соціальний ефект, значно поменшують негативний вплив енергетики на довкілля. Їх застосування символізує реальний перехід від марнотратної до раціональної економіки.

### ***Потенціал енергозбереження в Україні***

Поряд зі структурною перебудовою економіки для успішного вирішення проблеми енергозабезпечення необхідно реалізувати низку організаційно-правових і технічних заходів з енергозбереження. За одночасної реалізації організаційно-правових заходів і суттєвих змін структури економіки обсяги споживання енергоресурсів можна скоротити у 2—3 рази.

Організаційно-правові заходи задля енергозбереження — це розробка і запровадження законів, стандартів, нормативів, податків на викиди шкідливих речовин, на використання імпортованих енергоносіїв, налагодження обліку шляхом використання лічильників ресурсів, державна підтримка впровадження нових ефективних видів техніки, технологій, матеріалів тощо.

Основний потенціал енергозбереження зосереджений у найбільш енергомістких галузях економіки. Змістом заходів в цих галузях є модернізація обладнання, оновлення технологічних процесів та застосування нових ресурсощадних матеріалів. Це дозволить, окрім економії ресурсів, підвищити також якість виробів, що важливо для виходу на західні ринки.

### ***2 Геліоенергетика та вітроенергетика***

Сонце є основним джерелом енергії, що забезпечує існування життя на Землі. Унаслідок реакцій ядерного синтезу в його активному ядрі досягаються температури до  $10^7$  К. При цьому поверхня Сонця має температуру близько 6000 К. Електромагнітним випромінюванням сонячна енергія передається в космічному просторі і досягає поверхні Землі, з потужністю близько  $1,2 \cdot 10^{11}$  Вт. Одержання такої енергії на протязі однієї години досить, щоб задовольнити енергетичні потреби всього населення Земної кулі протягом року. Максимальна щільність потоку сонячного випромінювання, що приходить на Землю, складає приблизно  $1 \text{ кВт/м}^2$ . В залежності від місця, часу доби і погоди потоки сонячної енергії міняються від 3 до 30 МДж/м<sup>2</sup> у день (для різних населених районів).

Для створення комфортних умов життя одній людині, в середньому, потрібно приблизно 2 кВт на добу, або приблизно 170 МДж енергії. Якщо прийняти ефективність перетворення сонячної енергії в зручну для споживання форму - 10% та потік сонячної енергії -  $17 \text{ Мдж/м}^2$  у день, то необхідну для однієї людини енергію можна одержати з  $100 \text{ м}^2$  площі земної поверхні. При середній щільності населення в містах - 500 чоловік на  $1 \text{ км}^2$ , на одну людину приходить близько  $2000 \text{ м}^2$  земної поверхні. Тобто, досить всього 5% цієї площі, щоб за рахунок сонячної енергії, що знімається з її, задовольнити енергетичні потреби людини.

Для характеристики сонячного випромінювання і взаємодії його з речовиною використовуються наступні основні величини.

**Потік випромінювання** – енергія, що випромінюється електромагнітними хвилями за одну секунду через одиницю довільної поверхні [Дж/с=Вт]

**Щільність потоку випромінювання (енергетична освітленість)** - відношення потоку випромінювання до площі поверхні, що опромінюється. Щільність потоку випромінювання від Сонця, що падає на перпендикулярну йому площадку поза земною атмосферою, ще називається **сонячною константою  $\delta$** .

**Коефіцієнт поглинання** - відношення потоку випромінювання, що поглинається поверхнею тіла, до потоку випромінювання, який падає на цю поверхню в тому же спектральному інтервалі. Залежить від частоти (довжини хвилі) випромінювання, природи і температури тіла. Тіло, для якого коефіцієнт поглинання дорівнює одиниці, поглинає все падаюче на нього випромінювання і називається абсолютно чорним тілом.

**Відбивна здатність тіла** - відношення потоку випромінювання, відбитого поверхнею тіла, до потоку, падаючого на його поверхню. Для поверхонь, що розсіюють падаюче сонячне випромінювання, цю величину називають альбедо.

**Сонячні водопідігрівники (геліоводопідігрівники).** Перетворення сонячної енергії в теплову забезпечується за рахунок здатності атомів речовини поглинати електромагнітне випромінювання. При цьому енергія електромагнітного випромінювання перетворюється в кінетичну енергію атомів і молекул речовини, тобто в теплову енергію. Результатом цього є підвищення температури тіла.

Для енергетичних цілей найбільш розповсюджено використання сонячного випромінювання для нагрівання води в системах опалення і гарячого водопостачання. Основним елементом сонячної нагрівальної системи є приймач, у якому відбувається поглинання сонячного випромінювання і передача енергії рідини. Найбільш розповсюджені плоскі (нефокусуючі) приймачі, які дозволяють збирати як пряме, так і розсіяне випромінювання й, у силу цього, здатні працювати також і в хмарну погоду. Вони мають невисоку вартість і є кращими при нагріванні рідин до температур нижче 100<sup>0</sup>С.

Зупинимось на характеристиці деяких конструкцій сонячної нагрівальної системи:

- відкритий резервуар на поверхні землі (наприклад, басейн) - найпростіший можливий нагрівач води. Підвищення температури води обмежено високим коефіцієнтом відзеркалення поверхні води, тепловіддачею до землі і повітря, витратою частини поглиненого тепла на випар води;

- відкритий резервуар (теплоізолюваний від землі). Підвищення температури води обмежено високим коефіцієнтом відзеркалення поверхні води, тепловіддачею до повітря, витратою частини поглиненого тепла на випар води;

- чорний резервуар (рідина знаходиться в ємності з чорною матовою поверхнею), звичайно розташовуваної на даху будинку. Втрати тепла на випар відсутні, коефіцієнт поглинання чорної поверхні близький до одиниці. Нагрівачі цього типу недорогі, прості у виготовленні, дозволяють нагрівати воду до температури близько 45<sup>0</sup>С. Широке поширення одержали в Японії, Ізраїлі;

- чорний резервуар (з теплоізолюваним дном). Дозволяє зменшити майже в два - три рази втрати тепла, які мають місце в попередній конструкції. Для досягнення цього досить всього декількох сантиметрів ізолюючого шару (практично, будь-якого пористого матеріалу з розміром пір до 1 мм.), що укладається на дно ємності;

- закриті чорні нагрівачі (ємність нагрівача міститься в контейнері із прозорої для сонячного випромінювання кришкою, кращим матеріалом для якої є



скло). Дозволяють виключити тепловіддачу від приймача в повітря, особливо, у вітряну погоду;

- металеві проточні нагрівачі (вода протікає по паралельним трубкам, закріпленим на зачерненій металевій пластині). Звичайно діаметр трубок складає близько 2 см, відстань між ними 20см, товщина пластини 0,3см. Пластину з трубками для захисту від вітру поміщають у контейнер зі скляною кришкою.

Характеристики проточного нагрівача можуть бути поліпшені за рахунок зменшення конвективного переносу між прийомною пластинною і скляною кришкою та радіаційних втрат від пластини, а також використання вакуумірованих приймачів, у яких заповнена рідиною чорна трубка міститься у середині зовнішньої скляної трубки й у просторі між ними створюється вакуум. Останнє виключає конвективний перенос тепла через зовнішню поверхню.

Нагріту в проточному нагрівачі рідину можна використовувати відразу чи запасати. Прокачування нагрітої рідини може здійснюватися як примусово, так і природною циркуляцією (конвекцією). В останньому випадку нагрівач повинний знаходитися нижче нагромаджувача нагрітої води. Швидкість прокачування вибирають такою, щоб температура води підвищувалась приблизно на  $4^{\circ}\text{C}$  при кожному проході через нагрівач.

Перевагою системи з примусовою циркуляцією є: можливість використання існуючих водонагрівальних систем шляхом введення до їх складу приймача сонячного випромінювання і насосу; немає необхідності розташовувати накопичувальну ємність вище приймача. Недолік - залежність від електроенергії, споживаної насосом.

**Підігрівники повітря.** Сонячне випромінювання можна використовувати для підігріву повітря, просушування зерна, для обігріву будинків. Для останніх у кліматичній зоні України витрачається більше третини усіх первинних енергетичних ресурсів. Часткове розвантаження енергетики, пов'язане з проектуванням чи перебудовою будинків шляхом використання сонячного тепла, дозволяє заощадити значну кількість енергоносіїв систем теплопостачання.

Теплопровідність повітря набагато нижче, ніж води. Тому нагрівачі такого типу виготовляють з шорсткуватими прийомними поверхнями, які мають велику площу теплообміну, що дозволяє за рахунок турбулізації потоку значно підвищити інтенсивність тепловіддачі.

**Сонячні системи для одержання електроенергії (сонячні електростанції).** Концентрація сонячної енергії дозволяє одержувати температури до  $700^{\circ}\text{C}$ , що досить для роботи звичайного теплового двигуна з прийнятним коефіцієнтом корисної дії. Наприклад, параболічний концентратор з діаметром дзеркала 30 м дозволяє сконцентрувати потужність випромінювання порядку 700 кВт, що дає можливість одержати до 200 кВт електроенергії. Колектор передає сонячну енергію теплоносію (останній у цьому випадку може являти собою водяну пару високої температури), яка направляється в парову турбіну для вироблення електроенергії.

Для створення сонячних електростанцій великої потужності (порядку 10 МВт) можливі два варіанти: розосереджені колектори і системи з центральною сонячною вежею. Сонячна електростанція з розосередженими колекторами складається з безлічі невеликих концентруючих колекторів, кожен з яких незалежно стежить за Сонцем, передає енергію рідині (теплоносію), яка збирається

від усіх колекторів в центральній енергостанції і надходить на турбіну електрогенератора. Сонячна електростанція з центральною вежею складається з плоских дзеркал, які розташовані на великій площі, стежать за Сонцем і відбивають сонячні промені на центральний приймач, розміщений на вершині вежі.

**Акумулятори теплової енергії.** Застосування описаних нижче стандартних нагрівачів виявляється занадто дорогим для нагрівання великих обсягів рідини до температур  $\leq 100^{\circ}\text{C}$ . В цьому випадку ефективно застосування „сонячного ставка”, який являє собою оригінальний нагрівач, де теплозахисною поверхнею є вода.

В „сонячний ставок” (достатньо велику водойму, яка може бути вирита просто в землі) заливається кілька шарів води різного ступеня солоності. Шар найбільшої солоності, товщиною приблизно 0,5 м, розташовується на дні і нагрівається за рахунок сонячного випромінювання, яке поглинається дном водойми.

Таким чином, у неоднорідній водоймі придонний шар води більш солоний, чим шар над ним, і його щільність хоча і зменшується при нагріванні, але залишається вище щільності більш високого шару. Відсутність конвекції, що має місце в даному випадку, веде до того, що придонний шар нагрівається усе сильніше. Використання розчинів, щільність яких підвищується при нагріванні, дозволяє мати стабільні сонячні ставки, в яких досягається рівноважна температура  $90^{\circ}\text{C}$  и вище. Наприклад, сонячний ставок у Ейн - Бореке (Ізраїль) виробляє 150 кВт електроенергії з площі 0,74 га при вартості 0,1 долар США за 1 кВтч.

**Пряме перетворення сонячної енергії в електричну (фотоелектричні перетворювачі).** Найбільш оптимальним є пряме перетворення сонячної енергії в електричну, що стає можливим при використанні фотоелефекту.

Фотоелефект - електричне явище, яке відбувається при освітленні речовини, а саме: вихід електронів з металів (фотоелектрична емісія чи зовнішній фотоелефект); переміщення зарядів через границю розділу напівпровідників з різними типами провідності (р -n) (вентильний фотоелефект); зміна електричної провідності (фотопровідність).

При освітленні границі розділу напівпровідників з різними типами провідності (р-n) між ними встановлюється різниця потенціалів (фото ЕДС). Це явище називається вентильним фотоелефектом, на використанні якого засноване створення фотоелектричних перетворювачів енергії (сонячних елементів і батарей).

Сонячні елементи характеризуються коефіцієнтом перетворення сонячної енергії в електричну, котрий є відношенням падаючого на елемент потоку випромінювання до максимальної потужності електричної енергії, що виробляється. Кремнієві сонячні елементи мають коефіцієнт перетворення 10-15 % ,тобто при освітленості  $1 \text{ кВт/м}^2$  виробляють електричну потужність 1-1,5 Вт з кожного квадратного дециметра .

Типова структура сонячного елемента з р-n переходом зображена на мал. 12.1 і включає до себе: 1 - шар напівпровідника (товщиною 0,2-1,0 мікрон) з р-провідністю; 2 - шар напівпровідника (товщиною 250 - 400 мікронів) з р-провідністю; 3 - додатковий потенційний бар'єр (товщиною 0,2 мкм); 4 - металевий контакт з тильної сторони; 5 - сполучний провідник з лицьовою поверхнею попереднього елемента; 6 - протиотражальне покриття; 7-лицьовий контакт; 8 - провідник з'єднання з контактом наступного елемента. Сонячні елементи

з'єднуються послідовно в сонячні модулі, які, в свою чергу, паралельно – в сонячні батареї (рис.12.2.).

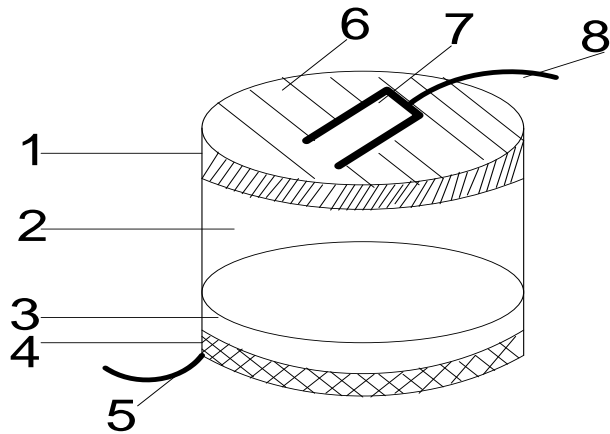


Рис.12.1 - Сонячний елемент

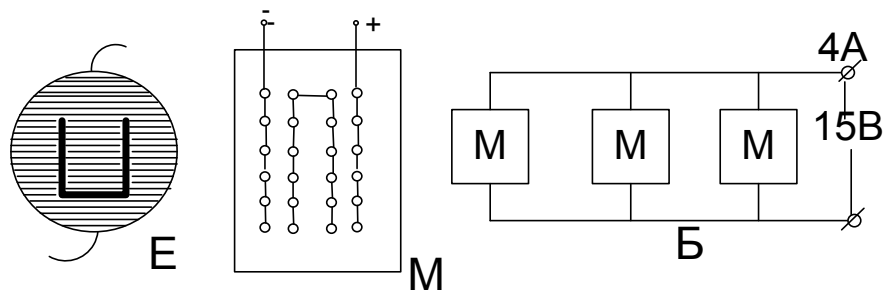


Рис. 12.2 - E – сонячний елемент, М – сонячний модуль, Б – сонячна батарея.

Важливим показником, що характеризує можливість широкого використання фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії в електричну є вартість 1 Вт максимальної потужності, яка на даний час дорівнює 0,8 доларів США. При повній вартості сонячних елементів 4 долари США за 1Вт, допоміжної апаратури - 2 долари США за 1 Вт, опроміненні місцевості 20 МДЖ/м<sup>2</sup> у день та довговічності сонячних батарей 20 років вартість електроенергії складе приблизно 16 центів США за 1кВтч (4,4 центи за МДж). Така цілком конкурентноздатна з вартістю електроенергії, що виробляються дизель-генераторами у віддалених районах, де вартість доставки палива й обслуговування різко зростає. Слід очікувати, що в найближчий час сонячні батареї будуть широко використовуватись в освітлювальних системах, системах тепло- і водопостачання, в першу чергу, у сільських місцевостях .

Основними компонентами сонячної енергетичної установки є сонячна батарея з приладами контролю і керування, акумуляторна батарея, інвертор для перетворення постійного струму сонячної батареї в перемінний струм промислових параметрів, що споживається більшістю електричних пристроїв. Незважаючи на нерівномірність добового потоку сонячного випромінювання і його відсутність у нічний час, акумуляторна батарея за рахунок накопичення електрики, яка виробляється сонячною батареєю, дозволяє забезпечити безупинну роботу сонячної енергетичної установки.



Вітер – це рух повітряних мас земної атмосфери, викликаний перепадом температур в атмосфері через нерівномірне нагрівання її сонцем. Використання енергії вітру перетворення енергії сонця в механічну. Пристрої, що в свою чергу, перетворюють енергію вітру в будь – яку іншу (механічну, теплову, електричну), називають вітроенергетичними установками (ВЕУ).

Інтерес до ВЕУ різко зріс після енергетичної кризи 1973 року, коли різко підвищилась ціна на нафтопродукти. З того часу побудовано велику частину вітроустановок з широким використанням досягнень аеродинаміки, механіки, мікроелектроніки для контролю і керування. Вітроустановки потужністю від декількох кіловатів до мегаватів виробляються в Європі, США й інших частинах світу. Велика частина з них використовується для виробництва електроенергії як у складі енергосистеми, так і автономно.

Одна з основних умов при проектуванні вітроустановок - забезпечення захисту від руйнування сильними випадковими поривами вітру. В середньому раз у 50 років у кожній місцевості бувають вітри зі швидкістю, яка у 5-10 разів перевищує середню. Тому вітроустановки проектують з великим запасом міцності, але максимальна проектна потужність визначається для стандартної швидкості вітру, за яку звичайно приймають 12 м/с.

ВЕУ потрібно встановлювати досить високо над місцевими перешкодами, щоб вітровий потік був сильним та однорідним з мінімальними змінами напрямку і швидкості, яка збільшується з висотою над поверхнею Землі. Найкращим місцем для розміщення ВЕУ є гладка куполообразна нічим не затінена височина. Бажано, щоб в радіусі декількох сотень метрів вона була оточена полями чи водною поверхнею. Як правило, голівки вітроустановок знаходяться на висоті від 5 до 50 м.

Для визначення швидкості  $U_z$  на цих висотах використовують апроксимаційну формулу, в яку входить значення стандартної швидкості вітру для даної місцевості  $U_{10}$  на висоті 10 м, а саме  $U_z = U_{10} \left( \frac{z}{10} \right)^b$ , де  $z$ , м – висота, а  $b = 0,14$  – параметр для відкритих місць. Чим менше значення швидкості, тим менше розрізняється навантаження, що зазнає лопать вітроколеса в нижнім та верхнім положенні. Значення параметра  $b$  різні в різну пору року і протягом однієї доби. Тому приведеною вище формулою треба користуватися дуже обачно, особливо для висот більш 50 м.

У районах зі сприятливими вітровими умовами середньорічне виробництво електроенергії вітроустановками складає 25-35 % його максимального проектного значення, термін служби вітроустановок – 15-20 років, а вартість – від 1000 до 1500 доларів США за 1 кВт проектної потужності. Офіційні оцінки можливої частки вітроенергетики в енергетиці, наприклад, у Великобританії і Західній Німеччині, що не передбачають яких-небудь серйозних змін у сформованій інфраструктурі енергоспоживання, складають не менш 20 %.

Автономні вітроустановки дуже перспективні для заміни дизельних електростанцій і опалювальних установок, що працюють на нафтопродуктах, особливо у віддалених районах, і можуть бути призначені для безпосереднього виконання механічної роботи (наприклад, приводу водяного насоса) або для

виробництва електроенергії. В останньому випадку вони приводять в дію електрогенератор і разом з ними називаються вітрогенераторами.

**Принцип дії і класифікація ВЕУ.** Як уже було сказано, у вітроенергетичних установках енергія вітру перетворює в механічну енергію робочих органів. Первинним і основним з них є вітроколесо, що безпосередньо приймає на себе енергію вітру і, перетворює її в кінетичну енергію обертання.

Обертання вітроколеса під дією вітру обумовлено тим, що на будь-яке тіло, яке обтікається потоком газу, діє сила  $P$ , яку можна розкласти на дві складові: - уздовж швидкості потоку (силу лобового опору  $F_o$ ), і у напрямку, перпендикулярному швидкості потоку, що набігає, піднімальною силою  $F_n$ . Величини цих сил залежать від форми тіла, орієнтації його в потоці газу і швидкості. Під дією цих сил вітроколесо приводиться в обертання.

Вітроустановки класифікуються по двох основних ознаках: геометрії вітроколеса і його положенні щодо напрямку вітру. Якщо вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, то установка називається горизонтально-осьовою, якщо перпендикулярна - вертикально-осьовою. Установки, що використовують силу лобового опору, як правило, обертаються з лінійною швидкістю, меншою швидкості вітру, а установки, що використовують підйомну силу, мають лінійну швидкість кінців лопат, яка більше швидкості вітру.

Кожне вітроколесо характеризується:

- ометаємою площею  $S$ , тобто площею, що покривається його лопатями при обертанні і дорівнює  $S = \pi D^2 / 4$ , де  $D$  - діаметр вітроколеса;

- геометричним заповненням, рівним відношенню площі проекції лопат на площину, перпендикулярну потоку, до ометаємої площі (так, наприклад, при однакових лопатях чотирилопатне колесо має вдвічі більше заповнення, чим дволопатне),

- коефіцієнтом потужності  $C_p$ , який характеризує ефективність використання енергії вітрового потоку та залежить від конструкції вітроколеса;

- коефіцієнтом швидкохідності  $Z$ , рівним відношенню швидкості кінця лопаті до швидкості вітру.

При швидкості вітру  $U$  та щільності повітря  $\rho$  вітроколесо з ометаємою площиною  $S$  розвиває потужність  $P = C_p \rho U^3 / 2$ , яка пропорційна кубу швидкості вітру. ВЕУ з великим геометричним заповненням вітроколеса розвивають значну потужність при відносно слабкому вітрі, максимум потужності досягається при невеликих обертаннях колеса. ВЕУ з малим заповненням досягають максимальної потужності при великих обертаннях, та потребують більш великого часу при виході на цей режим. Тому перші використовуються у водяних насосах і, навіть, при слабкому вітру зберігають працездатність, а другі – у якості електрогенераторів, де необхідна висока частота обертання.

Виробництво електроенергії ВЕУ. Використання вітроустановок для виробництва електроенергії є найбільш ефективним засобом утилізації енергії вітру. Вимоги до показників частоти та напруги електроенергії, яка виробляється ВЕУ, залежать від особливостей споживачів. Ці вимоги досить тверді при роботі ВЕУ у рамках єдиної енергетичної системи і доволі м'які - при використанні енергії вітроустановок в освітлювальних та нагрівних установках.

Основними елементами вітроелектрогенераторів є : власне вітроустановка, електрогенератор, система керування параметрами генерувальної електроенергії в залежності від змінювання сили вітру та швидкості обертання колеса. Для виключення перебоїв в електропостачанні ВЕУ потрібні акумулятори електричної енергії або необхідно запаралелення з електроенергетичним обладнанням інших типів, тому що неминучі періоди безвітря.

Одним із засобів керування електроенергією вітру є випрямлення перемінного струму ВЕУ, а потім перетворення його в перемінний струм з заданими стабілізованими параметрами.

В таблиці 12.5 приведено характеристики вітру і показники ВЕУ, рекомендованих до впровадження.

Таблиця 12.5 -- Віротехнічні показники вітроагрегатів, рекомендованих до впровадження

Зональна середньорічна швидкість вітру, м/с	Діапазон робочих швидкостей вітру ВЕУ, м/с	Розрахункова швидкість вітру, що відповідає номінальній потужності, м/с	Орієнтована частка використання ВЕУ, %
До 4,5	3-20	8	40
4,5-5,5	4-24	9	30
понад 5,5	4-24	10-12	30

### 3 Гідроенергетика та біоенергетика



Використання енергії потоків води теж відоме віддавна. Досвід багатьох країн доводить, що використання потенціалу малих річок на малих та мікро-ГЕС допомагає вирішити проблему поліпшення енергопостачання численних споживачів. Найбільш ефективні малі ГЕС, створені на існуючих гідротехнічних спорудах. В Україні налічується понад 63 тис. малих річок. Їх гідроенергетичний потенціал складає 30% від загального технічного потенціалу всіх річок України. На території України незадіяні ресурси гідроенергії менші від ресурсів енергії вітру, але цінні нижчими затратами та можливістю регулювання часу вироблення електроенергії.

Мала ГЕС в Європі споруджується за 8—10 місяців, термін її окупності 3—4 роки.

Необхідно максимально відновити ті ГЕС, що були зупинені в 50—60-х роках ХХ століття. Але відновлення, а особливо нове будівництво, має провадитися з використанням сучасної техніки, яка дозволяє здійснювати експлуатацію ГЕС за «безлюдним» варіантом (на таких ГЕС відсутня машинна зала і обслуговуючий персонал). Управління каскадом ГЕС здійснює через комп'ютер лише одна людина. За «безлюдної» експлуатації малих ГЕС обсяги будівництва їх в Україні можуть становити 700—1000 МВт на імпортованій гідротехніці та до 4

МВт на вітчизняній. Найбільші можливості щодо розвитку малої гідроенергетики має Карпатський регіон. Тут будівництво ГЕС має об'єднуватися з реалізацією протиповеневих заходів.

Досвід деяких держав свідчить, що освоєння потенціалу малих річок з використанням малих ГЕС і міні-ГЕС допомагає вирішити проблему поліпшення енергопостачання. Найбільш ефективними є малі ГЕС, які будуються на наявних гідротехнічних спорудах.

Загальні положення. Складний комплекс речовин, з яких складаються рослини і тварини, прийнято називати біомасою, основа якої - органічні сполуки вуглецю. Унікальна роль вуглецю в живій природі обумовлена його властивостями, якими в сукупності не володіє жоден інший хімічний елемент. Між атомами вуглецю, а також між вуглецем і іншими хімічними елементами утворюються міцні хімічні зв'язки, які можуть бути розірвані у відповідних фізіологічних умовах. Органічні сполуки вуглецю в процесі з'єднання з киснем при згорянні чи в процесі природного метаболізму виділяють тепло.

Первісна енергія системи біомаса - кисень виникає в процесі фотосинтезу під дією сонячного випромінювання, що є природним варіантом перетворення сонячної енергії. Доречно згадати, що біомаса є основною вихідною речовиною для утворення викопних палив (торфу, вугілля, нафти, газу). Рослинний матеріал, який накопичувався на протязі мільйонів літ на поверхні Землі, у результаті біохімічного розкладання перероблявся в торф. Торфоутворення і торфонакопичування завершувалися перекриттям торфовища опадами, що утворили породи покрівлі. Далі при відносно невисоких температурах і тиску біохімічні процеси приводили до перетворення торфу в буре вугілля, яке у результаті тривалого впливу підвищених температур і тиску перетворилось в кам'яне вугілля, а останнє - в антрацит. Аналогічним чином з останків морських тварин, нижчих організмів і рослинних залишків, що також протягом мільйонів років накопичувались та піддавалися дії тиску порід, утворилась нафта. Таким чином, в остаточному підсумку біомаса і зв'язані з нею походженням копалини углеводородного палива є не чим іншим, як величезними акумуляторами сонячної енергії.

У перерахуванні на суху масу утворення біологічних матеріалів у біосфері іде зі швидкістю близько  $2,5 \cdot 10^{11}$  тон на рік, при цьому щорічно хімічно зв'язується приблизно  $10^{11}$  т вуглецю, а споживана сонячна енергія складає  $2 \cdot 10^{21}$  Дж/рік ( $7 \cdot 10^{13}$  Вт). Потік фотосинтетичної енергії на нашу планету складає близько 250 кВт на людину, що еквівалентно виробленню 100 000 великих атомних електростанцій. З загальної кількості біомаси тільки 0,5% вживається людством у вигляді їжі. Утворення біомаси змінюється в залежності від місцевих умов. На одиниці площі суші її утвориться приблизно в 2 рази більше, ніж на одиниці поверхні моря.

Промислове використання енергії біомаси може бути дуже значним. Наприклад, за рахунок відходів виробництва цукру в країнах, що його поставляють, покривається до 40% потреб у паливі. Застосування біопалива у вигляді дров, гною і бадилля рослин має першочергове значення в домашньому господарстві приблизно 50% населення планети. Але для того щоб розглядати біомасу як поновлюване джерело енергії, необхідно забезпечити її виробництво

принаймні на одному рівні зі споживанням. Для людства страшне те, що в даний час витрата деревного палива значно випереджає його відтворення.

Чиста питома енергія, яку можна одержати при спалюванні, коливається від 10 МДж/кг (сира деревина) до 40 МДж/кг (жири, нафтоподібні речовини) і 55 МДж/кг для метану. Теплота згоряння сухої біомаси, що є власне кажучи вуглеводами, складає близько 20 МДж/кг. Концепція Енергетичної програми України до 2030 року передбачає перелік великомасштабних заходів в галузі біоенергетики. Вважається, що застосування біоенергетичних установок по переробці відходів тваринництва дозволить істотно поліпшити екологічний стан поблизу великих тваринницьких комплексів, де зібрана величезна кількість непереробної біомаси. Крім того, можна розраховувати на одержання високоякісних органічних добрив і за рахунок виробництва біогазу забезпечити економію традиційного палива.

Щорічно накопичується велика кількість твердих побутових відходів, які направляються на смітники і сміттяпереробні заводи. Потенційна енергія, укладена в них, еквівалентна сотням тисяч тон умовного палива. Відзначимо, що у світовій практиці одержання енергії з твердих побутових відходів здійснюється в основному спалюванням і газифікацією. У Японії, Данії і Швейцарії спалюється близько 70 %, у Німеччині – 30%, Італії – 25%, США -близько14 %.

Як сировину для одержання рідкого і газоподібного палива можливе застосування біомаси швидкозростаючих рослин і дерев. Для цих цілей вважається доцільним використовувати площі вироблених торф'яних родовищ, не придатні для вирощання сільськогосподарських культур, а також площі чорнобильської зони.

**Фотосинтез** - процес утворення органічних речовин і акумулювання хімічної енергії під дією сонячного випромінювання, відбувається в листі рослин і в інших фотосинтезуючих організмах. Це найважливіший процес, з поновлення енергії, тому що всі живі організми складаються з матеріалу, що одержується в результаті фотосинтезу.

При фотосинтезі відбуваються хімічні реакції, в яких беруть участь вуглець С, водень Н, кисень О и сонячне випромінювання. У результаті фотосинтезу утворюються хімічні сполуки цих елементів, енергія яких більше, ніж енергія вихідних матеріалів, на величину поглиненої сонячної енергії. При наступній взаємодії отриманих речовин з киснем ця енергія вивільняється у виді тепла (приблизно 16 МДж/кг)

При згорянні енергія біопалива розсіюється, але продукти згоряння можуть знову перетворюватися в біопаливо шляхом природних екологічних чи сільськогосподарських процесів. Таким чином, використання промислового біопалива, будучи добре ув'язаним із природними екологічними циклами, може не давати забруднень і забезпечувати безупинний процес одержання енергії. Подібні системи називаються агропромисловими. Схема планетарного кругообігу біомаси наведено на рис. 12.3



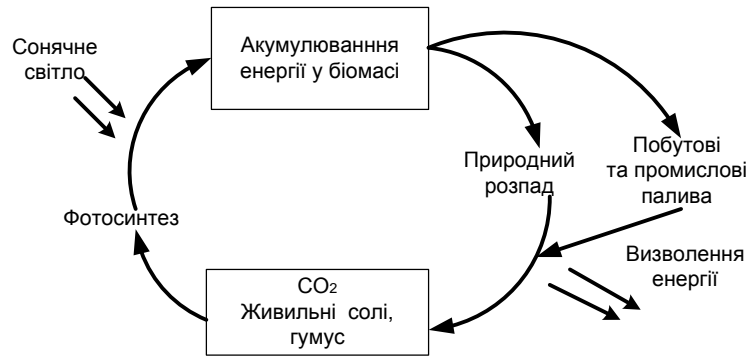


Рис. 12.3 - Схема планетарного кругообігу біомаси

### **Класифікація основних типів енергетичних процесів, пов'язаних з переробкою біомаси:**

Термохімічні процеси:

- Пряме спалювання для отримання теплоти.

- Пиролиз. Біомасу нагрівають або в умовах відсутності повітря або за рахунок згоряння деякої її частини при обмеженому доступі повітря чи кисню. Склад продуктів, що виходять при цьому, надзвичайно різноманітний: гази, рідина, олія, деревне вугілля. Зміна складу продуктів пиролізу залежить від температурних умов, типу сировини, що вводиться в процес, способів ведення процесу. Якщо основним продуктом пиролізу є паливний газ, то процес називається газифікацією, а установки для його одержання - газогенераторами. КПД пиролізу визначається як відношення теплоти згоряння похідного палива до теплоти згоряння вихідної біомаси і досягає рівня 80-90 %. Види палива, що одержується в результаті пиролізу, мають трохи меншу сумарну енергію згоряння в порівнянні з вихідною біомасою, але - більшу універсальність застосування: кращу керованість горіння; велику зручність в обертанні і транспортуванні, широкий діапазон можливих устроїв-споживачів, менший вплив на навколишнє середовище при згорянні.

- Гідрогенізація. Здрібнену, що розклася, або переварену біомасу, наприклад, гній, нагрівають в атмосфері водню до температури близько 600<sup>0</sup>С при тиску близько 5 МПа (50 атм). Одержувані при цьому паливні гази, переважно метан та етан, при спалюванні дають близько 6 МДж на 1 кг сухої сировини.

Біохімічні процеси.

- Анаеробна переробка. Під час відсутності кисню деякі мікроорганізми здатні одержувати енергію, безпосередньо переробляючи вуглеродоутримуючі складові. При цьому виробляється суміш вуглекислого газу CO<sub>2</sub>, метану CH<sub>4</sub> і побіжних газів, що називається біогазом.

- Одержання біогазу. Економічно виправдано, коли відповідний біогазогенератор переробляє існуючі потоки відходів, прикладами яких можуть служити стоки каналізаційних систем, тваринницьких ферм і т.п. Одержання біогазу, що можливо в установках самих різних масштабів, особливо ефективно на агропромислових комплексах, де доцільна реалізація повного екологічного циклу. У таких комплексах гній піддають анаеробному збраживанню. Біогаз використовують для освітлення, приведення в дію машин і механізмів,

електрогенераторів, для обігріву приміщень. Оброблені відходи використовуються як високоякісні добрива.

- Спиртова ферментація. Етиловий спирт - летуче рідке паливо, яке можна використовувати замість бензину. Він виробляється мікроорганізмами в процесі ферментації, в якості сировини звичайно використовують цукор.

Агрохімічні процеси.

- Екстракція палив. У деяких випадках рідкі чи тверді різновиди палив можуть бути отримані прямо від тварин чи рослин. Наприклад, сік живих рослин збирають, надрізавши шкірку чи стебел стовбурів, зі свіжезрізаних рослин його видавлюють під пресом. Добре відомий подібний процес одержання каучуку.

#### ***4 Енергія морських хвиль та припливів***

Деяким більшим від ресурсів гідроенергії є світовий ресурс енергії морських хвиль та припливів. Найбільш поширеним способом використання енергії морів та океанів є спорудження припливних електростанцій (ПЕС). З 1967 р. у гирлі річки Ране у Франції працює ПЕС потужністю 240 МВт. На черзі спорудження ПЕС у затоці Фанді в Канаді з рекордним 18-метровим припливом, у гирлі річки Северен в Англії із 14,5-метровим припливом та в інших регіонах із великими припливами води.

Перша у світі та найбільша на сьогодні ПЕС міститься у Франції на березі Ла-Маншу в гіолі річки Ране. Приплив у цьому місці переміщує 189 тис. м<sup>3</sup> води за секунду. Різниця рівнів становить 13 м, а швидкість течії між містами Брестом і Сен-Мало часто досягає 90 км/год. У середині дамби дуже великого накопичувального резервуара містяться 24 турбо-альтернатори-турбогенератори зі зворотними лопатками ротора турбіни. Кожен з них може функціонувати і як турбіна, і як насос, який працює і в бік моря, і в зворотному напрямку.

Але для України промислове використання цих ресурсів є проблематичним через замерзання Азовського і Чорного морів і відсутність територій для побудови ГЕС. А стосовно припливів— ще й через вкрай низький потенціал: припливна хвиля на Чорному морі не перевищує 10 см, а необхідна висота становить, як мінімум, 5 м.

**Моря і океани** є величезними акумуляторами і трансформаторами сонячної енергії, яка перетворюється в енергію хвиль, течій, тепла та вітру. Енергетичні ресурси океану відновні і практично невичерпні. Досвід експлуатації вже діючих систем океанської і морської енергетики свідчить, що вона майже не завдає шкоди навколишньому середовищу. Світовий океан містить велетенський енергетичний потенціал. Це, по-перше, сонячна енергія, поглинута океанською водою, що виявляється в енергії морських течій, хвиль, прибою, різниці температур різних шарів морської води і, по-друге, енергія тяжіння Місяця та Сонця, яка спричинює морські припливи та відпливи. Використовується цей величезний і екологічно чистий потенціал поки що недостатньо.

#### Енергія припливів

Під впливом Місяця та Сонця в океанах і морях збуджуються припливи, які спричинюють періодичні коливання рівня води при її горизонтальному переміщенні. Відповідно енергія припливів складається з потенційної енергії води та кінетичної енергії хвиль. За розрахунками, вся енергія припливів Світового океану оцінюється у 1 млрд кВт, тоді як сумарна енергія всіх річок земної кулі

дорівнює 850 млн кВт. Отже, величезна енергетична потужність морів і океанів дуже цінна для людини.

Століттями загадкою була причина морських припливів і відпливів. Сьогодні достовірно відомо, що ритмічний рух морських вод викликають сили тяжіння Місяця і Сонця. Припливи - результат гравітаційного притягання великих мас води океанів Місяцем і, меншою мірою, Сонцем. При обертанні Землі частина води океану піднімається і якийсь час утримується в цьому положенні гравітаційним притяганням. Під час припливу максимальний рівень підйому води досягає суші. Подальше обертання

Землі послаблює вплив Місяця на цю частину океану, і приплив спадає. Припливи і відпливи повторюються двічі на добу, хоча точний час їх настання змінюється залежно від сезону і положення Місяця.

Якщо Місяць, Сонце і Земля знаходяться на одній прямій, то Сонце своїм тяжінням підсилює дію Місяця, - відбувається сильний приплив. Коли ж Сонце стоїть під прямим кутом до відрізка Земля-Місяць (квадратура), то настає слабкий приплив (мала вода). Період зміни сильного і слабого припливів - сім днів. Проте на рух припливів і відпливів впливають особливості руху небесних тіл, характер берегової лінії, глибина води, морські течії і вітер. Середня висота припливу становить лише 0,5 м, за винятком тих випадків, коли водняні маси переміщуються у відносно вузьких межах. Тоді висота хвилі може у 10-20 разів перевищувати нормальну висоту припливного підйому.

Найвищі і найсильніші припливні хвилі виникають у невеликих і вузьких затоках або гирлах річок, що впадають у моря і океани. Наприклад, припливна хвиля Індійського океану йде проти течії Гангу на відстань 250 км від його гирла. Припливна хвиля Атлантичного океану підіймається на 900 км вгору Амазонкою. У закритих морях, наприклад, Чорному або Середземному, виникають малі припливні хвилі. Найбільш придатними для використання енергетичного потенціалу є ті ділянки морського узбережжя, де припливи мають велику амплітуду, а контур і рельєф берега дають змогу влаштувати великі замкнуті "басейни".

Здавна люди намагались використати енергію припливів. Уже в Середньовіччі вона була застосована для практичних цілей. Першими спорудами, механізми яких приводились у дію припливною енергією, були млини та лісопильні, що з'явилися у X-XI ст. на берегах Англії та Франції. Ритм роботи цих млинів був переривчастим, що допустимо для примітивних споруд, які виконували прості, але корисні для свого часу функції. Для сучасного промислового виробництва він мало придатний, тому енергію припливів спробували використати для отримання більш зручної електричної енергії. Але для цього необхідно було створити на берегах океанів і морів припливні електростанції (ПЕС). Перша морська ПЕС потужністю 635 кВт була побудована у 1913 р. у бухті Ліверпуля (Англія).

Спорудження ПЕС пов'язано з великими труднощами. Перш за все енергія залежить від характеру припливів, на які неможливо впливати, оскільки вони визначаються астрономічними чинниками. Незважаючи на це, робота з розробки планів ПЕС продовжується - на сьогодні запропоновано близько 300 різних технічних проектів їх будівництва. Однак далеко не у кожному регіоні земної кулі є умови для такого будівництва. Дослідження показали, що передача припливної

електроенергії з узбережної зони у центральні частини материків буде виправдана лише для деяких районів Західної Європи, США, Канади, Південної Америки. Отже, у припливах і відпливах, що змінюють один одного двічі на день, міститься величезна енергія, яку теоретично можливо використовувати без жодних технічних проблем, однак такі масштабні проекти пов'язані з великими витратами капіталу, а також імпульсним характером одержання великої кількості електроенергії у віддалених від споживачів районах.

Найпростішою енергетичною установкою є гребля з турбінами поперек гирла морської затоки, але вона може спричинити деградацію навколишнього середовища. Як уже зазначалося, електростанції, які використовують енергію морських припливів, вигідно споруджувати на тих ділянках узбережжя Світового океану, де припливи найвищі. До таких ділянок належать, наприклад, канадська затока Фанді (висота припливу становить 17 м), протока Ла-Манш (15 м), Пенжинська затока Охотського моря (13 м) та ін. Уся потужність океанських припливів на планеті оцінюється у 3000 ГВт. З них приблизно 1000 ГВт розсіюється у мілководних прибережних районах, де можливе зведення інженерних споруд. Загальна кількість припливної енергії у Світовому океані - 3,9 о 10м кДж.

Нині ПЕС побудовані і вже років 20-25 успішно працюють на трьох континентах: промислова Ране на узбережжі Ла-Маншу (Франція) потужністю 240 МВт, дослідні - Кислогубська у Кольській затоці (Росія) потужністю 400 кВт, Цзянсян потужністю 3,2 МВт (Китай) та Аннаполіс потужністю 20 МВт (Канада).

У Японії, наприклад, ПЕС працює за такою схемою: вночі, коли споживання електроенергії низьке, приплив піднімає морську воду у спеціальне водоймище, а вдень ця вода зливається назад, генеруючи електрику. Для Японії з її протяжною береговою лінією знайти придатні місця для будівництва таких ПЕС легко. У цій країні на сьогодні діють 53 атомні (тобто потенційно небезпечні) електростанції, а викопне паливо вона змушена імпортувати. Тому будівництво ПЕС для Японії і економічно вигідне, і екологічно дуже важливе. У процесі будівництва припливної електростанції велика увага приділяється саме екологічності спорудження. Для цього форма дна каналів, якими протікає морська вода, вибирається так, щоб тварини, що випадково потрапили до каналу, могли вибратися з нього.

Як же працює ПЕС? На річці будується гребля для затримки вод високого припливу. Коли припливні води відступають, затримана греблею вода випускається в океан через грушоподібні турбіни під греблею, і виробляється електроенергія. Електроенергію можна виробляти як при відпливі, так і при припливі. Припливна хвиля затримується за греблею в результаті відкриття ряду донних затворів, що дозволяє їй рухатися нагору річкою у напрямку джерела. Затвори закривають тоді, коли приплив досягає найвищого рівня, а потім, по мірі відпливу, воді, замкненій за греблею, дозволяють стікати до моря через турбіни. При низькому рівні води, тобто при відпливі, велика частина цієї води спускається. Коли припливні води знов надходять, то зупиняються перед закритими затворами, рівень води з боку моря перевищує її рівень на боці греблі, зверненої до суші. Після того, як буде досягнутий достатній напір, воді дозволяють текти нагору річкою, проходячи через турбіни, і знову виробляти електрику. Таким чином, енергія виробляється і за рахунок відпливу, і за рахунок припливу.

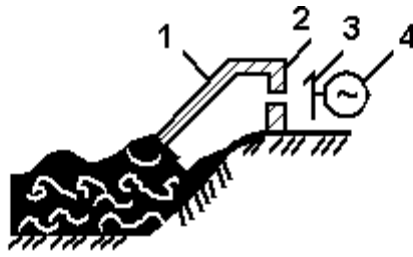


Рисунок 15. Схема прибійної електростанції

На рис. 15 показана схема побудованої в Японії прибійної електростанції потужністю 50кВт. Принцип її роботи приваблює своєю простотою і майже повною відсутністю рухомих частин. Хвиля, яка падає під козирок 1, стискає повітря й жене його крізь сопловий канал 2 до турбіни 3, яка приводить в дію електрогенератор 4.

В Японії створено подібну прибійну електростанцію потужністю 50 кВт. Собівартість виробленої нею електроенергії становить 20-30 ен/кВт·год, що відповідає собівартості електроенергії, яка виробляється дизель-електричними станціями.

Основними причинами, які стримують розвиток хвилевих енергоустановок, є розосередження енергії на великій поверхні, непостійне хвилевідтворення, низька швидкість руху хвиль при значних силах їхньої дії. Таким чином, коли проектується хвилеві енергоустановки, слід насамперед вирішувати питання концентрації та акумулювання енергії, а також ефективного її перетворення з максимальним використанням наявних технічних рішень. Основними шляхами розвитку хвилевих енергоустановок є підвищення концентрації енергії хвиль і енергоємності акумуляторів, їхньої надійності та ефективності перетворення енергії.

## Лекція №6

**Тема:** Використання енергоресурсів та забруднення навколишнього середовища.

**Мета:** ознайомитися з видами забруднення; з причинами виникнення екологічної кризи та з її наслідками в Україні.

**Методи:** словесні, наочні.

### План:

- 1 Види забруднення природного середовища.
- 2 Причини виникнення екологічної кризи.
- 3 Наслідки екологічної кризи в Україні.

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:** конспект, підручник.

### Література:

1 Основы энергосбережения: учебник / Н. И. Данилов, Я. М. Щелков; под ред. Н. И. Данилова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006 – 564 с.

2 Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

## **1 Види забруднення природного середовища**

**Забруднення біосфери** - привнесення в навколишнє середовище або виникнення в ньому нових, не характерних для нього елементів, чи зміна природної концентрації існуючих. Загалом, під забрудненням природного середовища розуміють будь-яке привнесення до нього не властивих йому живих або неживих компонентів або структурних змін, які викликають порушення біологічних циклів та потоку енергії в біосфері і в результаті несприятливо діють на живі організми, в тому числі і на людину.

Забруднювачем вважається будь-який (природний чи антропогенний) фізичний агент, хімічна речовина чи біологічний вид, що потрапляє в навколишнє середовище і викликає в ньому зміни, в кількостях, що виходять за межі звичайних і викликають забруднення середовища.

Класифікація забруднення:

матеріальне, енергетичне;

природне, антропогенне;

забруднення гідросфери, атмосфери, педосфери (грунтова оболонка Землі);

тимчасове, постійне;

регіональне, глобальне, локальне;

механічне, фізіологічне, біологічне.

Види забруднень і їхню коротку характеристику подано в таблиці 1.

<b>Види забруднень</b>	<b>Характеристика забруднень</b>
Механічне	Забруднення середовища агентами, які справляють лише механічний вплив на екосистеми без хіміко-фізичних наслідків.
Хімічне	Зміна хімічних властивостей, які справляють негативний вплив на екосистеми і технологічні пристрої.
Фізичне	Зміна фізичних параметрів середовища: температурно-енергетичних (теплове або термальне), хвильових (світлових, шумових, електромагнітних), радіаційних тощо.
У тому числі: теплове або термальне	Підвищення температури середовища, головним чином у зв'язку з промисловими викидами нагрітого повітря, газів і води; може виникати і як вторинний результат зміни хімічного складу середовища.
Оптичне	Зміна видового та ультрафіолетового випромінювання, а також зміна оптичних властивостей середовища, що веде до зниження рівня його прозорості та погіршення видимості.
Акустичне	Забруднення звуковими хвилями від вищих до найвищих частот ( $10^{12}$ - $10^{13}$ Гц); частковими випадками такого забруднення є шумове, ультразвукове, інфразвукове, а також вібрація.
Електромагнітне	Зміна електромагнітних властивостей середовища (від ліній електропередач, радіо і телебачення, роботи деяких промислових установок тощо), що призводить до глобальних і місцевих географічних аномалій та змін у тонких біологічних структурах.
Радіаційне	Перевищення у середовищі природного рівня радіоактивних речовин.
Біологічне	Проникнення в екосистеми видів тварин і рослин, чужих до існуючих у ній угруповань.
У тому числі: біотичне	Поширення певних, здебільшого, небажаних з погляду людей, біогенних речовин (виділень, мертвих тіл тощо) на території, де вони раніше не спостерігались.
Мікробіологічне	Поява надзвичайно великої кількості мікроорганізмів, пов'язана з їх масовим розмноженням на антропогенних субстратах або у середовищах, змінених в ході господарської діяльності людини.
Інформаційне	Набуття раніше не шкідливою формою мікроорганізмів патогенних властивостей або спроможності пригнічувати інші організми в угрупованнях.

## Забруднення біосфери

Забруднювачі	Природні надходження (млн. т)	Антропогенні викиди (млн. т)
Оксид вуглецю CO	-	$3,8 \times 10^8$
Оксид сірки SO <sub>2</sub>	$1,4 \times 10^8$	$1,45 \times 10^8$
Оксиди азоту NO <sub>x</sub>	$1,4 \times 10^9$	$(1,5-2,0) \times 10^7$
Галогеноорганічні сполуки	-	$2,0 \times 10^6$
Вуглеводневі сполуки	$1,0 \times 10^9$	$1,0 \times 10^6$
Важкі метали: свинець Pb ртуть Hg	-	$2,0 \times 10^5$ $5,0 \times 10^3$
Аерозолі різних видів	$(7,7-22) \times 10^{10}$	$(9,6-26) \times 10^{10}$

У зв'язку з тим, що забруднювачі не тільки завдають шкоди природі, але й здоров'ю людини, Всесвітня організація охорони здоров'я визначила чотири рівні забруднення атмосфери:

*Рівень 1* - концентрація і час експозиції забруднюючих речовин нижчі або дорівнюють величинам, при яких на сучасному рівні знань ніякого прямого або побічного негативного ефекту не можна визначити.

*Рівень 2* - величини, при яких спостерігається подразнення органів відчуття, шкідливий вплив на рослинність, зменшення видимості атмосфери та інший несприятливий вплив на довкілля.

*Рівень 3* - величини, при яких у людини можливий розлад життєво важливих функцій, зміни, що спричиняють хронічні захворювання або передчасну смерть.

*Рівень 4* - величини, при яких можливі гострі захворювання або передчасна смерть в найуразливіших верствах населення.

Усі сторонні речовини, що надходять до навколишнього середовища внаслідок людської діяльності, називають антропогенним забрудненням, а в результаті природних процесів - природним забрудненням. Антропогенне забруднення може бути у вигляді газоподібних викидів, рідких стоків та твердих відходів. Але поняття антропогенного забруднення розглядається ширше. До нього належать усі види та форми порушень структури та функціонування природних об'єктів, що виникають в результаті діяльності людини.

Природні забруднення тісно пов'язані з природними стихійними лихами - повеннями, тайфунами, штормами, землетрусами тощо.

Антропогенне забруднення середовища відоме з кам'яного віку і прослідковується пізніше протягом усієї історії людства. Перші ділянки локального забруднення атмосфери та гідросфери виникли при підсічновогняному землеробстві, коли випалювання лісів набуло систематичного характеру.



Різко збільшилися масштаби забруднення в другій половині ХХ ст., що пов'язано із значним зростанням чисельності населення та розширенням виробництва. Забруднення середовища сьогодні стало глобальною проблемою.

Антропогенне забруднення призвело до залучення у планетарні біохімічні цикли великої кількості сторонніх для них речовин, серед яких переважають метали. У біохімічні цикли щорічно надходить  $4 \times 10^9$  тонн заліза, алюмінію -  $10^8$  т, кадмію -  $2 \times 10^3$  т. До них додаються різноманітні органічні та неорганічні речовини.

Промислове та сільськогосподарське виробництво зумовило появу особливого, техногенного, типу міграції речовини на планеті. Техногенна міграція полягає в переміщенні на великі віддалі сировини, продуктів виробництва та відходів. Техногенна міграція приводить до особливих різких порушень біохімічного циклу вуглецю, оскільки в кругообіг включається все більша його кількість, що раніше знаходилась у вигляді вугілля, нафти та газу. Сильно порушуються біохімічні цикли азоту (за рахунок щорічного його надлишкового надходження до біосфери у кількості приблизно 9 млн. т) та фосфору (за рахунок підвищеного його стоку у водойми).

Різновидів порушень, які пов'язані з втручанням людини в біосферу і призводять до її деградації, досить багато. До них належить навіть туризм, який деякі люди схильні вважати формою "контакту людини з природою". Внаслідок демографічного вибуху та урбанізації туризм став масовим і місць, недоступних для сучасного туризму, в світі лишилось дуже мало. Тварини, особливо в період розмноження, ще витримують поодиноких людей, які рідко з'являються, але їх дуже турбують туристичні групи, які часто намагаються встановити тривалий контакт, спостерігаючи за їхньою поведінкою. У таких умовах більшість видів тварин припиняють свій репродуктивний цикл, не залишаючи потомства.

Усі перераховані види забруднення взаємопов'язані. Наприклад, хімічне забруднення атмосфери може сприяти підвищенню вірусної активності, а отже, і біологічному забрудненню тощо.

Отже, антропогенне забруднення довкілля, яке характеризується сотнями забруднюючих агентів, джерел забруднення та різноманітністю своїх видів, за своїми масштабами стало глобальним фактором, який необхідно враховувати при організації багатьох видів людської діяльності.

### ***Забруднення атмосферного повітря***

*Атмосферне повітря* - невичерпний ресурс, але в окремих регіонах земної кулі він потрапляє під такий сильний антропогенний вплив, що виникає проблема якісного складу атмосфери, а надто у великих промислових центрах.

Основні антропогенні джерела забруднення атмосфери: теплове та енергетичне устаткування; промислові підприємства; сільське господарство; транспорт.

До атмосфери надходять газоподібні викиди, тверді частинки, радіоактивні речовини, волога. Потрапляючи в атмосферу, їхні властивості й стан істотно змінюються. Внаслідок цього в атмосфері можуть утворюватися компоненти, властивості й поведінка яких не завжди відповідатиме вихідним даним.

Наслідками забруднення атмосфери є парниковий ефект, озонові діри, смог, кислотні дощі, ядерна ніч і ядерна зима, шумове, вібраційне та електромагнітне забруднення атмосфери.

Клімат Землі, що залежить переважно від стану її атмосфери, протягом геологічної історії періодично змінювався: чергувалися епохи значного похолодання, коли великі ділянки вкривалися льодовиками, й епохи потепління (до речі, ми живемо якраз в епоху потепління, коли розтанули великі льодовикові щити в Євразії та Північній Америці). Та останнім часом вчені-метеорологи б'ють на сполох: схоже на те, що атмосфера Землі розігрівається значно швидше, ніж будь-коли в минулому. Це зумовлено діяльністю людини, яка, по-перше, підігріває атмосферу, спалюючи велику кількість вугілля, нафти, газу, а також роботою атомних електростанцій. По-друге, і це найголовніше, спалювання органічного палива, а також знищення лісів призводить до накопичення в атмосфері великої кількості вуглекислого газу. За останні 120 років вміст цього газу в повітрі збільшився на 17%. У земній атмосфері вуглекислий газ діє як скло в теплиці чи парнику: він вільно пропускає до поверхні Землі сонячні промені, але утримує тепло розігрітої Сонцем поверхні Землі. Це викликає розігрівання атмосфери, відоме під назвою парникового ефекту. За підрахунками вчених, у найближчі десятиліття середньорічна температура на планеті за рахунок парникового ефекту може збільшитися на 1,5-2 °С. Якщо людство не зменшить обсягу забруднень атмосфери і глобальна температура буде надалі зростати, як це відбувається протягом останніх 20 років, то дуже швидко клімат стане теплішим, ніж будь-коли на Землі за останні 100 000 років. Це прискорить настання глобальної екологічної кризи.

Глобальне потепління викличе танення льодовиків Гренландії, Антарктиди, Арктики й гір, рівень Світового океану підвищиться на 6-10 м, при цьому буде затоплено близько 20% площі суходолу, де проживають сотні мільйонів людей, розташовані міста, ферми, сади й поля.

Вчені не дійшли єдиної думки, при якому зростанні середньорічної температури настануть ці негативні для людства явища - одні метеорологи вважають критичною межею 2,5 °С, інші - 5 °С. Останнім часом тривога вчених з приводу парникового ефекту ще більш зростає. Виявилось, що крім вуглекислого газу, парниковий ефект спричиняють також деякі інші гази, що входять до складу так званих малих домішок в атмосфері: метан, закис азоту, фреони, вміст яких в атмосфері за рахунок антропогенного фактора теж швидко зростає.

Життя на Землі залежить від енергії Сонця, яка надходить до Землі у вигляді променів видимого світла, а також довгохвильових (інфрачервоних або теплових) і ультрафіолетових (УФ). УФ-випромінювання характеризується найбільшою енергією і є фізіологічно активним, тобто діє на живу речовину. Увесь потік УФ-променів Сонця, що доходить до земної атмосфери, умовно поділяють на три види: УФ-А (довжина хвилі - 400-315 нм), УФ-В (315-280) і УФ-С (менше ніж 280 нм). УФ-В і УФ-С надзвичайно шкідливі для всього живого й приводять до розриву молекул білків і загибелі живих клітин. Всю біосферу від згубної дії "жорстокого ультрафіолету" захищає "озоновий щит" Землі.

На висоті 20-50 км повітря містить підвищену кількість озону. Озон утворюється в стратосфері за рахунок молекул звичайного, двоатомного кисню, що поглинає жорстке УФ-випромінювання. Енергія променів УФ-В і УФ-С витрачається на фотохімічну реакцію утворення озону з кисню.

Від негативної дії цього випромінювання наш організм уміє захищатись, синтезуючи в шкірі шар темної речовини - меланіну (засмага). Проте ця речовина в

шкірі утворюється досить повільно. Тому тривале перебування на весняному сонці, коли в шкірі ще не утворився цей захисний елемент, викликає її почервоніння, головний біль, підвищення температури тіла тощо.

Останнім часом вчені надзвичайно занепокоєні зниженням вмісту озону в озоновому шарі атмосфери. Над Антарктидою виявлено "дірку" в цьому шарі, де вміст його менший від звичайного на 40-50%. Ця озонова діра з року в рік збільшує свою площу, й сьогодні вона вже більша за материк Антарктиди. Озонова дірка спричинила посилення УФ-фону в країнах, розташованих в південній півкулі, ближче до Антарктиди, перш за все в Новій Зеландії. Медики цієї країни занепокоєні, констатуючи значне зростання кількості захворювань, зумовлених підвищеним УФ-фоном, таких, як рак шкіри й катаракта очей. Жителі столиці Нової Зеландії - Веллінгтона, які раніше намагалися використати кожний погожий день (котрих у Веллінгтоні не так багато) для відпочинку, сьогодні побоюються з'являтися на пляжі.

Дослідження стану озонового шару північної півкулі свідчать також про наявність озонових дір, щоправда, менших розмірів, ніж антарктична. Зниження вмісту озону в атмосфері загрожує зменшенням врожаїв сільськогосподарських рослин, захворюваннями тварин і людей, збільшенням шкідливих мутацій тощо, а якщо він зникне з атмосфери зовсім, то це приведе до загибелі всього живого на Землі.

Встановлено, що руйнуванню озонового шару сприяють деякі хімічні речовини (наприклад, окиси азоту), що потрапляють у стратосферу з висхідними повітряними течіями. Вони вступають у реакцію з озоном і розкладають його на кисень. Проте окисів азоту в повітрі дуже мало, вони нестійкі і суттєво не впливають на кількість озону в стратосфері. Але з'явилося інше джерело озоноруйнуючих речовин - це діяльність людини. Сучасна промисловість у все більшій кількості використовує так звані фреони. Їх широко застосовують як холодоагенти в рефрижераторах і домашніх холодильниках, як аерозольні розбризкувачі в балончиках з фарбою, лаком, парфумами, для очищення напівпровідникових схем, тощо. Сьогодні у світі щорічно випускається кілька мільйонів тонн фреонів.

Для людини пари фреонів не шкідливі, проте вони надзвичайно стійкі й можуть утримуватись в атмосфері до 80 років. Пари фреонів із висхідними повітряними течіями потрапляють у стратосферу, де під впливом УФ-випромінювання Сонця їхні молекули розпадаються, вивільняючи атоми хлору. Ця речовина діє як дуже сильний каталізатор, розкладаючи молекули озону до кисню. Один атом хлору здатен розкласти 100 тис. молекул озону.

Через загрозу зникнення озонового шару керівники багатьох країн світу вирішили вжити заходи щодо його захисту. В 1985 р. в Монреалі урядами більшості країн світу було підписано протокол щодо охорони атмосферного озону, згідно з яким було вирішено до 2000-го року зменшити на 50% споживання фреонів, а згодом і зовсім відмовитися від них, замінивши їх безпечними сполуками.

Сприяє руйнуванню озонового шару й військова діяльність, зокрема, запуски балістичних ракет, двигуни яких викидають в атмосферу багато окисів азоту. Кожний запуск ракети в космос також "пропалює" в озоновому шарі чималу дірку, яка "затягується" лише через тривалий час.

У грудні 1952 р. безвітряна й дуже холодна погода Лондона призвела до скупчення над містом так званого *чорного смогу* - хмари шкідливих газів, до чого спричинила посилена робота сотень котелень, в топках яких горіли вугілля, мазут і соляр. У приземному шарі повітря різко зросла і кількість (до  $10 \text{ мг/м}^3$ , а подекуди й більше) отруйного закису азоту й інших шкідливих компонентів. Це привело до загибелі в Лондоні близько 4 тис. осіб, десятки тисяч потрапили до лікарень, захворіли на легеневі хвороби.

Дослідження свідчать, що смог виникає в результаті складних фотохімічних реакцій у повітрі, забрудненому вуглеводнями, пилом, сажею й окисами азоту, під впливом сонячного світла, підвищеної температури нижніх шарів повітря та великої кількості озону, який виділяється в результаті розпаду двоокису азоту під дією олефінів з неповністю згорілого автомобільного палива. У сухому, загазованому й теплому повітрі виникає синюватий прозорий туман, що неприємно пахне, подразнює очі, горло, спричиняє задуху, бронхіальну астму, емфізему легенів тощо. Листя на деревах в'яне, стає плямистим, жовкне. Набагато прискорюється корозія металу, руйнування мармуру, фарб, гуми, швидко псуються взуття, одяг, порушується рух транспорту.

Окиси сірки й азоту, що викидаються в атмосферу внаслідок роботи теплових електростанцій і автомобільних двигунів, сполучаються з атмосферною вологою й утворюють дрібні крапельки сірчаної та азотної кислот, які переносяться вітром у вигляді кислотного туману й випадають на землю кислотними дощами. Ці дощі вкрай шкідливо діють на навколишнє середовище:

- знижується врожайність більшості сільськогосподарських культур внаслідок ушкодження листя кислотами;

- вимиваються з ґрунту кальцій, калій і магній, що викликає порушення балансу фауни та флори;

- знищуються ліси (особливо чутливі до кислотних дощів кедр, бук) у гірських районах (таких, як Карпати), що викликає гірські зсуви й селеві потоки;

  - отруюється вода озер і ставків, де гине риба, зникають комахи;

  - щезають водоплавні птахи й тварини, що харчуються комахами;

- прискорюється руйнування пам'ятників архітектури й житлових будинків, особливо тих, що оздоблені мармуром і вапняком;

- збільшується кількість захворювань людей (подразнення очей, хвороби дихальних шляхів тощо).

Взимку поблизу ТЕС та металургійних заводів інколи випадає також кислотний сніг, який ще більш шкідливий, ніж кислотний дощ, що пояснюється більшим вмістом кислот. Райони, де випадає такий сніг, відзначаються відразу 5-місячною дозою забруднення, а під час його танення навесні відбувається процес концентрації шкідливих речовин, тому тала вода інколи містить вдесятеро більше кислот, ніж цей сніг.

До найбільш токсичних видів забруднення атмосфери належать викиди сполук сірки -  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  і  $\text{H}_2\text{S}$ . Під впливом  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  та їхніх похідних руйнується хлорофіл в листках рослин, сповільнюється ріст рослин, зменшується врожайність сільськогосподарських культур, а через високі дози рослини гинуть.

## ***Забруднення гідросфери***

Забруднення води поділяють на фізичне, хімічне, біологічне й теплове.

Фізичне забруднення виникає внаслідок збільшення у воді нерозчинених домішок - піску, глини, намулу за рахунок змиву дощовими водами з розораних ділянок (полів), надходження суспензій з підприємств гірничорудної промисловості, пилу, що переноситься вітром у суху погоду тощо. Тверді частки знижують прозорість води, пригнічуючи розвиток водних рослин, забивають зябра риб та інших водних тварин, погіршують смакові якості води, а то й роблять її взагалі непридатною для споживання.

Хімічне забруднення води відбувається за рахунок надходження у водойми зі стічними водами різних шкідливих домішок неорганічного (кислоти, луги, мінеральні солі) і органічного походження (нафта й нафтопродукти, мийні засоби, пестициди тощо). Шкідлива дія токсичних речовин, що потрапляють у водойми, посилюється за рахунок так званого кумулятивного ефекту, коли прогресує збільшення вмісту шкідливих сполук у кожній наступній ланці харчового ланцюжка. Так, у фітопланктоні вміст шкідливої сполуки виявляється вдесятеро вищим, ніж у воді, в зоопланктоні (личинки, дрібні рачки тощо) - ще вдесятеро, в рибі, яка харчується зоопланктоном, - ще вдесятеро. А в організмах хижих риб (таких, як щука чи судак) концентрація отрути збільшується ще вдесятеро і, отже, буде в десять тисяч разів вищою, ніж у воді! Нещодавно, наприклад, з'явилося повідомлення в пресі, що вміст ртуті в балтійській трісці подекуди дорівнює 800 мг на 1 кг маси риби. Це означає, що, з'ївши п'ять-вісім таких рибин, людина одержує стільки ртуті, скільки її міститься в медичному термометрі.

Особливої шкоди водоймам завдають нафта й нафтопродукти, які утворюють на поверхні плівку, що перешкоджає газообмінові між водою і атмосферою і знижує вміст кисню у воді; 1 т нафти здатна розпливтись плівкою на 12 км<sup>2</sup> поверхні води. Осідаючи на дно, згустки мазуту вбивають донні мікроорганізми, що беруть участь у самоочищенні води. Гниття донних осадків, забруднених органічними сполуками, продукує в воду отруйні сполуки, зокрема, сірководень, що забруднює всю воду в річці чи озері.

Основними забруднювачами води є хімічні, нафтопереробні й целюлозопаперові заводи, великі тваринницькі комплекси, гірничорудна промисловість. Останнім часом особливе місце серед забруднювачів води посідають синтетичні мийні засоби. Ці речовини надзвичайно стійкі, зберігаються у воді роками. Більшість із них містить фосфор, що сприяє бурхливому розмноженню у воді синьо-зелених водоростей і "цвітінню" водойм, яке супроводжується різким зниженням у воді вмісту кисню, "заморами" риби, загибеллю інших тварин, котрі живуть у воді. Під час "цвітіння" Каховського та інших "рукотворних" морів на Дніпрі відчувається сморід, а хвилі викидають на берег труп риби, що задихнулася.

Біологічне забруднення водойм полягає у надходженні в них зі стічними водами різних мікроорганізмів (бактерій, вірусів), спор грибків, яєць черв'яків і т.д., багато з яких є хвороботворними для людей, тварин і рослин. Серед біологічних забруднювачів перше місце посідають комунально-побутові стоки (особливо, якщо вони неочищені чи очищені недостатньо), а також стоки підприємств цукрових заводів, м'ясокомбінатів, заводів, що обробляють шкіру, деревообробних комбінатів. Особливої шкоди біологічне забруднення водойм завдає в місцях

масового відпочинку людей (курортні зони узбережжя морів). Через поганий стан каналізаційних та очисних споруд останнім часом в Одесі, Маріуполі й інших містах узбережжя Чорного й Азовського морів неодноразово закривались пляжі, оскільки в морській воді було виявлено збудників таких небезпечних хвороб, як холера, дизентерія, гепатит тощо.

Теплове забруднення води спричиняється спуском у водойми підігрітих вод від ТЕС, АЕС та інших енергетичних установок. Тепла вода змінює термічний і біологічний режими водойм і шкідливо впливає на їх мешканців. Як показали дослідження гідробіологів, вода, нагріта до 26-30 °С, діє негативно на рибу та інших мешканців водойм, а якщо температура води піднімається до 36 °С, вся риба гине. Найбільшу кількість теплої води викидають у водойми атомні електростанції.

Стан вод Світового океану сьогодні викликає велике занепокоєння. Його забруднюють переважно річками, з якими щорічно надходить понад 320 млн. т солей заліза, 6,5 млн. т фосфору та ін. Дуже багато забруднень потрапляє в океани і з атмосфери: 200 тис. т свинцю, 1 млн. т вуглеводнів, 5 тис. т ртуті тощо. Близько третини мінеральних добрив, що вносяться в ґрунт, вимивається з нього дощовими водами й виноситься ріками в моря й океани; лише азоту й фосфору таким шляхом потрапляє в Світовий океан близько 62 млн. т на рік. Ці речовини викликають бурхливий розвиток деяких одноклітинних водоростей, що вже не раз спричиняло так звані червоні припливи (хоча колір води при цьому буває й жовтим, і синьо-зеленим залежно від виду водорості). У "підживленій" нітратами й фосфатами морській воді ці рослини надзвичайно швидко розмножуються, утворюючи подекуди на поверхні води гігантські "ковдри" завтовшки до 2 м і площею в багато квадратних кілометрів. Така ковдра діє як прес, що душить у морі все живе. Гинучи, водорості опускаються на дно, де починають гнити, поглинаючи увесь кисень з води. Це викликає загибель донних організмів.

До найбільш шкідливих забруднювачів Світового океану належать нафта й нафтопродукти, їх щорічно потрапляє туди 5-Ю млн. т, переважно внаслідок втрат під час добування нафти з морських родовищ, аварій танкерів, берегового стоку тощо. Так, внаслідок аварії танкера "Екссон вапдіз", що сталася в 1990 р. поблизу Аляски, в море потрапило 40 тис. т нафти. Величезні нафтові плями були рознесені морськими течіями й вітром далеко від місця аварії, забруднивши значні ділянки узбережжя, що спричинило загибель тисяч тюленів, морських птахів, риби тощо. А в 1991 р. внаслідок війни між Кувейтом та Іраком (відомої як операція "Буря в пустелі") нафта з підірваних танкерів і нафтопроводів вкрила 1550 км<sup>2</sup> поверхні Перської затоки і 450 км берегової смуги, де загинула велика кількість морських черепах, дюгонів, птахів, крабів та інших тварин.

Нафтова плівка на поверхні моря пригнічує життєдіяльність морського фітопланктону, що є одним із головних постачальників кисню в земну атмосферу, порушує тепло - і вологообмін між океаном і атмосферою, губить мальків риби і інших морських організмів.

Моря й океани забруднюються також твердими відходами промисловими й побутовими, їх в Світовому океані накопичилось вже понад 20 млн. т. Більшість із них містять сполуки важких металів та інші шкідливі речовини, що згубно діють на морську фауну й флору. У Світовий океан потрапила велика кількість радіоактивних речовин внаслідок випробувань атомної зброї, роботи атомних реакторів військових підводних човнів і криголамів, скидання контейнерів з

відходами атомних електростанцій тощо. Загальна кількість радіоактивності, що призводить до забруднення Світового океану, найбільше накопичена в його мілководній прибережній зоні. Шельф океану-це райони, де більшість морських організмів проводить значну частину свого життя; до того ж саме тут мільйони рибалок заробляють собі на життя, а ще більша кількість людей відпочиває.

Проблема захисту Світового океану нині стала однією з найактуальніших, вона стосується всіх країн, навіть тих, що не мають безпосереднього виходу до океану.

### Забруднення гідросфери

Галузь промисловості і та її продукція	Характеристика відходів, які потрапляють у водоймища
<b>ХІМІЧНА</b>	
Кислоти	Різні кислоти
Вибухові речовини	Кислоти, фарби, мастила, мила, органічні речовини
Пестициди	Органічні речовини, бензолні сполуки, кислоти
Мийні засоби	Продукти гідролізу жирів та інші розчинені й завислі органічні речовини, лугові сульфати і сульфонати, фосфати, силікати, борати, хлор, бром, миш'як

<b>ХАРЧОВА</b>	
Пиво	Ферментовані крохмалі
Консервовані та заморожені фрукти й овочі	Розчинені частки та завислі фрагменти органіки, що не розклалися; цукор; крохмаль
Газовані напої	Цукор; завислі частки та розчин для миття
Молочні продукти	Сироватка (молочний білок, молочний цукор, розчинні солі), жири
М'ясо та домашня птиця	Фекальні маси від ферм та скотних дворів; кров, жир, білки та інші органічні речовини
<b>ВУГІЛЬНА</b>	
вугілля	Сірчана та інші кислоти з дренажних вод шахт; завислі мінеральні частки, видалені при збагаченні та сортуванні вугілля
<b>ЧОРНА МЕТАЛУРГІЯ</b>	
залізо та сталь	Залізомісткі солі, соляна та сірчана кислоти, фенол, вапно, мастила
<b>ШКІРЯНА</b>	
	Розчинні органічні речовини, частки м'яса та шерсті тварин, мильні розчини, рослинні та мінеральні дубильні хімікати, основи та кислоти, фарбники
<b>ПОКРІВНИХ МАТЕРІАЛІВ</b>	
	Плавікова, сірчана та хромово кислоти, сульфат нікелю, ціаніди міді, цинку, кадмію та срібла, масла
<b>ФАРМАЦЕВТИЧНА</b>	
	Вітаміни та інші розчинні та завислі органічні та неорганічні речовини
<b>НАФТОПЕРЕРОБНА</b>	
	Органічні речовини, фенол, розсоли, нафта, сполуки сірки

ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВА	
	Лігносульфонати, деревні цукри, сульфїтна целюлоза, клеї та наповнювачі, барвники, кислоти, відбілювачі, деревні та паперові
ГУМОВА	
натуральна, синтетична та відновлена гума	Органічні речовини, ароматичні сполуки сірки, хлориди, завислі тверді частки
ТЕКСТИЛЬНА	
	Сильні основи, барвники, високий вміст розчинних та завислих органічних речовин

Запаси прїсної води на земній кулі обмежені. Вони становлять лише 3%, з них 2% - в полярних льодовиках, і тільки 1% знаходиться в рїдкому стані, придатному для використання.

Україна належить до регіонів, не забезпечених у достатній кількості прїсною водою за існуючих антропогенних навантажень. Запаси місцевих водних ресурсів на одного жителя України в середньому майже в 30 разів менші, ніж у Росії.

Так, якщо в середньому у країнах СНД на душу населення припадає 19,6 тис. м<sup>3</sup> на рік, у Росії - 30,6, то в Україні - 1,2 тис. м.

Україні недостатньо забезпечені водою південні та східні області, які особливо потребують води і через розвинену промисловість, і через значну концентрацію міст. Це Донецька, Запорізька, Дніпропетровська, Миколаївська, Одеська, Херсонська області, де на душу населення припадає води в 15-20 разів менше, ніж в інших областях. У засушливі роки ці показники ще нижчі.

Промислове використання водних ресурсів разом із комунальним перевищує 40%.

Інтенсивність використання водних ресурсів набагато перевищує процес їх відновлення в біосфері. Щорічно водозабір становить 3500 км<sup>3</sup>, а скид неочищених промислових стоків - 160 км<sup>3</sup>; це призводить до забруднення понад 12%, а в промислово розвинених країнах - до 25% річного стоку.

В Україні забір води в 90-х роках становив 34 км<sup>3</sup>, а скид - 20,6 км<sup>3</sup>. Якщо така тенденція виявлятиметься і надалі, виникнуть великі проблеми забезпечення прїсною водою багатьох населених пунктів.

До особливо водомістких галузей промисловості належать металургійний і паливно-енергетичний комплекси, хїмічна, нафтохїмічна і целюлозно-паперова галузі промисловості. Так, на виготовлення 1 т паперу витрачається до 1000 м<sup>3</sup> води, 1 т сталі - 300, 1 т синтетичного каучуку - 2800, 1 т нікелю - 4000 м<sup>3</sup>.

Сучасна теплова електростанція потужністю 1 млн. кВт/год. потребує протягом року 1,5 км<sup>3</sup> води, атомна - 3 км<sup>3</sup>. Масштаби ці дуже великі, адже виробництво електроенергії подвоюється кожні 10-15 років. Одним із найпоширеніших засобів зменшення забруднення промислових стоків є очисні споруди. Але нині їхня вартість становить 70-100% та більше від загальних капіталовкладень у промисловий об'єкт. Та й за наявності очисних споруд домогтися повного очищення неможливо. Навіть максимально ефективні споруди на промислових об'єктах знешкоджують лише 10-15% токсичних речовин. При



цьому в промислових стоках залишаються вуглеводневі сполуки - хлорбензол, ізопрен, циклогексан, що їх досі не навчилися знешкоджувати.

Підвищення ступеня очищення стоків з 85 до 95% збільшує затрати у 2 рази, а понад 95% - у 10 разів на кожний відсоток підвищення ефективності очисних споруд.

Сільське господарство є найбільшим водокористувачем - від 60 до 85% сумарного водозабору, однак 3/4 його витрачається безповоротно.

З інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва, а надто з такими її напрямками, як хімізація і меліорація, велика кількість добрив і пестицидів надходить до річок, озер, потрапляє в підземні води. Винос пестицидів із зрошуваних полів становить до 4% від внесеної кількості.

Особливо проблематичним є забруднення природних вод біогенними речовинами, зокрема азотними. У світі щорічно в навколишнє середовище надходить понад 50 млн. т нітратів.

В Україні щороку в річки та водойми змивається в середньому 120 млн. т ґрунту, а це 240 тис. т азоту, 120 тис. т фосфору, 2,4 млн. т калію.

В Україні функціонує понад 45 тис. ферм і комплексів тваринництва. Річковий об'єм становить 300 млн. м<sup>3</sup> і вміщує до 1,5 млн. т азоту; понад 10% його надходить до природних водойм, просочується в підземні горизонти.

Значним водокористувачем виступає комунальне господарство. Комунальні стоки великих міст - небезпечне джерело забруднення водойм побутовою хімією, мийними засобами; крім того, як окрему проблему виділяють бактеріологічне забруднення, яке пов'язують зі стоками міських каналізаційних систем.

Одна з найпоширеніших проблем раціонального використання водних ресурсів країни - проблема малих річок. В Україні їх 22,5 тис, в їхніх басейнах формується понад 60% водних ресурсів, їхня протяжність - 100 тис. км. До найважливіших проблем малих річок України належать:

Замулення внаслідок розорювання заплав і вирубування лісових смуг. Нині в Україні замулені та потребують розчищення 300 тис. км. Вартість його досить висока: за 1 км - 130-180 тис. грн. Роботи централізовано не фінансуються, проводяться епізодично, в основному за рахунок сільськогосподарських підприємств.

Потрапляння до малих річок великої кількості хімічних добрив, оскільки 3,5 тис. складів мінеральних добрив та трутохімікатів не відповідають санітарним нормам і знаходяться просто неба.

Значне забруднення тваринницькими комплексами.

Розташування у басейнах малих річок 180 полів фільтрації цукрових заводів.

Створення на берегах річок звалища для сміття.

Особливо значне забруднення малих річок у промислових районах. (В Україні це Сіверський Донець, де вміст фенолів перевищує допустиму норму в 10 разів, Інгулець - у 45 разів).

В Україні надзвичайно гостро постала проблема раціонального використання водних ресурсів. До основних способів раціонального використання водних ресурсів слід віднести:

У промисловості - впровадження водооборотних систем. Замкнені цикли промислового водокористування дають можливість повністю ліквідувати стоки, а

свіжу воду добирати лише на повернення втрат води. В Україні вже діють 150 таких виробництв.

Впровадження нових радикальних технологій зі зменшеним споживанням води.

Через брак коштів створення системи ліквідації промислових стоків поетапно, насамперед на тих підприємствах, які призводять до найбільшого забруднення. Приміром, створення водооборотних систем на лісокомбінатах Закарпаття вимагало близько 10 млн. грн. Коли розділили каналізацію і дуже забруднену воду, збагачений висококонцентрованими фенолами розчин почали спалювати, зменшивши в такий спосіб забруднення за мінімальних затрат.

У сільському господарстві - дотримання норм зрошення.

### ***Забруднення літосфери***

Ґрунти мають величезне значення не лише тому, що є головним джерелом отримання харчових продуктів. Вони відіграють активну роль в очищенні природних і стічних вод, які крізь них фільтруються. Ґрунтово-рослинний покрив планети є регулятором водного балансу суші, оскільки він поглинає, утримує й перерозподіляє велику кількість атмосферної вологи. Це універсальний біологічний фільтр і нейтралізатор багатьох видів антропогенних забруднень. Тому користуватися ґрунтом, землею слід розумно й бережно. В гонитві за врожаєм ґрунти почали орати дедалі глибше та частіше, вносити в них величезні кількості мінеральних добрив та пестицидів. В результаті на величезних площах степової і посушливої зон ґрунти втратили здатність вбирати й пропускати воду, їхня структура погіршилася, вони перенасичені шкідливими хімічними сполуками. Повсюдно врожайність ґрунтів катастрофічно зменшується. Потрібні термінові заходи для відтворення структури й родючості ґрунтів - нейтралізація, розсолення, збагачення гумусом тощо. Як наголошується в одній з останніх доповідей ООН, подальше існування нашої цивілізації опиняється під загрозою через широкомасштабне знищення родючих земель, що постійно зростає. Нині охорона й раціональне використання земельних ресурсів - одна з найактуальніших проблем.

Значних збитків сільському господарству завдає ерозія ґрунтів. Виникненню цього негативного явища сприяють активне утворення ярів, зумовлене діяльністю людини, вирубування лісів на схилах, знищення трав'яного та чагарникового покриву, неправильне розорювання землі тощо. Спричиняють ерозію й пилові бурі, коли в умовах посухи вітри видувають мільйони тонн ґрунту, оголюючи в одних місцях землю на сантиметри й навіть десятки сантиметрів та перетворюючи її на безплідну пустелю, а в інших - засипаючи поля, сади, луки, дороги та будівлі шаром пилу й піску завтовшки інколи в 2-3 м. Вітрова й водна ерозія повністю знищують ґрунти або значно зменшують вміст у них азоту, фосфору, калію, мікроелементів - усього того, від чого залежить родючість. Активізують ерозію ґрунтів часті оранки, культивації, боронування, ущільнення, трамбування колесами та гусеницями важкої сільськогосподарської техніки.

Основними засобами відновлення ґрунтів на оголених ділянках є насадження лісозахисних смуг, екологічно обґрунтоване зрошення земель, впровадження сівозмін, періодична консервація угідь (коли земля "відпочиває").

Однією з найбільших проблем після ерозії ґрунтів є їх засолення, основна причина якого - неправильне зрошення. Протягом останніх десятиліть тисячі гектарів посушливих земель у степових районах і напівпустелях, де проводилося

інтенсивне зрошення й спочатку значно підвищувалася врожайність, згодом ставали непридатними для використання через "білу отруту", як називають місцеві жителі сіль, якою забиваються всі пори ґрунту та його поверхня в результаті випаровування зрошувальних вод. Раніше, до масового зрошення, на великих територіях росли дикі трави, чагарники, а на розумно зрошуваних землях постійно була висока врожайність полів і садів. А тепер через перезволоженість, надлишок води в ґрунтах і їх засоленість гинуть дерева, поля, сади, виноградники, плантації бавовнику. В сусідніх із полями селищах вода заливає льохи, стан питної води значно погіршився, особливо навколо каналів, що спостерігається і в Середній Азії вздовж Каракумського каналу, і у нас на півдні України.

Збільшення антропогенних навантажень на земельні ресурси нашої планети, зумовлене зростанням населення та НТП, призвело до того, що площа земельних ресурсів, яка припадає на душу населення, скорочується щорічно на 2%, а площа сільськогосподарських угідь - на 6-7%. Якщо 15 років тому на душу населення Землі припадало 0,5 га, нині - 0,35 га.

Хибне уявлення про невичерпність сільськогосподарських угідь зумовлює вилучення значних площ із сільськогосподарського виробництва. Так, площа, освоєвана під забудівлю міст, поселень і промислових підприємств, подвоюється в країнах СНД кожні 15 років, 2000 водосховищ затопили 10 млн. га. Загальна площа земельних ресурсів, де ґрунтовий покрив зруйновано, досягає 2 млрд. га.

В Україні лише за період з 1986 р. до 1996 р. площа орних земель скоротилася на 24, 8 тис. га.

Земельний фонд України становить 60 355 тис. га. Переважання родючих земель, висока густота населення та особливості розвитку сільського господарства, що склались історично, обумовили високий рівень освоєності земельного фонду. Так, питома вага сільськогосподарських угідь становить 70,3%, а орних земель - 56,9%; це відповідно у 2,6 і 5,6 рази вище, ніж у середньому по СНД.

Розміщення і структура сільськогосподарських угідь на території України визначаються природнокліматичними та економічними умовами виробництва. Так, питома вага сільськогосподарських угідь в областях Полісся - 35%, тоді як на півдні Степу - 74%. В останні роки у структурах сільськогосподарських угідь зменшилася частка орних земель завдяки створенню багаторічних насаджень, пасовищ, перелогів і сіножатей.

Надмірна розораність території та величезний вплив діяльності людини призвели до порушення природного процесу ґрунтоутворення, до ерозійних процесів. За рахунок сільськогосподарських угідь зростає площа земель, що відводяться під об'єкти промислового, міського водогосподарського і гідротехнічного будівництва. Особливо низький рівень землезабезпечення спостерігається в Донецькій, Закарпатській, Івано-Франківській областях, де на душу населення припадає сільськогосподарських угідь удвічі менше, ніж у середньому в Україні.

Нині 4% території України вкрито водою, в тому числі 2,1% - штучними водоймами.

У ХХ ст. антропогенне навантаження на земельні ресурси різко зросло. Було збільшено посівні площі, парк сільськогосподарських машин, внесення мінеральних добрив, а врожайність зернових збільшилась тільки у 2,5 рази. Головна причина - те, що інтенсивні технології сільського господарства негативно

вплинули на функціонування екосистем, порушили природний кругообіг речовин та енергії в них.

*Лісові ресурси.* Екологічна користь лісу в десятки разів перевищує користь від застосування деревини з господарською метою. У біосфері ліс виконує унікальні функції: він поглинає CO<sub>2</sub>, поставляючи понад 50% кисню. Лісові ресурси сприяють збільшенню запасів підземних вод, зберігаючи вологу атмосферних опадів; завдяки лісові поверхневі води отримують рівномірне живлення підземними водами. Зменшуючи поверхневий стік, ліси уповільнюють водну і вітрову ерозію ґрунтів. Так, спостереження в лісостепу показали, що шар ґрунту завтовшки 18 см змивається на орних землях за 70 років, на луках, де різнотрав'я, - за 3 тис. років, а під лісом зберігається тисячоліття. Крім того, в лісових районах практично не відбувається замулювання річок, ставків, водосховищ.

Ліс впливає як на мікроклімат (особливо міст), так і на клімат усєї планети. Вплив на глобальні кліматичні процеси тропічних лісів можна порівняти хіба що з океаном. їх вирубування (300 млн. га, а за останні 30 років - 180 млн. га) призвело до виникнення пустель на величезних територіях.

В загальному на початку ХХІ ст. світове господарство споживає від 2,3 до 2,5 млрд. м<sup>3</sup> деревини. Україна належить до лісодефіцитних держав. Залісеність її території - 14,2%. У степових областях вона становить 24%, в Закарпатській області - 49,7, в Івано-Франківській - 39,6, у Львівській - 25,5, у Чернігівській - 28,8, у Рівненській - 36,1, у Житомирській - 49,7, у Волинській - 29,2%. Промислове використання лісових ресурсів створює низку проблем. Через застарілі технології вихід готової продукції залишається низьким. Так, проти США у нас вихід паперу, картону і фанери-у 5-Ю разів менше. На всіх стадіях заготівлі втрачається 40% деревини.

## ***2 Причини виникнення екологічної кризи***

В історичному плані виділяють декілька етапів зміни біосфери людством, які увінчались екологічними кризами та революціями, а саме:

- вплив людства на біосферу як звичайного біологічного виду;
- надінтенсивне полювання без змін екосистем у період становлення людства;
- зміни екосистем внаслідок процесів, що відбуваються природнім шляхом: випасання, посилення росту трав шляхом випалювання тощо;
- інтенсифікація впливу на природу шляхом розорювання ґрунтів та вирубування лісів;
- глобальні зміни всіх екологічних компонентів біосфери в цілому.

Вплив людини на біосферу зводиться до чотирьох головних форм:

1) зміна структури земної поверхні (розорювання степів, вирубування лісів, меліорація, створення штучних водойм та інші зміни режиму поверхневих вод тощо),

2) зміна складу біосфери, кругообігу і балансу тих речовин, які її складають (добування корисних копалин, створення відвалів, викиди різних речовин у атмосферу та водойми),

3) зміна енергетичного, зокрема теплового, балансу окремих регіонів земної кулі і усєї планети,

4) зміни, які вносяться у біоту (сукупність живих організмів) внаслідок знищення деяких видів, руйнування їх природних місць існування, створення нових порід тварин та сортів рослин, переміщення їх на нові місця існування тощо.

Під забрудненням навколишнього середовища розуміють надходження в біосферу будь-яких твердих, рідких і газоподібних речовин або видів енергії (теплоти, звуку, радіоактивності і т.п.) у кількостях, що шкідливо впливають на людину, тварин і рослини як безпосередньо, так і непрямим шляхом.

Безпосередньо об'єктами забруднення (акцепторами забруднених речовин) є основні компоненти екотопу (місце існування біотичного угруповання):

- атмосфера,
- вода,
- ґрунт.

Опосередкованими об'єктами забруднення (жертвами забруднення) є складові біогеоценозу:

- рослини,
- тварини,
- гриби,
- мікроорганізми.

Втручання людини в природні процеси в біосфері, котре викликає небажані для екосистем антропогенні зміни, можна згрупувати за наступними видами забруднень:

- інгредієнтне забруднення — забруднення сукупністю речовин, кількісно або якісно ворожих природним біогеоценозам (інгредієнт - складова частина складної сполуки або суміші);

- параметричне забруднення пов'язане зі зміною якісних параметрів навколишнього середовища (параметр навколишнього середовища одна з його властивостей, наприклад, рівень шуму, радіації, освітленості);

- біоценотичне забруднення полягає у впливі на склад та структуру популяції живих організмів;

- стаціонально-деструкційне забруднення (стація — місце існування популяції, деструкція руйнування) викликає зміну ландшафтів та екологічних систем в процесі природокористування.

За даними Міністерства природних ресурсів і екології, у нашій країні щороку утворюється майже 2 млрд т різних відходів, 2/3 з яких розкривні, шахтні та інші гірські породи. Тільки переробка сільськогосподарської сировини дає щороку 450 млн т відходів. Зростання населення і масштабів виробництва спричинило виникнення регіональних екологічних проблем. Головними причинами екологічної напруги стали: широкомасштабна розробка надр і видобуток мінеральної сировини (Кривий Ріг, Донбас, Львівсько-Волинський басейн, Прикарпаття); спорудження каскаду водосховищ на Дніпрі, що призвело до замулення його природної екосистеми; катастрофа на Чорнобильській АЕС. необмежене нарощування в минулі десятиріччя потужностей атомної енергетики; необґрунтоване осушення заболочених і перезволожених територій на Поліссі; надмірна концентрація виробництва у містах, особливо великих; відставання темпів лісовідновлення від вирубки лісів на Поліссі і в Карпатах; масове проведення зрошувальних меліорацій у Причорномор'ї, що призвело до процесів засолення, зменшення родючості ґрунтів і виснаження водних ресурсів.

Однією з найважливіших нині є проблема охорони повітряного басейну, основними забруднювачами якого є транспорт, енергетичні й хімічні підприємства. Почастішали випадки викидів в атмосферу оксиду вуглецю, вуглекислого газу, діоксиду сірки, пилу, різних оксидів та радіонуклідів. Особливо гостро стоїть питання охорони атмосфери в промислових районах, центрах металургійної й хімічної промисловості.

Винятково важливою є охорона водних ресурсів. Джерелами забруднення внутрішніх вод неочищеними стоками є передусім промислові та комунальні підприємства, сільське господарство. Особливо забруднюються водойми мінеральними добривами й пестицидами. Збільшення споживання води зумовлює її дефіцит. У зв'язку з цим проблема забезпечення населення чистою прісною водою є однією з найгостріших. До найважливіших природоохоронних об'єктів належать Дунай, Тиса, Дніпро, Дністер, Південний Буг, Чорне й Азовське моря.

Складовою проблеми охорони навколишнього середовища є охорона земельних ресурсів. Для розвитку сільськогосподарського виробництва винятково велике значення має раціональне використання землі, відновлення її родючості, максимальне зменшення вилучення сільськогосподарських угідь для промислового, житлового й транспортного будівництва. Особливу роль у стабілізації земельного фонду сільськогосподарства відіграє рекультивация відпрацьованих кар'єрів і золівдвалів.

Першочерговою є охорона рослинного світу, особливо лісів. Значення лісу для життя і діяльності людини важко переоцінити, тому найважливішим завданням є регулювання лісокористування, підтримання продуктивності лісів. З цією метою здійснюються заходи лісовідновлення. Для збереження видів унікальної природи створюються національні парки (Карпатський, Шацький та ін.).

Проблема охорони тваринного світу зумовлена зниженням запасів цінних видів риби, хутрових звірів, диких тварин, які не завдають шкоди людині. В зв'язку з цим на відповідні органи покладено обов'язки контролю і регулювання правил мисливства та рибальства. Ухвалено відповідні рішення законодавчих органів.

Зростання масштабів видобутку мінеральних ресурсів висуває проблему охорони надр. Слід передбачити раціональне використання надр і зменшення втрат корисних компонентів при видобутку і переробці. Для цього потрібно впроваджувати комплексне використання мінеральної сировини, широко застосовувати сучасні ефективні технології видобутку і переробки бідних руд, утилізацію відходів.

Загострення цих проблем робить необхідним розв'язання проблеми дальшого співіснування людини й природи на основі раціонального використання природних ресурсів. Під раціональним природокористуванням розуміють таку його форму, коли воно дозволяє передбачити результатні наслідки функціонування системи «людинаприрода». Його рівень визначається ефективністю використання природних ресурсів і станом навколишнього середовища. Воно вимагає якнайміцнішого зв'язку між НТП і реалізацією заходів, спрямованих на мінімізацію негативного антропогенного впливу на навколишнє середовище і природоохоронної активізації виробничої діяльності.

Основними джерелами забруднення природних вод є:

- Атмосферні води, які несуть значні кількості поллютантів (забруднювачів), що вимиваються з повітря і мають переважно промислове походження. При стіканні по схилах, атмосферні та талі води додатково захоплюють з собою значну кількість речовин. Особливо небезпечні стоки з міських вулиць та промислових майданчиків, які несуть значну кількість нафтопродуктів, сміття фенолів, різних кислот.

- Міські стічні води, що включають переважно побутові стоки, які містять фекалії, детергенти (поверхневоактивні речовини), мікроорганізми, у тому числі патогенні.

- Промислові стічні води, що утворюються у самих різноманітних галузях виробництва, серед яких найбільш активно споживає воду чорна металургія, хімічна, лісохімічна, нафтопереробна промисловості. При технологічних процесах утворюються такі основні види стічних вод, а саме:

- реакційні води, що утворюються у процесі реакцій з виділенням води, забруднені як вихідними речовинами, так і продуктами реакцій,

- води, що містяться у сировині та вихідних продуктах (вільна або зв'язана вода),

- промивні води після миття сировини, продуктів, тари, обладнання, маточні водні розчини,

- водні екстрагени та адсорбенти,

- охолоджені води, що не контактують з технологічними продуктами, а використовуються у системах зворотного водопостачання,

- побутові води води їдалень, душових, туалетів, пралень тощо,

- атмосферні опади, що стікають з території промислових підприємств.

За останні декілька десятків років ґрунтові води стали одним із найважливіших ресурсів. Вони є джерелом значної кількості питної води, яка використовується у побуті, а також іде на зрошення. Звичайно, ґрунтові води раніше володіли достатньо високими якістьми і без очищення задовольняли вимоги до питної води, але випадки забруднення високоякісних ґрунтових вод отруйними речовинами стають все більш частими. Ґрунтові води вимивають із ґрунтів значну кількість забруднювачів, які ґрунт не може затримати.

### ***3 Наслідки екологічної кризи в Україні***

Дефіцит води. Дефіцит води в Україні нині становить близько 4 млрд. м<sup>3</sup>. практично всі поверхневі, ґрунтові й частково підземні води забруднені промисловими, побутовими, сільськогосподарськими стоками й за якістю не відповідають чинним санітарним нормам.

Гострий дефіцит якісної води відчувається вже не тільки в містах Криму, Донбасу, Львові, Харкові, а й у Києві, Житомирі, Вінниці, Херсоні, Нікополі, Запоріжжі та інших містах. Якість питних підземних вод також постійно знижується. Найбруднішими річками в Україні вважають Либідь, що протікає через Київ, Полтву (Львівська область).

У Либіді, в басейні якої розташовано близько 300 підприємств (100 з них складають неочищені стоки), концентрація забруднювальних речовин перевищує всі допустимі рівні в 50-100 разів.

Серед великих річок України до найзабрудненіших належать Сіверський Донець та Дністер, в які щороку скидається близько 200 млн. м<sup>3</sup> над забруднених

стоків. Більш як 800 сіл України втратили власні джерела питної, і тепер вода або завозиться, або подається здалеку трубопроводами. Особливо нагальна ця проблема для Донбасу, Дніпропетровщини, Півдня України, Криму.

#### Виснаження земельних ресурсів

Україна щороку втрачає близько 100 тис. га родючих ґрунтів.

Кількість гумусу в ґрунтах щорічно знижується на 18 млн. тонн. Ріллі в Україні займають більш як 90% площі степів і лісостепів, але вони вже надто виснажені, забруднені мінералами та пестицидами. Через надмірну експлуатацію та забруднення виведено з обороту майже 60% наших чорноземів.

Землеробству загрожує і ерозія ґрунтів: площинна і яружна. Сьогодні ерозія значно посилюється через антропогенний фактор – повздовжня оранка схилів, застосування важкої колісної техніки. Понад 4 млн. га орних земель зазнає вітрової ерозії. Через пере хімізацію сільського господарства, що призвела до нагромадження в ґрунтах України, продуктах харчування й води хімічних речовин, шкідливих для здоров'я людей і біоти, зменшується й реакційні ресурси: зони відпочинку та курорти почали втрачати свої оздоровчі властивості.

#### Активізація екзогенних геологічних процесів

Останнім часом в Україні активізувались екзогенні геологічні процеси зсуви, селі, змиви, ерозія поверхні, карстоутворення, яругоутворення, засолення ґрунтів, суфозія тощо.

На 60% України почали розвиватися процеси карстоутворення, в тому числі в половині випадків проявився відкритий карст (провалля, вирви), особливо в Криму, на Поділлі, де поблизу поверхні залягають вапняки. На 5% освоєних площ схилів розвиваються зсуви (Крим, Закарпаття, Прикарпаття, Одеська, Харківська області).

У зонах активної діяльності людини зафіксовано вже біля 14 тис. ділянок зсувів і 3 тис. Карстово-суфозійних об'єктів.

На Поліссі спостерігаються процеси підтоплення, а на Півдні України на 10-11% площ сільськогосподарських угідь – засолювання внаслідок неправильного зрошування.

#### Зниження біорізноманітності й біопродуктивності

Загальні збитки через недобір біомаси внаслідок скорочення сільгоспугідь, зниження врожайності, вирубування лісів та їх загибелі від кислотних дощів, пожеж, радіації були дуже великими. Зникають окремі види тваринного та рослинного світу. В результаті надмірного забруднення водойм запаси риби в більшості річок України істотно скоротилися. Значно зменшилось поголів'я рогатої худоби, практично зникло конярство.



## **Лекція №7**

**Тема:** Вирішення проблем забруднення навколишнього середовища.

**Мета:** ознайомитися зі шляхами вирішення проблем забруднення навколишнього середовища в Україні.

**Методи:** словесні, наочні.

### **План:**

**1** Збори за забруднення навколишнього середовища.

**2** Вирішення проблем забруднення водойм.

**3** Міжнародне співробітництво в області ядерної безпеки.

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:**  
конспект, підручник.

### **Література:**

**1** Основы энергосбережения: учебник / Н. И. Данилов, Я. М. Щелков; под ред. Н. И. Данилова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006 – 564 с.

**2** Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергосбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

## ***1 Збори за забруднення навколишнього середовища***

Важливим напрямком узгодження економічних та екологічних інтересів підприємств, концентрації коштів для вирішення регіональних проблем є запровадження збору за забруднення навколишнього середовища у вигляді обов'язкових (фіксованих) і штрафних зборів. Перші з них мають здійснюватися в межах встановлених для конкретних підприємств нормативів щодо викидів (скидів) забруднюючих речовин і розміщення відходів, а другі — стягуватися за аварійне, наднормативне забруднення довкілля.

Ці збори розглядаються в екологічному праві як один із економічних стимулів до того, щоб підприємства-природокористувачі, діяльність яких пов'язана з впливом на навколишнє середовище, самі здійснювали заходи щодо зменшення забруднення довкілля згідно з вимогами законодавства.

Збір за забруднення навколишнього природного середовища поділяється на такі види:

- збір за викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин стаціонарними і пересувними джерелами забруднення;
- збір за скиди забруднюючих речовин безпосередньо у водні об'єкти;
- збір за утворення і розміщення відходів.

Збір за забруднення навколишнього природного середовища встановлюється на підставі **фактичних обсягів викидів, лімітів скидів забруднюючих речовин у навколишнє природне середовище і лімітів розміщення відходів.**

Під лімітами викидів (скидів) забруднюючих речовин розуміють фіксовані обсяги забруднюючих речовин, дозволених до викиду (скиду) юридичними і фізичними особами у навколишнє середовище.

Під **розміщенням відходів** чинне законодавство розуміє зберігання та захоронення відходів у спеціально відведених для цього місцях чи на об'єктах. Закон «Про охорону навколишнього природного середовища» при встановленні збору за забруднення навколишнього природного середовища передбачав тільки збір за розміщення відходів. З прийняттям Закону України «Про відходи» правове регулювання відносин у сфері діяльності, пов'язаної із утворенням відходів, їх зберіганням, обробленням, утилізацією та видаленням, знешкодженням та захороненням, значно розширилося. Ліміти на утворення та розміщення відходів визначаються для підприємств як фізичний обсяг відходів за класами їх токсичності згідно з дозволами на розміщення, що видаються в установленому Кабінетом Міністрів України порядку.

Порядок розроблення, затвердження і перегляду лімітів на утворення та розміщення відходів регулює ліміт на утворення відходів і ліміт на розміщення відходів. **Ліміт на утворення** відходів являє собою максимальний обсяг відходів, на який у власника відходів є документально підтверджений дозвіл на передачу їх іншому власнику (на розміщення, утилізацію, знешкодження тощо) або на утилізацію чи розміщення на своїй території. **Ліміт на розміщення** відходів — обсяг відходів (окремо для кожного класу небезпеки), на який у власника відходів є дозвіл на їх розміщення, виданий органами Мінприроди на місцях.

Ліміти скидів забруднюючих речовин у навколишнє природне середовище, утворення і розміщення відходів промислового, сільськогосподарського, будівельного й іншого виробництва та інші види шкідливого впливу в цілому по

території Автономної Республіки Крим, областей, міст загальнодержавного значення або окремих регіонів встановлюються:

— у випадках, коли це призводить до забруднення природних ресурсів республіканського значення, територій інших областей, — Мінприроди України;

— в інших випадках — у порядку, що встановлюється Верховною Радою Автономної Республіки Крим, обласними, міськими (міст загальнодержавного значення) радами, за поданням органів Мінприроди України.

Ліміти викидів стаціонарними джерелами забруднення (підприємствами) встановлюються терміном на п'ять років і доводяться до платників. Для пересувних джерел забруднення чинне законодавство поки що лімітів забруднення не передбачає.

На законодавчому рівні ще не розроблено нормативно-правових актів щодо встановлення та стягнення збору за скиди промислових та інших стічних вод у системи каналізації, розробка яких є на сьогодні нагальною потребою, особливо для виконання необхідних умов щодо приєднання до Європейського Союзу. Обсяги скидів при проведенні планового ремонту каналізаційних мереж включаються до загального ліміту скидів, нараховуються за погодженням з органами Мінприроди. У разі перевищення погодженого обсягу скидів та порушення умов їх проведення збір справляється як за понадлімітні скиди. При цьому збитки, заподіяні навколишньому природному середовищу, відшкодовуються в установленому законодавством порядку.

Порядок встановлення нормативів збору і стягнення цих зборів визначається Кабінетом Міністрів України. А саме: встановлення нормативів збору та його стягнення за забруднення навколишнього природного середовища більш детально регламентується Порядком встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 1999 р., а також Інструкцією про порядок обчислення та сплати збору за забруднення навколишнього природного середовища, затвердженою Мінекоресурсів України та ДПА України 9 серпня 1999 р.

Нормативи збору за викиди, скиди та розміщення відходів — це фіксовані суми в гривнях за одиницю основних забруднюючих речовин та розміщених відходів, які встановлюються відповідно до виду забруднюючих речовин та класу небезпеки відходів.

*Окремо встановлюються нормативи зборів за:*

— скиди забруднюючих речовин, розміщення відходів, за викиди основних забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення, викиди стаціонарними джерелами забруднення залежно від класу небезпечності та установлених орієнтовно безпечних рівнів впливу;

— викиди в атмосферу забруднюючих речовин автомобільним транспортом, морськими та річковими суднами, залізничним транспортом;

— скиди основних забруднюючих речовин у водні об'єкти, у водні об'єкти залежно від концентрації забруднюючих речовин та нормативи збору за розміщення відходів (сума визначається залежно від ступеня небезпечності відходів).

Залежно від об'єкта розміщення забруднюючих речовин до нормативів плати застосовується коефіцієнт чи ставка нормативу, збільшена в декілька разів.

Так, при скиданні забруднюючих речовин у закриті водоймища (озера, ставки) норматив збору збільшується у 1,5 рази; при захороненні забруднюючих речовин у глибокі підземні водоносні горизонти, що не містять прісних вод, — застосовується коефіцієнт 10. За викиди пересувними джерелами забруднення встановлюється норматив збору залежно від виду пального та виду транспорту.

## ***2 Вирішення проблем забруднення водойм***

В умовах інтенсивного розвитку всіх галузей економіки – промисловості, енергетики, сільського і комунального господарств відбувається значне збільшення водоспоживання, а отже зростає кількість стічних вод. Останні, потрапляючи в поверхневі й підземні джерела вод, забруднюють їх шкідливими токсичними домішками, небезпечними для життя людини, внаслідок чого скорочуються і без того обмежені резерви прісної води. Тому збереження й охорона водних ресурсів від виснаження та забруднення – одна з найважливіших проблем людства. Особливо великого значення останнім часом набула охорона водойм від забруднення стічними водами промислових підприємств, основна частина яких розташована у великих містах. Адже існує ще немало підприємств, особливо в харчовій галузі, які продовжують випускати неочищені або недостатньо очищені стоки. Забруднення водойм вони компенсують штрафами, але виплачені гроші не можуть створити нову якісну прісну воду, тому потрібно замість скидання забруднених вод застосовувати якнайбільш ефективні системи очищення.

Практично вся використана на підприємствах вода містить органічні забруднення (нітрати, сульфати, хромати, аміакати тощо), видалити які в більшості випадків можливо лише з допомогою біохімічного очищення. Але теперішні традиційні системи останнього недостатньо ефективні. Таким чином, в умовах зростаючого об'єму стічних вод при незмінності водних ресурсів особливо гостро постає питання інтенсифікації існуючих способів біохімічного очищення стоків.

Одним з найперспективніших з них є спосіб з використанням мембранних технологій. Його ефективність по зниженню з ХСК складає 80 – 90 %, з БСК – 98,7 – 99,7 %, по амонійному азоту – 98,5 – 99,8 %, що є недосяжним для традиційних споруд біологічного очищення.

Мембранні біологічні реактори набувають все більшої актуальності у зв'язку з необхідністю мінімізації габаритів біологічних очисних споруд для обробки концентрованих стічних вод. Це зумовлено тим, що вони містять велику концентрацію (до 40 г/л) активної біомаси, що забезпечує постійний ефект очищення з ХСК і БСК при високих навантаженнях при зменшенні споживання кисню та об'єму осаду.

Мембранне розділення, в якості елемента технологічного ланцюга, доцільно включати безпосередньо в процес біохімічного очищення стічних вод замість вторинних відстійників. При цьому слід враховувати, що умови і параметри роботи біореактора в мембранних системах суттєво відрізняються від роботи аеротенків з вторинними відстійниками. Мембрани розділяють гідравлічний час перебування рідини в біореакторі та час перебування твердої фази (мікрорганізмів активного мулу і зважених частинок вихідної стічної води). В результаті система стає стійкою до коливань якісних та кількісних характеристик очищуваного стоку, зберігаючи незмінну високу якість очищеної води.

Отже, мембранні біореактори володіють перевагами, які роблять їх альтернативою іншим методам очищення. Перш за все, це затримання всіх зважених речовин і частини розчинених компонентів стічних вод в біореакторі, що виключає стадію гравітаційного розділення мулових сумішей у вторинних відстійниках, забезпечуючи при цьому якість води, яка відповідає найсуворішим вимогам на скид чи для повторного використання. Можливість затримання бактерій та вірусів забезпечує відносну стерильність вихідної води, спрощення остаточної дезинфекції та ліквідацію побочних продуктів знезараження. Розділення часу перебування води з часом перебування твердої фази та роздільне управління віком активного мулу і часом перебування дозволяє корінним чином змінити параметри роботи біологічних реакторів – накопичити в реакторі підвищені концентрації активного мулу, в тому числі і ті види мікроорганізмів, що повільно ростуть (нітрифікатори, мікроорганізми, які окиснюють біорезистентні сполуки тощо), збільшити вік активного мулу при великих гідравлічних навантаженнях на біореактор (за малого часу перебування вихідної води). Затримання зважених речовин вихідної води в біореакторі подовжує їх контакт з мікроорганізмами до тих пір, поки вони повністю не піддадуться біологічній деструкції. В традиційних системах ці речовини вимиваються з біореактору разом з частиною активного мулу. Це підвищує стійкість системи до коливань концентрацій забруднень у вихідній воді завдяки гарній адаптації біоценозів і незалежності від седиментаційних характеристик активного мулу.

Таким чином, при розділенні мулової суміші на мембранах, крім зменшення розмірів площ, які займають біологічні реактори внаслідок підвищення концентрації біомаси в реакторі, відбувається також збільшення її віку та продуктивності установок, забезпечується глибоке очищення стічних вод від біогенних сполук та мінімальний об'єм утворення надлишкового активного мулу. В той же час існують недоліки застосування мембранних біореакторів, одними з яких є їх висока вартість і небезпека засмічення, хоча останній процес вивчений і може бути керованим. Наприклад, якщо змонтувати мембранну установку на дні аеротенку над аератором, то потік пухирців повітря від нього забезпечить постійне очищення робочої поверхні мембран від відкладень, попереджуючи таким чином їх біообростання. Що стосується їх високої вартості, то поява на ринку мікрофільтраційних мембран нового покоління з високою проникністю і низьким опором корінним чином змінило цю ситуацію.

Якщо фільтрування проводиться при швидкостях потоку 3 – 5 м/с, то виникає ще один недолік мембранної технології розділення мулової суміші – зростання питомих енерговитрат під час очищення до 3 – 8 кВтгод/м<sup>3</sup>. Цього можна уникнути, наприклад, застосовуючи конструкцію мембранного модулю, що працює під вакуумом у вигляді пакету вертикально розташованих на відстані 5 – 10 мм один від одного плит розміром 0,4·1,0 м. Це забезпечує зниження питомих витрат електроенергії до 0,15 – 0,4 кВтгод/м.

### ***3 Міжнародне співробітництво в області ядерної безпеки***

Атомна енергія, яка широко застосовується на атомних електростанціях, знайшла своє застосування і на морському транспорті. Найбільший ефект атомні установки дають на потужних арктичних криголамах. Швидке поширення ядерної енергетики на кораблях та судах пояснюється великими перевагами, якими

характерні ядерні силові установки по відношенню до звичайних двигунів. Найважливіші з цих переваг:

- можливість отримувати велику кількість теплової енергії при затраті мізерної кількості ядерного палива;
- генерування теплової енергії без споживання кисню повітря чи будь-якого іншого окисника.

Будівництво ядерних суден ставить на повістку дня питання про забезпечення їхньої технічної безпеки та режим плавання. Правовий режим цих суден та деякі питання експлуатації регламентуються Женевською (1958 р.), Лондонською (1960 та 1974 рр.) і частково Брюссельською (1962 р.) Конвенціями, а також двосторонніми угодами держав.

Поняття ядерного судна сформульовано в деяких міжнародно-правових актах. Пункт "1" Правила 2 розділ 1 Конвенції по охороні людського життя на морі 1974 р. визначає ядерне судно як судно, обладнане ядерною силовою установкою. Таке ж визначення ядерного судна міститься в аналогічній конвенції 1960 р. в п.1, ст. I Брюссельської конвенції про відповідальність операторів ядерних суден від 25 травня 1962 р.

В національному законодавстві ряду країн дані схожі визначення. Югославське законодавство під атомним судном має на увазі таке судно, яке працює на атомній енергії. В законі про ядерну енергію Іспанії від 29 квітня 1964 р. ядерне судно визначається як судно, що працює на ядерному пальному.

В даний час безпеку ядерних суден регламентуються наступні документи: Міжнародні конвенції по охороні людського життя на морі 1960 та 1974 рр. Тимчасові правила проектування, класифікації та будівництва атомних суден, Норвезький Верітас, 1960 р.

Керівництво класифікації атомних суден. Американське бюро судноплавства, 1962 р.

Учасники Міжнародної конференції в Лондоні (представники понад 50 країн) обговорили та зафіксували деякі принципи та норми експлуатації ядерних суден.

В Заключному акті Конференції з питань охорони людського життя на морі 1960 р. записано, що Конференція детально вивчила нові проблеми, які з'явилися в зв'язку з впровадженням ядерних силових установок на торгових судах, і, беручи до уваги небезпеку, властиву ядерним суднам визнала важливість досягнення міжнародної угоди з даного питання. З врахуванням технічного прогресу в цій галузі, який, імовірно, буде мати місце в цій галузі в майбутньому, Конференція включила в текст Конвенції лише незначну кількість правил, які трактують загальні положення та принципи, що стосуються ядерних суден.

Особливості, що відрізняють ядерні судна від звичайних, відбиті в розділі VII Конвенції. При цьому на ядерні судна (вантажні та пасажирські) поширюються всі приписи обох Конвенцій 1960 та 1974 рр., а також ряд спеціальних правил, викликаних особливостями ядерного судна. Ці правила стосуються двох моментів:

- порядку та характеру огляду. Огляд повинен проводитися не рідше, ніж раз на рік;

- свідоцтва про безпеку. Свідоцтва можуть бути двох типів, а саме: "Свідоцтво про безпеку ядерного вантажного судна" та "Свідоцтво про безпеку ядерного пасажирського судна".

Основними джерелами підвищеної небезпеки на ядерному судні є ядерна силова установка та місця зберігання радіоактивних речовин (палива, відходів). Проте небезпечно, неконтрольоване виділення іонізуючого випромінювання може відбутися і у випадку аварії, викликаній виходом з ладу пристроїв, які не мають стосунку до ядерної силової установки (наприклад, рульового керування, навігаційних приладів і т.д.). Дуже небезпечні на ядерному судні пожежі та інші аварії.

Здійснення проектів ядерних установок поставлено під контроль держави. Державний контроль поширюється не лише на державні, але і не приватні ядерні судна. Держава не повинна дозволяти експлуатацію неконтрольованих та технічно недосконалих ядерних установок; у випадку схвалення технічно недосконалих ядерних установок; у випадку схвалення технічно недосконалих проектів ядерних установок держава повинна нести міжнародно-правову відповідальність за завдання шкоди в результаті експлуатації цих установок. Реакторна установка повинна бути сконструйована так, аби вона запобігала неконтрольованій ланцюговій реакції при всіх експлуатаційних та аварійних умовах, в тому випадку і у випадку затоплення судна.

Поряд з іншими заходами Рекомендації Конвенції вказують на необхідність передбачити пристрої, які передбачають при пожежі всередині чи ззовні реакторної установки захист цілісності загороджень, систем чи пристроїв, передбачених для безпеки вимкнення реакторної установки та збереження її в безпечному стані, можливість у випадку аварії видалення реактора.

Небезпека можливого радіоактивного забруднення водних шляхів, харчових та водних ресурсів послужила для ряду держав підставою для заборони заходу атомних суден в їхні порти. В зв'язку з цим Конвенцією передбачається обов'язок адміністрації, яка відповідає за експлуатацію судна, вжити найсуворіших заходів проти радіаційної чи іншої небезпеки, яка загрожує екіпажу, пасажиром та населенню, водним шляхом, продовольчим чи водним ресурсам" (Правило в розділі VIII Конвенції 1974 р.).

Відходи, які утворюються в результаті роботи ядерної установки, можуть бути в твердому, рідкому чи газоподібному стані і містити радіоактивні речовини. Особи чи органи, які відповідають за експлуатація судна, зобов'язані вжити необхідних заходів для захисту навколишнього середовища від їхньої шкідливої дії.

Сучасне міжнародне право забороняє небезпечно забруднення моря радіоактивними відходами. Міжнародна конвенція з питань охорони людського життя на морі (1974 р.) вважає неодмінною умовою експлуатації ядерного судна "відсутність надмірної радіаційної чи іншої ядерної небезпеки, яка загрожує пасажиром екіпажу, населенню, водним шляхам, продовольчим чи водним ресурсам".

12 листопада 1965 р. у Франції прийнятий закон №65-956 про цивільну відповідальність операторів ядерних суден. Таким чином, мова йде перш за все про цивільно-правову відповідальність оператора ядерного судна. До ядерного судна застосовуються всі норми, які стосуються суден із звичайними двигунами. Крім того, використання ядерних суден регламентується також рядом міжнародних положень та норм, які стосуються лише цієї категорії суден. Іспанським законом про атомну енергію 1964 р. регулюються правові питання допуску іноземних

ядерних суден в територіальні та внутрішні морські води Іспанії (розділ XI). В ст. 70 закону встановлено, що прохід ядерних суден через іспанські територіальні води повинен бути винятково “мирним проходом”. Для допуску ядерного судна в іспанські води необхідно виконати ряд умов. Уряд країни, під прапором якої плаває судно, повинен здійснити такі дії:

- направити іспанським властям повідомлення про безпеку ядерної енергетичної установки судна;
- здійснювати надійний захист від іонізуючої радіації осіб на борту чи поблизу судна під час його стоянки чи проходу через іспанські територіальні води;
- іспанські власті можуть відмовити в заході до гаваней ядерних суден, якщо заходи, вжиті власниками цих суден, є недостатніми.

В законі про прибережні води Югославії говориться, що іноземне атомне торгове судно, яке направляється в югославські порти, відкриті для заходу іноземних суден, зобов’язане надати державному секретарю у справах транспорту і зв’язку юридично заповнену копію документів для визначення того, чи не може це судно становити загрозу. Державний секретар у справах транспорту та зв’язку надає такому судні дозвіл на перебування в югославських портах, якщо встановлює, що воно не становить небезпеки.

Завдяки потужним зусиллям прогресивних сил людства вдалося також просунути в рамках обмеження гонки озброєнь: заборонено випробування ядерної зброї в атмосфері, в космічному просторі та під водою, діє Договір про непоширення ядерної зброї, держави відмовились від розміщення зброї масового знищення на навколосезних орбітах та небесних тілах, заборонено і ліквідовано бактеріологічному (біологічну) та токсичну зброю.



## **Лекція №8**

**Тема:** Багаторівнева структура сучасного електропривода.

**Мета:** ознайомитися з рівнями структури сучасного електроприводу та з енергозбереженням в ньому.

**Методи:** словесні, наочні.

### **План:**

**1** Загальні питання сучасного електропривода.

**2** Рівні структури електропривода.

**3** Енергозбереження в електроприводі.

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:**  
конспект, підручник.

### **Література:**

**1** Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

## 1 Загальні питання сучасного електропривода

Електропривод- це електромеханічний пристрій, що здійсню\* кероване перетворення електричної енергії в механічну, а також зворотне перетворення і призначений для надавання руху робочим машинам та механізмам. Електропривод є тою ланкою, що зв'язує енергосистему з технологічними установками. У деякій мірі електропривод виконує роль регулятора цих зв'язків.

Сучасний автоматизований електропривод є складною функціонально-взаємозалежною за елементами системою, яка являє собою конструктивну єдність електромеханічного перетворювача енергії (двигуна) і електричного перетворювача, що утворюють енергетичний (силовий) канал, а також пристроїв керування перетвореною енергією й Інформаційно-вимірювальних, що складають керуючий канал. Електропривод забезпечує перетворення електричної енергії в механічну відповідно до алгоритму роботи технологічної установки.

Відмінною рисою сучасного регульованого привода змінного струму є наявність таких основних елементів (рис. 8.1):

- простого і надійного асинхронного чи синхронного двигуна, мінімізованого за масогабаритними, вартісними і енергетичними показниками;
- перетворювача частоти з ланкою постійного струму з інвертором на повністю керованих приладах і некерованим випрямлячем;
- датчиків енергетичних, механічних і технологічних параметрів регулювання, що забезпечують необхідну точність стабілізації координат у замкнутій системі;
- мікропроцесорної системи керування з функціями безпосереднього регулювання вихідних координат, формування законів широти імпульсного керування (ШІМ), діагностики, прогнозування, взаємодії з іншими локальними приводами.

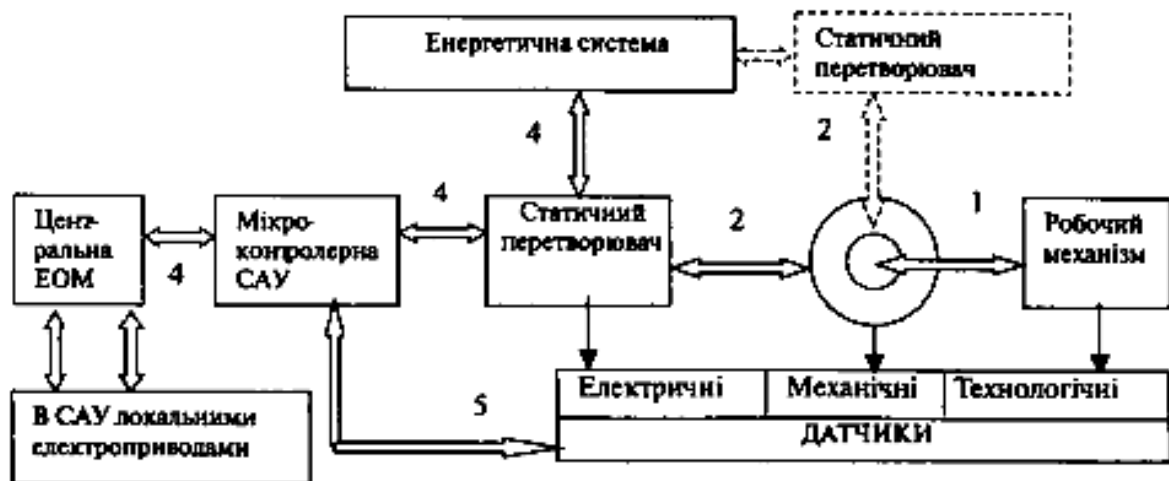


Рисунок 8.1 – Основні елементи сучасного електропривода

Завдання об'єднання в єдину систему різних за природою функціонально-закінчених елементів електропривода покладається на багаторівневі сполучні пристрої. Це сукупність конструктивних, схематичних і програмних засобів, що забезпечують безпосередню оптимальну взаємодію складених елементів привода з метою максимальної реалізації можливостей кожного з цих елементів.

## **2 Рівні структури електропривода**

Сполучний пристрій першого рівня характеризується механіко-енергетичною взаємодією двигуна і робочого механізму і є механічним, гідравлічним чи електромагнітним передавачем енергії від електричної машини на виконавчий механізм. Його функції зводяться до узгодження руху двигуна і виконавчого органу механізму при максимальному ККД передачі й усталеній роботі у всіх режимах. Швидкодія механічної частини привода характеризується електромеханічною сталою часу  $T_{и}$ , що має порядок від десятих часток секунди до кількох секунд.

Другий і третій рівні — електроенергетичні. Для одержання двигуном електроенергії ч необхідними параметрами амплітуди і

частоти напруги в кожній фазі, а також для керування і регулювання параметрів потоку енергії служить статичний перетворювач. Оскільки двигун - безперервний нелінійний елемент, а перетворювач — нелінійний дискретний елемент, то виникає необхідність в узгодженні їх роботи. Для одержання максимального ККД і найменшого коефіцієнта спотворення необхідно живити двигун квазісинусоїдальними струмом і напругою. На цих рівнях розв'язується завдання поліпшення енергетичних і динамічних характеристик при вода. Швидкодія електроенергетичних рівнів характеризується електромагнітними сталими часу  $T_{с}$ , що мають порядок сотих і десятих часток секунди.

Четвертий рівень — інтерфейси локального керування і регулювання параметрів енергетичного каналу привода. Від організації даного інтерфейсу залежать функціональні і сервісні можливості привода, точність і швидкодія. Інтерфейс реалізований у вигляді портів, таймерів, цифроаналогових перетворювачів і підсилювачів формування сигналів керування силовими транзисторами або тиристорами.

П'ятий рівень — пристрої інформаційно-вимірювальної системи привода. Вимірюваними є фізичні величини:

- електричні (струм, напруга, ЕРС тощо)
- механічні (момент, швидкість, переміщення тощо)
- технологічні (тиск, температура тощо)

Пристрої п'ятого рівня здійснюють перетворення сигналів з первинних датчиків, гальванічну розв'язку, підсилення, інтегрування й аналого-цифрове чи імпульси о-цифрове перетворення сигналів для подання їх у форматі мікроконтролерної системи керування. Швидкодія такого рівня визначає точність І швидкодію четвертого рівня і забезпечується вибором принципів перетворення сигналів, характером обміну в цифровій системі і конкретній апаратній реалізації.

Мікроконтролерна САУ містить енергетичну модель електромеханічного пристрою, що враховує чотири складових: мережі, перетворювальний пристрій, двигун і технологічний механізм у площинах споживання енергії, її використання і енергоуправління.

Шостий рівень — інтерфейс міжприводного обміну, реалізує координацію роботи локальних електроприводів між собою і зв'язок з центральною ЕОМ вишого рівня ієрархії. Обмін, як правило, здійснюється в цифровому коді з високою швидкістю за наявності великої оперативної пам'яті для статистичної обробки Інформації, з контролем поточного стану кожного привода і можливістю інтерактивного режиму зв'язку з оператором.

Останні роки ознаменувалися значними успіхами силової електроніки — було освоєно промислове виробництво біполярних транзисторів з ізольованим затвором ІОВТ, тиристорів, що запираються СТО, тиристорів, що комутуються з інтегрованим керуванням ЮСТ, а також силових інтелектуальних модулів ІРМ з вбудованими засобами захисту ключів та інтерфейсами для безпосереднього підключення до мікропроцесорних систем керування. Зростання ступеня інтеграції в мікропроцесорній техніці і перехід від мікропроцесорів до мікроконтролерів з вбудованим набором спеціалізованих периферійних пристроїв зробили необоротною тенденцію масової заміни аналогових систем керування приводами на системи прямого цифрового керування.

Під прямим цифровим керуванням розуміється не тільки безпосереднє керування від мікроконтролера кожним ключем силового перетворювача, але і забезпечення можливості прямого введення в мікроконтролер сигналів різних зворотних зв'язків (незалежно від типу сигналу: аналоговий чи цифровий) з подальшою програмно—апаратною обробкою всередині мікроконтролера. Таким чином, система прямого цифрового керування орієнтована на відмову від значного числа додаткових інтерфейсних пристроїв і створення одноплатних контролерів керування приводами. В решті решт вбудована система керування проектується як однокристална і разом із силовим перетворювачем та виконавчим двигуном конструктивно інтегрується в одне ціле - мехатронний модуль руху.

Електроприводи, керовані по розвинутих алгоритмах за допомогою мікроконтролерів, мають ряд переваг:

- збільшення енергетичної ефективності системи - регулювання швидкості знижує втрати потужності;

- удосконалення функціонування — цифрове керування може додати такі властивості, як інтелектуальні замкнуті контури, зміна частотних властивостей, діапазону контрольованих несправностей і здатність до взаємодії з іншими системами;

- спрощення електромеханічного перетворювача енергії -регульовані приводи дозволяють усунути необхідність у трансмісіях, коробках передач, редукторах;

- простота відновлення програмного забезпечення - системи на базі мікроконтролерів із флеш-пам'яттю можуть швидко змінювати за необхідності свій алгоритм і регульовані змінні.

З виконанням приводів регульованими складність системи часто збільшується. Основною умовою їх використання є збереження загальної вартості системи в обґрунтованих межах. Для ряду систем, особливо в побуті, загальна вартість повинна бути еквівалентна вартості нерегульованого варіанта.

### ***3 Енергозбереження в електроприводі***

Енергозбереження в електроприводі є частиною загального процесу ефективного використання електроенергії і визначається трьома процесами:

- енергоспоживанням;
- енерговикористанням споживаної енергії;
- енергоуправлінням процесу енергоспоживання.

Енергоспоживання - процес формування складових потужності на вході перетворювача при роботі електропривода. Цей процес характеризується

залежностями активної, реактивної і потужності перетворення від швидкості і моменту двигуна.

У питаннях енергоспоживання необхідне чітке уявлення про характер перетворення енергії, складові потужності, про показники якості електроенергії (ПЯЕ), їх вплив на характеристики електромеханічних перетворювачів.

Енергови користання — використання потужності споживаної з мережі. Цей показник характеризує якісну сторону процесу енергоспоживання. Він показує, наскільки ефективно використання споживаної електроенергії, яка частина її належить до втрат, а яка - до корисної потужності, що йде на вал робочої машини, як розподіляються втрати, що визначають робочий режим електродвигуна, його температуру і надійність.

У питаннях енерговикористання найважливішим є баланс складових потужностей, що дозволяє виявити механізми старіння електроустаткування на додачу до відомих і пов'язаних в основному з термічним характером впливу енергопроцесів на робочі й експлуатаційні характеристики.

Енергоуправління — процес формування режимів енергоспоживання за допомогою технічних пристроїв і систем, що впливають на кола керування електроприводом та перетворювальними пристроями, що живлять ці кола. До енергоуправління варто віднести керування перерозподілом втрат в електричних двигунах, оптимізацію втрат, мінімізацію нагрівання активних частин електричної машини, зниження рівнів споживаної реактивної потужності і генерування гармонік струму. При цьому варто мати на увазі те, що зазначені вище позитивні властивості система електропривода здобуває не за рахунок використання деяких інших технічних засобів, а за рахунок використання регулювальних можливостей системи електропривода.

Такий енергетичний підхід, що базується на спільності процесів енергоспоживання, енерговикористання і енергоуправління, зв'язує в єдиний електромеханічний комплекс елементи, що розглядалися раніше без взаємозв'язку: енергосистема, споживач (електропривод) і технологічна установка. Кожний з компонентів має свої регулювальні можливості в галузі керування енергоспоживанням, перерозподілом втрат тощо.

## Лекція №9

**Тема:** Шляхи реалізації енергозбереження засобами промислового електропривода.

**Мета:** ознайомитися зі шляхами реалізації енергозбереження засобами промислового електропривода.

**Методи:** словесні, наочні.

### План:

**1** Удосконалення процедури вибору та підвищення економічності електропривода.

**2** Метод усунення проміжних передач та економія електроенергії робочими установками.

**3** Вибір раціонального режиму роботи та типу електроприводу; поліпшення якості електроенергії.

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:** конспект, підручник.

### Література:

**1** Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

## *1 Удосконалення процедури вибору та підвищення економічності електроприводу*

ПЕРШИЙ ШЛЯХ стосується найпростішого некерованого масового електропривода і полягає в удосконаленні процедури вибору двигуна для конкретної технологічної установки з метою дотримання номінального теплового режиму двигуна при експлуатації.

Постановка задачі очевидна – двигун заниженої потужності швидко виходить з ладу, а двигун завищеної потужності перетворює енергію неефективно, тобто з високими питомими втратами в самому двигуні (низький ККД) і в мережі живлення (низький  $\cos\phi$ ). Розв'язання задачі не завжди елементарне, зустрічаються помилки, а оскільки найпростіших електроприводів мільйони, то можливі великі збитки. У випадках, коли навантаження незмінне, помилки викликані лише низькою кваліфікацією проектувальників (двигун вибирали за діаметром вала). Коли навантаження змінюється, вибір виявляється значно складнішим, що додатково ускладнюється недостатністю вихідної інформації, паспортних і каталожних даних.

В основі взаємовідносин між енергопостачальною організацією і підприємством лежать встановлювані з урахуванням тих чи інших факторів тарифи на електроенергію. Недосконалість тарифу очевидна, оскільки він не враховує якість споживаної енергії і вплив цього параметра на характеристики електроустаткування.

Мінімальні витрати енергії можливі при різному ступені аварійності електроустаткування, с: досить складною функціональною залежністю від стану устаткування, рівня його обслуговування, стану енергетичного господарства в цілому, включаючи і показники якості електроенергії. Загальні витрати включають не тільки сплату за електроенергію, перетворену тим чи іншим способом на корисний продукт, але й витрати на ремонт і обслуговування електроустаткування. З цієї причини доцільніше розглядати показник, що дорівнює сумі безпосередніх платежів за електроенергію і витрат на відновлення електроустаткування:

$$Z = Z_1 + Z_2$$

де  $Z_1$ , – витрати на електроенергію, визначені за триставочним чи зонним тарифом;  $Z_2$  – вартість ремонтів, відновлення електроустаткування.

Останній показник досить високий і в основному характеризує стан енергогосподарства: при задовільному — витрати на ремонт мінімальні, при незадовільному – приблизно однакові з платежами по основних статтях.

Відомо, що в окремих підгалузях промисловості аварійність електродвигунів коливається від 20 до 60 – 70 % на рік, причому зазначені показники відрізняються навіть у випадку однотипних підприємств виробництва. Характерно, що при загальному спаді виробництва кількість аварійних відмовлень машин не зменшується, а зростає.

З урахуванням недовантаження електричних машин у нормальному технологічному режимі на 20 – 25 % і зниженні продуктивності в 2,5–3 рази, витрати на ремонт двигунів (при наробітку на відмовлення 4000 годин) впритул наближаються до вартості електроенергії, що спожив би двигун за час експлуатації між двома ремонтами за умови, що ціна 1 кВтгод знаходиться на рівні 0,13–0,15 грн. З урахуванням транспортних та інших витрат, пов'язаних з аварійним виходом

двигунів з ладу, питомі витрати на ремонт наближаються до відповідного показника для нових заводських машин.

ДРУГИЙ ШЛЯХ підвищення економічності масового неререгульованого електропривода - перехідна енергозберігаючі двигуни I двигуни поліпшеної конструкції, спеціально призначені для роботи з регульованим електроприводом.

В енергозберігаючих двигунах за рахунок збільшення маси активних матеріалів (заліза і міді) підвищені номінальні значення ККД і  $\cos\phi$ . Енергозберігаючі двигуни використовуються, наприклад, у США і дають ефект при постійному навантаженні. Доцільність застосування енергозберігаючих двигунів повинна оцінюватися з урахуванням додаткових витрат, оскільки невелике (до 5%) підвищення номінальних ККД і  $\cos\phi$  досягається за рахунок збільшення маси заліза на 30-35%, міді на 20-25%, алюмінію на 10-15% і в цілому двигуна на 25-30% відносно звичайних двигунів.

Орієнтовні залежності ККД і  $\cos\phi$  від номінальної потужності Для звичайних і енергозберігаючих двигунів фірми Гоулд наведені на рис. 1.11.

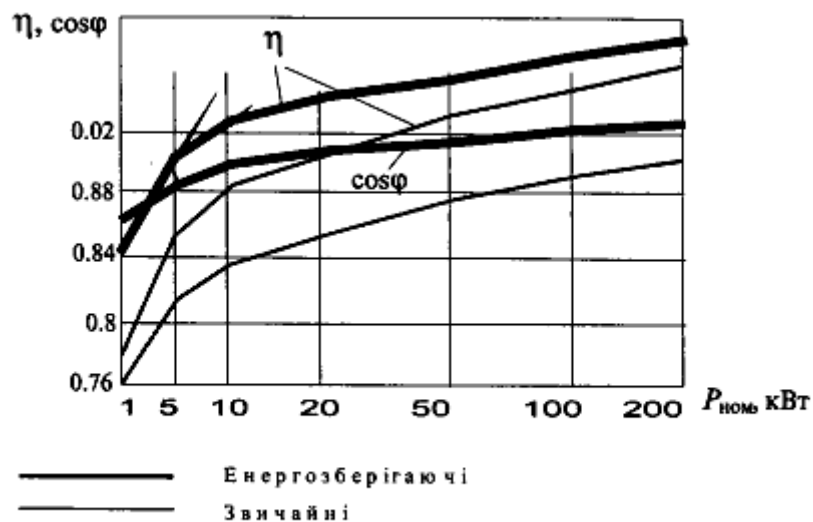


Рис. 1.11

Очікується зміна методик проектування двигунів, то відповідають їх застосуванню в складі саме регульованого електропривода. Насамперед це стосується асинхронного двигуна, для якого відмова від традиційних вимог фіксованої амплітуди і частоти мережі живлення, прямого вмикання в мережу живлення, забезпечення заданої перевантажної спроможності призводить до істотної зміни конструкції і різкого поліпшення характеристик. Слід відзначити випуск серії асинхронних двигунів, спроектованих фірмою Зістсп5 для загальнопромислових електроприводів. Змінюється методика проектування й інших типів двигунів, розширюється їх номенклатура. Очевидно, варто очікувати різкого, вибухового поліпшення характеристик по-новому спроектованих двигунів для регульованого електропривода, і відповідного коригування вимог до систем керування. Так прогнозується зростання частоти живлення двигунів у регульованому електроприводі до 500-1000 Гц і вище та зниження індуктивностей обмоток.

Спостерігається зростання випуску електропривода із синхронними двигунами зі збудженням від постійних магнітів (так званий безконтактний



вентильний двигун (ВД) постійного струму). Ці двигуни мають найкращі масогабаритні показники. Серед інших типів двигунів виділимо індукторний двигун (Зжіїсії КешсіапсеМоІог), який розроблений і активно пропонується в останні роки. Як стверджують розробники, його характеристики поліпшені, що в комбінації зі спрощеним силовим перетворювачем дозволяє сподіватися на його масове застосування.

Перспективним є також синхронно-реактивний двигун, що за прогнозами матиме масогабаритні показники, які лежать у проміжку між відповідними рекордними значеннями синхронного й асинхронного двигунів, а за енергетичною ефективністю, можливо, перевершує їх, причому при нижчій вартості. Реактивні вентильні двигуни спрощують схеми комутаторів і якірних обмоток. При оптимізації кута випередження інвертора можна домогтися збільшення моменту і ККД привода. Існує оптимальний кут випередження залежно від частоти обертання. Збільшення ККД досягається також за рахунок відповідного скорочування кроку обмотки.

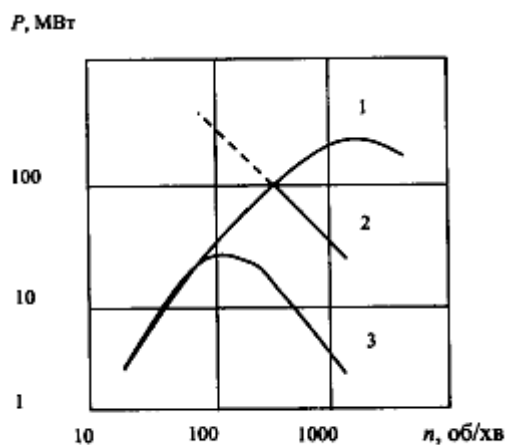


Рис. 1.12

На рис 1.12 зображені максимальні потужності електричних машин (1 - синхронних з надпровідною обмоткою і а пуском за схемою ВД; 2- синхронних з асинхронним пуском; 3- постійного струму.).

Для найкращого використання синхронною двигуна традиційної конструкції необхідно зменшити надперехідні реактивні опори (за рахунок відкритих пазів статора, збільшення повітряного зазору, демпферної обмотки на роторі тощо) і реакцію якоря (за рахунок збільшення повітряного зазору і вибором коефіцієнта полюсного перекриття).

Слід також відмітити, що Псршотравневим заводом у Донбасі налагоджений випуск низьковольтних (380/660В) асинхронних короткозамкнених двигунів з підвищеним пусковим моментом (до 3...4 вин. од.). Такі двигуни ефективні в системах регульованого привода і споживають практично в два рази менший пусковий струм, а також можуть бути використані в умовах вугільних шахт (у вибухо-пожежонебезпечних умовах).

## 2 Метод усунення проміжних передач та економія електроенергії робочими установками

ТРЕТІЙ ШЛЯХ полягає в усуненні проміжних передач.

Суть проблеми полягає в тому, що електрична енергія доступна на фіксованій частоті (50 Гц), а механічна енергія потрібна в широкому спектрі частот (швидкостей). Методи, розроблені багато років тому для вирішення цієї проблеми, використовують дорогі системи, двигун чи механічні регулятори.

До складу узагальненої схеми електропривода входять — перетворювач чи механічний регулятор (коробки швидкостей, муфта ковзання), муфта, редуктор і робочий орган, що є частиною робочої машини (рис. 1.13).

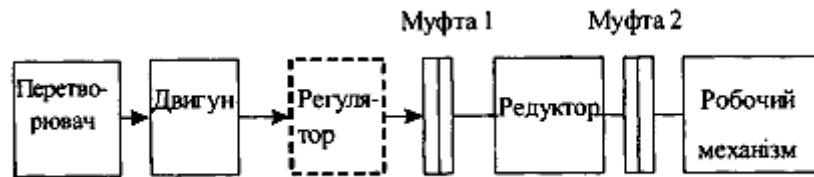


Рис. 1.13

Орієнтовні значення ККД елементів при вивода складають:

перетворювач -  $\eta_{\text{п}} = 0,5 + 0,95$  (менші значення - для малих швидкостей обертання, великі — для більш високих швидкостей);

двигун -  $\eta_{\text{д}} = 0,75 - 0,95$  (менші значення для мікромашин, більші - для машин підвищеної потужності);

механічний регулятор -  $\eta_{\text{рег}} \sim 0,9 - 0,95$ ;

муфта -  $\eta_{\text{м}} = 0,99$ ;

редуктор -  $\eta_{\text{р}} = 0,95$ ;

робочий механізм -  $\eta_{\text{рм}} = 0,95$  (для приводного барабана стрічкового конвеєра).

Коефіцієнт корисної дії системи електропривода

$$\eta = \eta_{\text{п}} \eta_{\text{д}} \eta_{\text{рег}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{р}} \eta_{\text{рм}}$$

Підстановка у формулу усереднених значень ККД для привода з електродвигуном потужністю 10—100 кВт дає значення ККД у діапазоні  $\eta = 0,65 - 0,75$ . При цьому в середньому від семи до десяти відсотків потужності втрачається в механічних передачах. Таким чином, усунення механічних передач призводить до істотного підвищення ККД системи (на 7—10%), що є однією з основних тенденцій розвитку електропривода, а в перспективі - поєднання електродвигуна і робочого органу.

За способом передачі механічної енергії від вала двигуна до робочого механізму електропривод поділяють на три групи:

- груповий (рис. 1.14.а), у якому кілька робочих машин приводяться в рух через передачі одним двигуном (привод зернозбирального комбайна);

- одиночний (рис. 1.14.б), у якому кожен механізм приводиться в рух одним двигуном;

- багатодвигуновий (рис. 1.14.в), у якому окремий механізм приводиться в рух кількома двигунами (приводний барабан конвеєра, барабан підйомної машини, привод повороту потужного екскаватора).

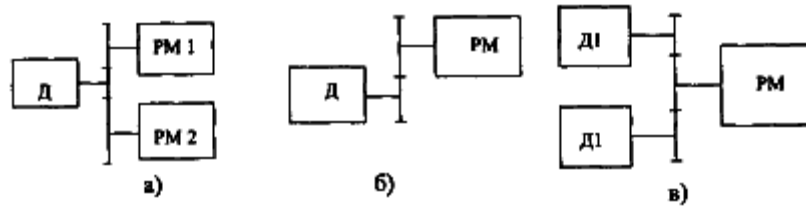


Рис. 1.14

Впровадження одиночного привода крім зниження в кілька разів енергоємності виробництва за рахунок усунення бехіічі проміжних передач і кращою використання встановленої потужності привода дозволило значно підвищити надійність виконання технологічних процесів, крім того, знизити виробничий травматизм, обумовлений наявністю великої кількості відкритих механічних передач. Також покращилися умови праці за рахунок усунення звукових ефектів, пов'язаних з роботою великої кількості ремінних і ланцюгових передач, різноманітних муфт, валів, що обертаються, довжиною до 20 м, зубцевих і черв'ячних передач тощо.

Для приведення в рух робочого механізму до нього необхідно прикласти деякий момент при визначеній швидкості. При цьому потужність на валу складе:

$$P = M\omega$$

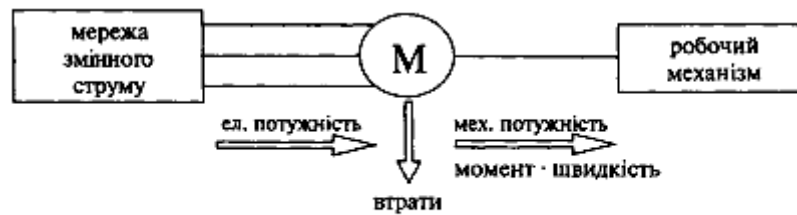


Рис. 1.15

На рис. 1.15 зображено розподіл енергії в олнодвиговому одношвидкісному приводі.

Умови змінюються, якщо регулювати швидкість розглянутого устаткування, використовуючи редуктор фрикційного типу (муфта, ремінь, гідравлічне сполучення тощо). У цьому випадку момент на валу двигуна і робочого механізму однаковий, але швидкості різні (рис. 1.16). Таким чином, різниця потужностей перетворюється в тепло фрикційної передачі:

$$M\omega_d - M\omega_{рм} = M(\omega_d - \omega_{рм}) = \Delta P$$

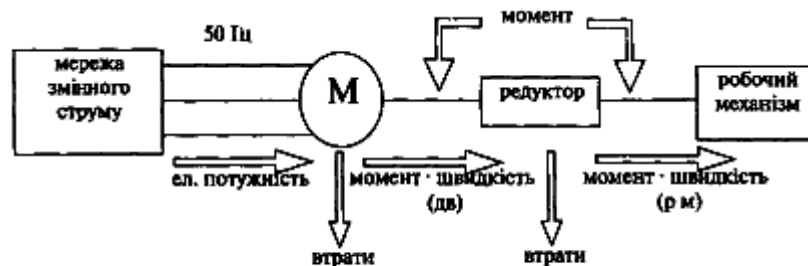


Рис. 1.16

інший приклад показаний нарис. 1.17. Як привод насоса використовується двигун з постійною швидкістю. Потік рідини контролюється закриттям і відкриттям клапана. Крім випадку, коли клапан цілком відкритий, енергія втрачається в клапані і насосі. Таким чином, регулювання дроселюванням неефективне.

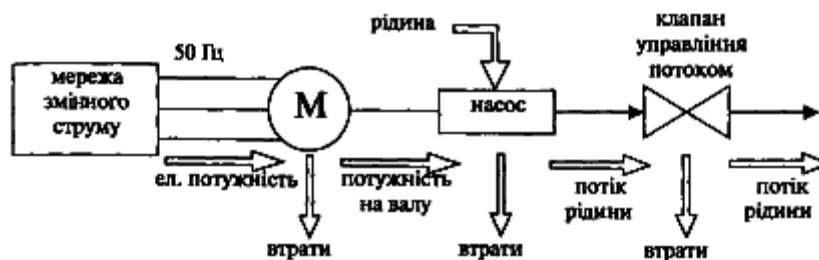


Рис. 1.17

Практично немає втрату випадку, коли керування здійснюється за допомогою механічних передач (рис. 1.18), тому що передача перетворює і момент, і швидкість. Їх добуток залишається постійним. При якісному обслуговуванні передачі мають дуже мале тертя. Таким чином, потужності на вході і виході приводу практично дорівнюють одна одній. Однак передачі, що постійно перемикаються, непридатні для приводів з великою потужністю, вони дорогі і мають потребу в частому обслуговуванні. Стационарні багаторівневі коробки передач, хоч і придатні для потужних приводів, мають усі вищезгадані недоліки.

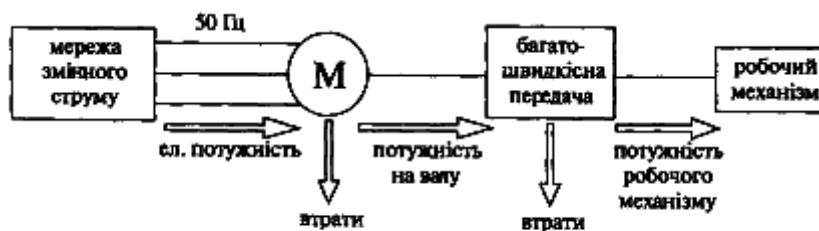


Рис. 1.18

При виборі перспективних варіантів систем електроприводів варто враховувати можливість використання багатодвигунового електропривода, що у даний час одержав значне поширення в промисловості. Його використання обумовлене такими причинами:

- відсутністю приводного двигуна, редуктора чи іншої механічної передачі необхідної потужності;
- бажанням підвищити швидкодію привода за рахунок зниження сумарного моменту інерції приводних двигунів;
- необхідністю забезпечення підвищеної надійності приводних пристроїв шляхом завищення встановленої потужності привода, тобто створення резерву на випадок виходу з ладу одного чи декількох двигунів;
- бажанням створення більш сучасних машин і механізмів (наприклад, стрічкових конвеєрів із двома і більше приводними барабанами, установок із проміжними приводами тощо),
- необхідністю економії електроенергії в механізмах з великим діапазоном зміни навантаження (більше, ніж 1,5-2 рази).

Застосування багатодвигунового привода в складних технологічних установках найчастіше дозволяє значно спростити й здешевити їх за рахунок усунення складних і дорогих механічних передач між різними виконавчими органами. При ньому з'являються також можливості підвищення продуктивності, економічності і поліпшення інших експлуатаційних характеристик.

ЧЕТВЕРТИЙ ШЛЯХ полягає в економії електроенергії робочими установками і механізмами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу.

Промислові підприємства вимагають підвищення ефективності роботи технологічних установок і механізмів, особливо вугільні шахти, які є великими споживачами електричної енергії зі складним електроенергетичним господарством. Встановлена потужність окремих електроприймачів шахт складає десятки тисяч кіловат при річному споживанні електроенергії в десятки і навіть сотні мільйонів кіловат - годин, одинична ж потужність окремих машин досягає кількох тисяч кіловат.

Структура електроспоживання шахти (рис. 1.19) залежить від багатьох факторів, основними з яких і глибина шахти, водонасиченість, продуктивність тощо (ДСТУ 3224-95 «Методи визначення норм витрачання електроенергії гірничими підприємствами») Тут: 1-видобувні роботи-5,26%; 2-підготовчі— 1,29%; 3-підземний транспорт- 5,60%; 4- кондиціонування повітря - 10,88%; 5- водовідлив- 14,28%; 6-підйом- 13,32%; 7-вентиляція 17,13%; 8-технологічний комплекс поверхні — 3,75%; 9- вироблення стиснутого повітря - 2,46%; 10- інші електроприймачі - 20,58%; 11-освітлення - 0,69%; 12- втрати електроенергії - 4,76%.

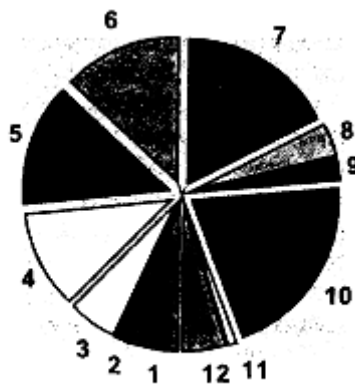


Рис. 1.19

Економія електроенергії установками і механізмами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу містить у собі такі основні заходи:

- узгодження режимів роботи установки при зміні навантаження;
- підвищення ККД установки;
- реулювання продуктивності установки;
- виконання оптимальної циклограми й упорядкування графіка навантажень;
- забезпечення нормованого завантаження (для підйомних машин, конвесрівтошо);
- контроль стану технологічної установки;
- застосування нових видів електропривода;

- організаційні заходи.

Особливості видобутку вугілля вимагають збільшення елект-роспоживання окремих електроприймачів. Так для водонасиче-них шахт потрібна установка 10, а в деяких випадках і більшої кількості насосів. Для шахт крутого падіння потрібна розгалудже-на мережа стиснутого повітря з компресорним господарством у десятки тисяч кіловат. У глибоких шахтах потрібне збільшення потужності підйомної машини до 10 МВт. За таких умов економія електроенергії в окремих споживачах і шахти в цілому може мати значну величину, що в остаточному підсумку позначиться на зниженні собівартості видобутого вугілля.

### ***3 Вибір раціонального режиму роботи та типу електроприводу; поліпшення якості електроенергії***

П'ЯТИЙ ШЛЯХ полягає у виборі раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода. Сюди входять:

- вибір раціонального способу і діапазону регулювання швидкості електропривода залежно від технологічних умов роботи машин і механізмів;
- вибір раціонального способу регулювання швидкості залежно від характеру зміни навантаження;
- підвищення завантаження робочих машин;
- виключення режиму неробочого ходу;
- зниження напруги на затискачах двигуна;
- мінімізація струму і втрат енергії АД при зміні навантаження;
- оптимізація динамічних режимів;
- використання синхронної машини як компенсатора реактивної потужності;
- використання акумуляторів енергії.

Необхідність вивчення технологічного режиму робочої машини є основою для можливого комплексу заходів, що забезпечують ефект економії енергозбереження. При цьому мова може йти як про регулювання швидкості технологічного агрегату, так і про його керованість. Під терміном «керованість» розуміється можливість зміни параметрів технологічного режиму за рахунок інших методів впливу, у тому числі й найпростіших — періодичних пусків і зупинок.

Розглядаючи, наприклад, електропривід турбомеханізмів, можна відмітити, що можливі три принципово різних способи регулювання технологічного параметра;

- аеродинамічним шляхом, що полягає у впливі на характеристики проточної частини (дроселюванням чи установкою кута нахилу лопаток направляючого апарата). Спосіб пов'язаний з істотним зниженням ККД;
- зміною швидкості обертання шляхом застосування регульованого електропривода. Це забезпечує практично незмінний високий ККД при істотному збільшенні капітальних витрат;
- шляхом вмикання і вимикання кількох агрегатів у випадку, якщо працює група електроприводів.

Третій варіант регулювання має обмеження- за числом пусків не регульованих електроприводів через небезпеку виходу з ладу електричних машин, з одного боку, і за числом пусків для технологічного механізму через екстремальні

технологічні навантаження в агрегаті, що пускається, при прямому некерованому пуску, з іншого. Аналіз показує, що при плавному керованому пуску практично виконуються дві наведені умови. Стосовно до приводів змінного струму як варіант схеми керованого пуску може служити

схема з тиристорним регулятором напруги (ТРН) у колі статора. Вартість таких пристроїв приблизно в п'ять разів нижче вартості систем частотно-регульованого електропривода. В окремих випадках застосування пускових систем підвищує час наробітку на відмову синхронних двигунів у кілька разів, робочих коліс відцентрового насоса на 15 — 75 % тощо.

Іноді пуски двигунів утруднюються через високу концентрацію робочого тіла в робочій частині турбомеханізму (руда в млині), заклинювання коліс насосів тощо. За таких умов навіть при повній нарузі живлення пусковий момент двигуна може бути меншим моменту зрушення механізму, і звичайна схема ТРН для пуску таких технологічних машин не дає необхідного позитивного результату. У цьому випадку є виправданим переведення ТРН у режим перетворювача частоти, тобто застосування так званого квазічас-тотного керування. Цей захід дає позитивний результат, оскільки дозволяє здійснити передпускове прокручування агрегату при частотах 0 - 0,7 Гц. Застосування пускових пристроїв дозволяє вирішити дві пов'язані одна з одною задачі: забезпечити реальне енергозбереження засобами електропривода і зберегти працездатність механічного й електромеханічного устаткування.

Зниження продуктивності машин і установок призводить до зниження ресурсу працездатності за цілим числом факторів, так чи інакше пов'язаних зі зростанням числа пусків електричних двигунів (у тому числі і в регульованих електроприводах). При цьому необхідно враховувати таке:

- в умовах істотного зниження продуктивності агрегатів і процесів, відсутності можливості використання регульованого електропривода через його дорожнечу, істотним резервом економії електроенергії є періодичні відімкнення енергоємних споживачів. При цьому необхідно використовувати спеціалізоване енергозберігаюче устаткування - пускові системи, що забезпечують як безпосередню економію енергоресурсів, так і працездатність електричних машин:

- насиченість парку електричними машинами, що були в ремонті, свідомо визначає досить високі витрати на ремонт електроустаткування. При цьому висока аварійність електричних машин визначається не стільки низькою якістю ремонту, скільки зміною характеристик конструкційних матеріалів (насамперед електротехнічної сталі), що призводять до перерозподілу втрат у двигуні і зміни теплового балансу та зниження реальної навантажувальної спроможності;

- відхилення напруги живлення, через відсутність засобів її ефективного регулювання, призводить до зростання споживаної реактивної потужності асинхронними двигунами, зниження її генерування синхронними машинами, збільшення втрат у сталі, підвищення аварійності двигуна;

- будь-які форми неякісної напруги живлення, порушень використання енергії споживачем через зміну його внутрішніх характеристик призводять не лише до збільшення втрат, але і появи змінних складових електромагнітного моменту двигуна. Зна-козмінні складові моменту є причиною високочастотних вібрацій всіх елементів конструкції, передчасного старіння ізоляції і підвищення аварійності електроустаткування.

Як правило, необхідність регулювання швидкості чи моменту електроприводів виробничих механізмів диктується вимогами технологічного процесу. Наприклад, зниження швидкості ліфта необхідне для точного позиціонування кабіни перед зупинкою. Однак існує ряд механізмів безперервного транспорту для переміщення твердих, рідких і газоподібних продуктів (конвеєри, вентилятори, насоси) з нерегульованим асинхронним електроприводом, що надає руху робочим органам з постійною швидкістю незалежно від завантаження механізмів. При неповному навантаженні робота з постійною швидкістю характеризується підвищеною питомою витратою електроенергії в порівнянні з номінальним режимом.

Зниження швидкості механізмів безперервного транспорту при недовантаженні дозволяє виконати необхідну роботу з меншою питомою витратою електроенергії. У ньому випадку економічний ефект з'являється також за рахунок поліпшення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування. Так, при зниженні швидкості зменшується знос тягового органа транспортера, збільшується термін служби трубопроводів за рахунок зниження тиску тощо. Ефект у сфері технології часто виявляється істотно вищим, ніж за рахунок економії електроенергії.

З іншого боку, висувається необґрунтоване бажання використовувати плавно регульовані системи привода з великим діапазоном регулювання для цих установок. У той же час досить великий діапазон регулювання продуктивності для механізмів з вентиляторним характером навантаження можна одержати при діапазоні зміни швидкості, що не перевищує 20%.

Як інший приклад можна навести ліфти в невисоких будинках (до 16 - 24 поверхів), коли замість дорогої, складної і менш надійної плавно регульованої системи можна обійтися викори-

станням двошвидкісного АД з короткозамкненим ротором і підвищеним пусковим моментом.

Такий привод дозволяє в кілька разів знизити робочу швидкість кабіни перед зупинкою, що зменшує знос гальмівного пристрою і збільшує саму точність зупинки. Пуск двошвидкісних двигунів - прямий на високу швидкість. Гальмування виконується перемиканням напруги на обмотку малої швидкості. Відтак двигун переходить у режим генераторного гальмування і частота його обертання знижується в 3-4 рази. Зупинка двигуна здійснюється відключенням від мережі обмотки малої швидкості і накладенням механічною гальма.

Наступний напрям енергозбереження належить до основних споживачів електричної енергії - електроприводів з нерегульованими АД і полягає в створенні спеціальних схемних рішень, що забезпечують мінімізацію шкідливого впливу на енергетичні показники при відхиленні навантаження від номінального. Спеціальні регулятори електричної енергії (регулятори напруги), що включаються між джерелом живлення і статором двигуна, крім енергозбереження виконують також інші функції (керують режимами пуску і гальмування, регулюють швидкість і момент, здійснюють захист, діагностику тощо), тобто підвищують технічний рівень приводе, збільшують його надійність.

При роботі АД має місце недовикористання встановленої потужності, необґрунтоване завищення їх потужності, а також недовантаження. При цьому знижуються ККД і коефіцієнт потужності АД. Регулювання напруги на статорі АД



при постійній частоті забезпечує найекономічніший режим його роботи при зміні навантаження. Отже, мінімізується споживаний асинхронним двигуном струм і тим самим втрати електроенергії в ньому.

Регулювання напруги АД у функції струму знижує втрати електроенергії до 5%, що при широкому застосуванні асинхронного електропривода дозволяє одержати великий економічний ефект.

Регулювання напруги АД у функції струму знижує втрати електроенергії до 5%. що при широкому застосуванні асинхронного електропривода дозволяє одержати великий економічний ефект.

Проблема акумуляторів енергії для систем електропривода є досить важливою. Акумулятори енергії з різними фізичними принципами її акумуляції перспективні насамперед для транспортних систем. Визначено перспективу в застосуванні акумуляторів-компенсаторів в електроприводах з різкозмінним навантаженням, як регульованих, так і нерегульованих. Нова елементна база і насамперед, малогабаритні ємнісні акумулятори, робить реальними передумови до створення принципово нових комплектних пристроїв для сучасного електропривода — накопичувально-компенсуючих пристроїв, з відповідними системами керування.

ШОСТИЙ ШЛЯХ полягає у виборі раціонального типу електропривода для конкретної технологічної установки і переході від нерегульованого електропривода до регульованого. Він припускає виконання таких операцій:

- аналіз технологічного процесу, умов експлуатації і, у результаті, розробка технічних вимог до електропривода;
- вибір перспективних варіантів систем електроприводів, їх техніко-економічне порівняння і вибір раціонального типу електропривода;
- розрахунок системи електропривода, у тому числі встановленої потужності і розробка системи керування;
- розробка конструкторської документації.

Удосконалювання технологічних процесів і автоматизація виробництва пов'язані з застосуванням регульованого електропривода. Застосування регульованого електропривода сприяє вирішенню задач щодо забезпечення оптимальних режимів роботи механізмів, зниження собівартості і підвищення якості продукції, що випускається, зростання продуктивності праці, підвищення ефективності використання енергії, надійності і терміну служби устаткування.

Вартогадати, що асинхронні двигуни зі змінним опором у колі ротора (рис. 1.20) і двигуни постійного струму незалежного збудження з регульованим реостатом (рис. 1.21), керуються зі збільшенням втрат.

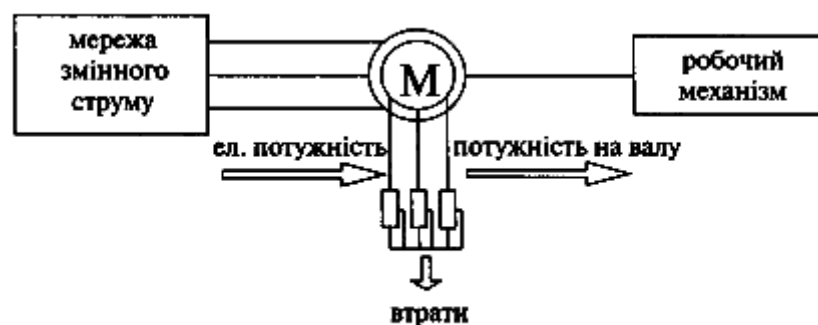


Рис. 1.20

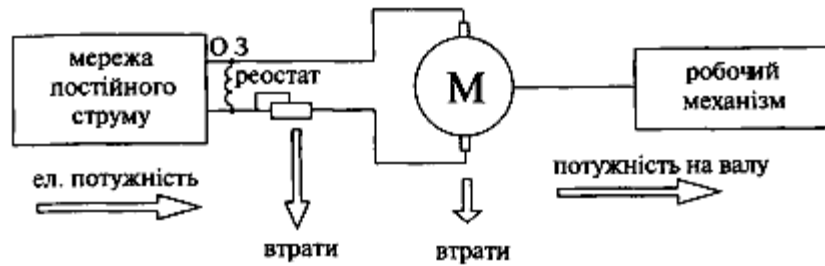


Рис. 1.21

З погляду енергозбереження найбільш ефективні регульовані електроприводи змінного струму, особливо для турбомеханізмів (вентиляторів, компресорів, насосів), підйомних машин, верстатів із ЧПУ тощо. Економія електроенергії може складати до 50% .

Цілий ряд промислових механізмів (транспортні, підйомно-транспортні, транспортно-складських і робототехнічних систем, ліфти тощо) працюють з частими вмиканнями, вимагаючи реалізації пускогальмівних режимів. Використання для керування такими механізмами відносно недорогих систем ТРН-АД дозволяє здійснювати режими плавного (м'якого) пуску і гальмування за рахунок формування необхідного часового закону зміни напруги першої гармоніки при ударі у пуску чи значення постійної напруги при динамічному гальмуванні. Це забезпечує істотне зниження пускових струмів, зменшення енергоспоживання на 3-6% (залежно від потужності двигуна й інтенсивності роботи), а також вирішення ряду технологічних задач (обмеження механічних кінематичних передачах, зниження прискорень і ривків, збільшення надійності і терміну служби устаткування).

Якщо за сукупністю вимог для керування механізмом доцільно використовувати регульований, частотно-регульований електропривод, то реалізація режимів частотною пуску і гальмування дозволяє знизити втрати енергії в перехідних режимах у кілька разів у порівнянні з некерованими перехідними процесами. У цьому випадку, функціональна схема виглядає, як показано на рис. 1.22. На противагу рис. 1.15 видно, що двигун змінного струму живиться електроенергією зі змінюваною частотою від перетворювача частоти (ПЧ). Оскільки швидкість двигуна буде відповідати частоті електричного струму мережі, регулюючи частоту на виході перетворювача, одержимо зміну швидкості двигуна. Втрати енергії, що спостерігалися на рис. 1.16; 1.17; 1.20 і 1.21 зведені до нуля.

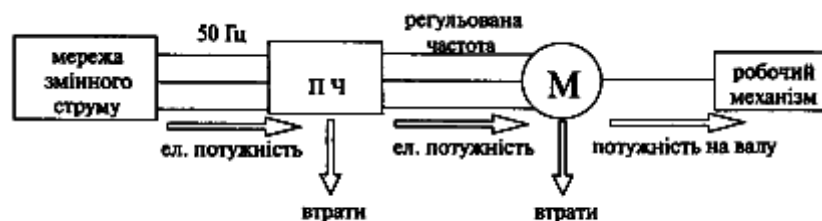


Рис. 1.22

Дуже перспективні вентильні двигуни з постійними магнітами. Новим шляхом енергозбереження стає переведення двигунів на модульну конструкцію й

оптимізація режимів їх роботи на базі мікроконтролерів, що дозволить)' 3 + 5разів знизити втрати енергії, у 2 + 3 рази зменшити масу двигунів.

При переході від нерегульованого електропривода до регульованого варто пам'ятати, що:

- економія енергії часто досягається не за рахунок власне при-вода, а за рахунок того процесу, що иривод обслуговує. При цьому економія може в багато разів перевищувати власне споживання ел є ктроп ри вода;

- для одержання корисною енергетичного ефекту часто необхідне регулювання в дуже невеликих межах при обмежених вимогах до якості регулювання. Так, лише незначне регулювання швидкості насоса, що подає гарячу воду в будинок, забезпечує істотну економію дорогої гарячої води. Такий підхід дозволяє замість дорогих і складних перетворювачів частоти використовувати значно дешевші і надійніші регулятори напруги, підведеної до обмоток статорів асинхронних двигунів;

- вданий час намітилася тенденція заміни регульованого при-вода постійного струму на привод змінного струму. На сьогоднішній день частка регульованого привода змінного струму мала, однак вона постійно зростає.

У галузях промислового використання приводів постійного струму з'явився попит на більш надійні безколекторні машини, при експлуатації яких потрібно менше витрат. Назріла також необхідність у застосуванні безконтактних приводів змінною струму, що забезпечують підвищення ККД і енергетичних показників установки, її продуктивність і надійність. У таких великих маши-

пах, як шахтні стаціонарні установки, для економічного реіулю-вапня продуктивності необхідний безконтактний при вод.

У підйомних установках підвищення ККД, надійності, ресурсу працездатності і зменшення експлуатаційних витрат неможливі без заміни привода постійного струму на безредукторний безко-лекторний привод змінного струму з аналогічними регульовальними властивостями.

Економічна доцільність використання синхронних двигунів на потужних конвеєрах і технологічні вимоги обумовлюють необхідність застосування безколекторного чи безконтактного регульованого привода змінного струму з СД.

Сформовані традиції застосування синхронних двигунів для потужних турбомеханізмів з метою підтримки високих загально-шахтних енергетичних показників при мінімальних витратах і вимоги регулювання продуктивності зміною частоти обертання робочого колеса свідчать про актуальність використання регульованого безколекторного привода змінного струму з СД.

Одним з найбільш перспективних і універсальних типів електроприводів із синхронними машинами є безколекторний або безконтактний вентильний двигун, у якому регулювання швидкості і моменту здійснюється підведеними напругою, струмом збудження і кутом випередження вмикання вентилів при самоуправлінні по частоті живлення. Він має регульовальні якості машин постійного струму і надійність систем змінного струму.

Для широкою впровадження регульованого електропривода необхідно вирішити безліч задач, у тому числі такі:

- розробити спеціальні синхронні двигуни для застосування їх у системі вентильного двигуна (утому числі індукторні);

- розробити спеціальні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором для застосування їх у системах частотно-регульованого електропривода;
- зменшити вплив вентиляльних перетворювачів на мережу;
- створити перетворювачі, форма струму і напруги яких наближалася б до синусоїдальної.

Істотне зниження енергоспоживання за рахунок широкого застосування регульованого електропривода в даний час важко реалізувати через обмежені можливості капіталовкладень з метою реконструкції електроприводів. Необхідно використовувати раціональний підхід, що поєднує можливості регульованого і нерегульованого, наприклад, керуваного по пуску, що забезпечує ефект досить близький до найдосконаліших приводів. Варто враховувати I рівень обслуговування електроустаткування, що, як правило, не відповідає стандартам, шіастишим регульованим приводом з високими технічними характеристиками. У цьому зв'язку для одержання економічної ефективності при мінімальних витратах необхідно розробити такі системи і заходи:

- системи полегшеного пуску синхронних двигунів електроприводів, що забезпечують економію електроенергії до 10 - 15 % і підвищення технічної надійності СД у 2-3 рази;
- системи плавного запуску групи потужних синхронних двигунів турбокомпресорів, насосів, вентиляторів за схемою ТРН-СД, що забезпечують підвищення надійності електричних машин, тур-бомеханізмів і зниження плати за електроенергію до 20%;
- пристрої і системи для керування рівнем напруги живлення, що забезпечують істотне зниження енерговитрат і підвищення працездатності електроустаткування;
- формування технологічного завантаження електродвигунів відповідно до сертифікаційних параметрів, одержаних в ході після-ремонтних випробувань при експлуатації;
- використання систем діагностики електроприводів, які базуються на енергетичних критеріях, що забезпечить визначення втрат і сертифікацію двигунів після їх ремонту на спеціалізованих підприємствах;
- формування графіків навантаження установок з потужними електроприводами, технологічними ємностями тощо.

Для приводів механізмів, що вимагають плавного пуску і незначного (до I 0%) діапазону регулювання швидкості (насоси, вентилятори, компресори, конвеєри тощо) застосовують тиристорні регулятори напруги. Завод ХЕМЗ виготовив і впровадив кілька таких систем у високовольтному виконанні (6 кВ) для привода механізмів з вентиляторним характером навантаження. На Запорізькому електроапаратному заводі налагоджений випуск низьковольтних регуляторів напруги для керування двигунами потужністю до 100 кВт.

Аналіз режимів роботи регульованого і нерегульованого електропривода вказує на неоднозначність поняття ефективної роботи приводів змінного струму в області частот обертання близьких до номінальної. Очевидно, що тут є визначений діапазон швидкостей, де застосування нерегульованого електропривода більш раціональне. Це пояснюється тим, що будь-яка схема регульованого електропривода крім втрат енергії, що йдуть на її перетворення, призводить до додаткових втрат у самому двигуні і шкідливо

впливає на мережу живлення й інші пристрої і системи. Під поняттям «шкідливо» розуміють насамперед додаткові втрати, електромагнітну несумісність і передчасну зношуваність електроізоляційних матеріалів.

Очевидна необхідність створення систем, що забезпечували б контроль зони економічної роботи ( $\omega_{н} < \omega_{н} + 1 < \omega_{н} + 2$ ), а також значення швидкостей  $\omega_{н}$  і  $\omega_{н+1}$ , при яких робота привода неефективна через технічні й інші обмеження з одного боку, і небезпечна при перевищенні припустимої швидкості, з іншою (рис. 1.23).

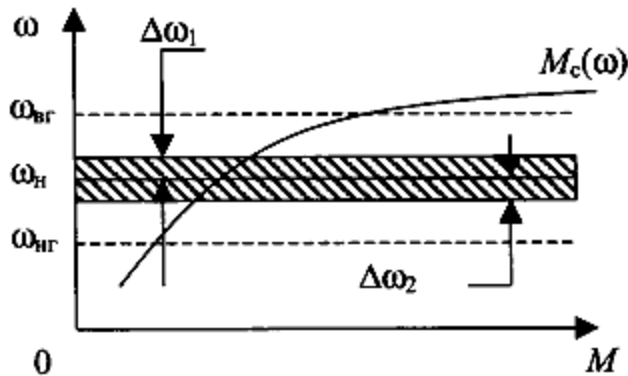


Рис. 1.23

СЬОМІЙ ШЛЯХ полягає в поліпшенні якості електроенергії особами силової перетворювальної техніки регульованого електропривода.

Регульований електропривод при роботі впливає на мережу електропостачання, що виражається в зниженні коефіцієнта потужності на вході перетворювача, коливаннях напруги в мережі і спотворенні синусоїдальної форми напруги.

Зниження коефіцієнта потужності збільшує реактивну потужність системи електропостачання, то призводить до додаткових втрат напруги й енергії і вимагає збільшення пропускної здатності її елементів.

В електричних мережах підприємства із сучасним устаткуванням вентиляльні перетворювачі знаходять усе ширше застосування. Питома вага нелінійних навантажень безупинно зростає. В цих ; мовах рівень вищих гармонік у кривій напруги мережі нерідко Досягає 10-15%.

Несинусоїадність напруги і струму обумовлює лолаткоіі втрати і нагрівання, а також прискорене старіння ізоляції електродвигунів, трансформаторів і, крім того, негативно позначається на функціонуванні різних видів електроустаткування. Специфічний вплив на різні види електроустаткування, системи релейного захисту, автоматики, телемеханіки і зв'язку виявляється диференційованим і залежить від амплітудного спектру напруги (струму), параметрів електричних мереж та інших факторів. У загальному випадку відсутня залежність між енергією гармонічної перешкоди і ступенем впливу її на електричну мережу. Ця обставина обумовила широке застосування показника, що характеризує спотворення кривої напруги мережі на затискачах електроірирмачів, який називається коефіцієнтом несинусоїдальності напруги, %:

$$k_{нс} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^l U_n^2}}{U_n} 100,$$

де  $U_n$  і  $U_n$  -- напруга  $n$ -ї гармоніки і номінальна напруга мережі.

Відповідно до ДСТУ 13109-87 припустиме значення  $k_{ж}$  обмежується 5% з інтегральною ймовірністю 95% за час вимірювання, зазначений у стандарті. Номер останньої з гармонік, що враховуються, не наведений. Він може бути визначений у конкретних випадках, виходячи з загальноприйнятого в електротехніці 5%-ого рівня значимості результатів. Не враховуються в розрахунок  $k_{не}$  гармоніки, нехтування якими призводить до додаткової похибки понад 5%.

У стандарті не вказуються припустимі значення  $k_{M(с)}$ , значення окремих гармонік напруги I струму у вузлах мережі; немає також вказівок щодо характеру частотної характеристики мережі. Вимоги ДСТ 13109-87 відносяться до електричних мереж загального призначення; тому в деяких випадках може бути допущений  $k_{ис} > 5\%$ . Наприклад, на шинах перетворювачів прокатних стани припустиму несипусоїдальність напруги визначають, виходячи з умов нормальної роботи перетворювачів при відсутності на їх шинах інших навантажень.

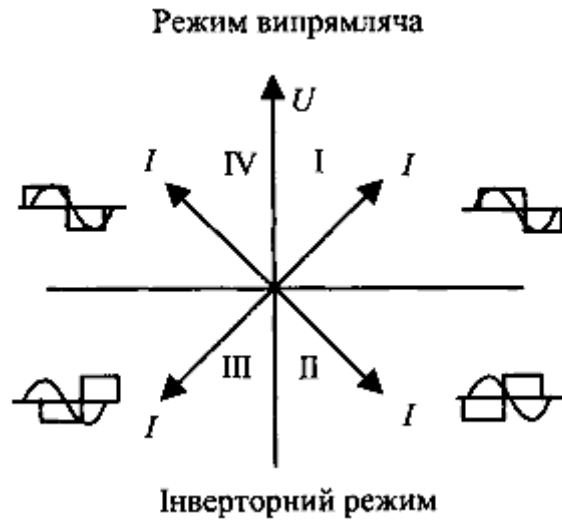
Остання обставина послужила причиною обмежень несипусоїдальності на більш високих ступенях напруги, що містяться в стандартах деяких країн. Так, у Швеції для мереж 0,25—0,43 кЕ припустимі значення  $k$  відповідають 4%, для мереж 3,3-24 кВ - 3%, 36-72кВ-2%, вище 84кВ- 1%. У Японії для мереж I -66 кВ і більше - відповідно 2 і [%]. У Європейському стандарті ЕК 50,006 припустимі значення гармонік напруги задаються на затискачах еталонних опорів, що рівносильне нормуванню гармонік струму.

Обмеження гармонік струму, генерованих окремими нелінійними навантаженнями чи проникаючих з розподільних мереж у мережі енергосистеми, у найбільшій мірі сприяє зменшенню впливу гармонічних перешкод на інші електроприймачі й електричні мережі. Так, у Франції і ФРН ці струми обмежуються 5% діючого значення усіх вищих гармонік струму, генерованого нелінійними навантаженнями чи цеху, чи підприємства. У публікації 555-2 МЕК передбачене обмеження гармонік струму, створюваних побутовими електроприладами в низьковольтній системі електропостачання.

Створення й освоєння промисловістю високоефективних силових електронних приладів типу ЮВТ, СТО тощо дозволило істотно розширити функції силових електронних пристроїв, використовуваних для регулювання якості електроенергії. Вирішення цих задач стало особливо актуальним у зв'язку з реалізацією програм енергозбереження. За останні роки в промислових країнах впроваджені стандарти з жорсткими вимогами до якості електроенергії.

Традиційно для регулювання якості електроенергії використовувалися тиристорні стабілізатори, компенсатори реактивної потужності та пасивні фільтри. Нова елементна база силових електроніки дозволяє створювати перетворювачі змінного/постійного струму, що працюють у 4-х квадрантах комплексної площини на стороні змінного струму з імпульсною модуляцією на підвищених частотах (цей термін відповідає новому стандарту МЕК 60030551). Це дозволяє керувати потоками електроенергії в будь-якому напрямку відповідно до заданого закону.

На рис. 1.24 зображено принцип роботи чотириквADRантного перетворювача (напруга має синусоїдальну форму, а струм - трапецієподібну, при цьому фазовий зсув відповідає квадранту площини на векторній діаграмі).



При підмиканні акумуляторів енергії до перетворювача з боку постійного струму стає можливим здійснювати обмін реактивною потужністю, що включає потужність вищих гармонік між мережею змінного струму і акумулятором. Така схема лежить в основі більшості сучасних методів регулювання якості електроенергії.

При коливаннях напруги, особливо в малопотужних електросистемах (невеликі струми короткого замикання), існує проблема їх компенсації, оскільки в ньому випадку вимагаються високо-швидкісні пристрої компенсації реактивної потужності.

У цьому випадку ефективне вирішення проблеми може бути здійснене за допомогою нового покоління статичних тиристорних компенсаторів — СТК-лайт, розроблених компанією «Асеа Браун Боверн»(ABB).

Технологія компенсаторів СТК-лайт використовує в принципі ту ж саму технологію перетворення напруги мережі, що вже багато років застосовується в електродвигунових установках. Причиною того, що дана технологія не була впроваджена в пристрої компенсації реактивної потужності раніше, був факт відсутності керуючих напівпровідникових пристроїв великої потужності.

## **Лекція №10**

**Тема:** Енергетичні особливості і характеристики енергетичної енергоефективності статичних перетворювачів електроенергії.

**Мета:** ознайомитися з особливостями та характеристиками статичних перетворювачів електроенергії.

**Методи:** словесні, наочні.

### **План:**

- 1** Особливості статичних перетворювачів електроенергії.
- 2** Енергетичні показники електроприводів з вентильними перетворювачами.
- 3** Енергетичні показники електроприводів з напівпровідниковими перетворювачами.

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:** конспект, підручник.

### **Література:**

- 1** Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.



## ***1 Особливості статичних перетворювачів електроенергії***

Перетворювачі електроенергії перетворюють змінний струм у постійний і навпаки, змінний струм однієї частоти і величини в змінний струм з іншими параметрами, регулюють чи стабілізують вихідний струм або напругу. Тому важливе значення має характеристика перетворювача як приймача електроенергії. Економічність прийому електроенергії приводом залежить як від типу і технічних характеристик елементів привода, так і від режимів його роботи.

Застосовуються два основних типи перетворювачів — статичні і електромашинні. З погляду якості електроенергії і впливу на мережу електромашинні перетворювачі мають переваги перед статичними. Однак їх частка постійно зменшується, оскільки вони громіздкі і мають гірший ККД, ніж статичні перетворювачі.

Найбільш поширеними є статичні напівпровідникові перетворювачі на базі діодів, тиристорів і транзисторів. За своїми енергетичними властивостями вони мають ряд особливостей.

Процеси перетворення і регулювання електроенергії в статичних перетворювачах відбуваються за рахунок роботи напівпровідникових приладів у ключовому режимі, що є причиною виникнення вищих гармонічних струмів і напруг на вході і виході перетворювачів. Генерація вищих гармонічних струму і напруги викликає спотворення напруги в мережах живлення і підвищені втрати в каналі передачі електроенергії, а також призводить до знакозмінних складових моменту, що негативно позначається на працездатності електричної машини.

Інша їх особливість обумовлена фазовим способом регулювання вихідної напруги. Це регулювання здійснюється за рахунок затримки моменту включення тиристорів стосовно напруги мережі. У результаті цього перша гармонічна складова струму, обумовлена частотою мережі, виявляється зсунутою на деякий кут щодо напруги мережі. Тому перетворювачі споживають реактивну потужність не тільки на частотах вищих гармонічних, але і на частоті мережі.

Ускладнення схем перетворювальних установок і методів керування ними, обумовлене бажанням підвищити коефіцієнт потужності, а також поява несиметричних за конструкцією і керуванням перетворювачів та перетворювачів з імпульсним керуванням і різними вентилями перетворювачами частоти створили великий клас вентильних установок з несиметричним навантаженням, у яких з'явилися додаткові складові повної потужності.

У загальному випадку, коли в трифазному перетворювачі відсутня симетрія навантаження, повна потужність перетворювача містить чотири складових: активну потужність  $P$ , реактивну потужність  $Q$ , потужність спотворення  $P_c$ , потужність несиметрії  $P_{нс}$ .

Величина і наявність тих чи інших складових повної потужності визначаються схемою перетворювача, законом керування його вентилями і характером зміни величини навантаження залежно від величини вихідної напруги. Тому при визначенні енергетичних показників і складових повної потужності необхідно враховувати конкретні особливості розглянутої установки.

Активна потужність  $P$  визначає кількість електричної енергії, що безповоротно перетворюється за секунду в теплоту чи інші форми енергії, і містить у собі корисну потужність і потужність втрат в установці. Під активною потужністю вентильного перетворювача розуміють його активну потужність на

выводах мережі змінного струму, що у випрямному режимі дорівнює потужності постійного струму плюс втрати в установці, а в інверторному режимі дорівнює потужності постійного струму мінус втрати в установці.

Ця потужність визначається інтегральним виразом:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt,$$

який є середнім за період значенням миттєвої потужності, і при синусоїдальних напругах живлення для трифазного кола приводиться до вигляду

$$P = \sqrt{3} U_1 I_{1(1)} \cos \varphi_1$$

де  $i_1$  — діюче значення напруги мережі,  $I_{1(1)}$  — діюче значення першої гармоніки струму мережі;  $\varphi_1$  — фазний кут цієї гармоніки.

Активна потужність, споживана складним колом, дорівнює сумі активних потужностей окремих елементів цього кола.

Реактивна потужність, чи потужність зсуву,  $Q$  у вентильних перетворювачах при синусоїдальних напругах джерела обумовлена зсувом основної гармоніки струму мережі шоло напруги і визначається кутом керування, індуктивностями розсіювання обмоток і струмом намагнічування трансформатора живлення.

Для однієї фази реактивна потужність визначається інтегральним виразом при частоті лжерела  $\omega$

$$Q = -\frac{1}{\omega T} \int_0^T i \frac{du}{dt} dt.$$

У більшості випадків миттєві значення  $u$  і  $i$ , що входять у вираз, є або постійними значеннями, або гармонічними функціями, що дає можливість одержати луже прості розрахункові вирази навіть для складних схем.

Для трифазного кола мри симетричному навантаженні фаз вираз приводиться до більш простого вигляду:

$$Q = \sqrt{3} U_1 I_{1(1)} \sin \varphi_1.$$

Реактивну потужність складного кола можна відповідно до те ореми приведення визначити алгебраїчним підсумовуванням приведених реактивних потужностей окремих елементів.

Потужність спотворення  $P_c$  — це складова повної потужності, обумовлена наявністю в кривій струму мережі вищих і нижчих гармонік, відсутніх у кривій напруги мережі. У вентильних перетворювачах вона створюється струмами вищих і нижчих гармонік, викликаних вентильною дією і режимами керування них пристроїв.

У загальному випадку потужність спотворень визначається з виразу:

$$P_c = U_1 \sqrt{\sum_{k=2}^n I_{1(k)}^2}.$$

Потужність спотворень, обумовлена струмами вищих гармонік, шкідливо впливає на мережу живлення і пілімкнені до неї приймачі, оскільки викликає додаткові втрати в міді і сталі магні-топроводів, породжує при несприятливому

співвідношенні параметрів шкідливі резонансні явища і, крім того, створює істотні перешкоди в розташованих поблизу лініях зв'язку.

## 2 Енергетичні показники електроприводів з вентильними перетворювачами

При циклічному керуванні вентильним перетворювачем у кривій первинного струму виникають додаткові низькочастотні гармонічні складові. При цьому через навантаження перетворювача проходять кілька повних хвиль струму, після чого вентиля закриваються, і струм у навантаженні припиняється.

У такому перетворювачі середнє значення випрямленої напруги  $U_d$  регулюється ступінчасто за рахунок зміни співвідношення між повним часом циклу  $T$  і часом  $T_1$ , протягом якого через навантаження протікає струм. Циклічне керування з погляду використання мережі живлення аналогічне повторно-короткочасному режиму електричних машин і відрізняється від цих режимів малою тривалістю нікту.

Ступінь регулювання напруги при такому керуванні змінюється дискретно і дорівнює:

$$C_p = \frac{T_1}{T} = \frac{p}{q} = \frac{U_d}{U_{d0}} = \text{ТВ},$$

де  $q$  — повне число хвиль, що міститься в нулюці;  $p$  — число за один цикл хвиль струму, що протікають через перетворювач;  $U_{d0}$  — вихідна напруга в некеруваному режимі (максимальна); ТВ — відносна тривалість протікання струму через навантаження.

Внаслідок циклічного характеру керування первинний струм випрямляча містить гармонічні як високої, так і низької частоти. У цьому випадку потужність спотворень визначається сумою низькочастотної (субгармонічної) і високочастотної складових

$$P_c = U_1 \sqrt{\sum_{k=1}^{l-1} I_{U(k)}^2}; P_c = U_1 \sqrt{\sum_{k=l+1}^{\infty} I_{U(k)}^2}.$$

Слід відмітити, що потужність спотворень всього кола не можна визначити алгебраїчним підсумовуванням потужностей спотворень окремих елементів, оскільки потужність спотворень обумовлена протіканням струмів різних частот.

Потужність несиметрії  $P_{нс}$  — це складова повної потужності, що виникає тільки в багатозазному колі й обумовлена несимет-рією навантаження фаз. У вентильних перетворювачах, що живляться від симетричних синусоїдальних джерел, потужність несиметрії викликається або несиметрією конструкції перетворювача, або несиметрією режимів його керування (наприклад, у перетворювачах з циклічними режимами керування).

Для трифазних вентильних перетворювачів з несиметричними первинними струмами і синусоїдальними лінійними напругами живлення повна потужність виражається рівністю

$$S = U \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2} = U \sqrt{\sum_{k=1}^n I_{A(k)}^2 + \sum_{k=1}^n I_{B(k)}^2 + \sum_{k=1}^n I_{C(k)}^2},$$

$$I_A = \sqrt{I_{A(1)}^2 + \dots + I_{A(l)}^2 + \dots + I_{A(n)}^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n I_{A(k)}^2},$$

$$I_B = \sqrt{I_{B(1)}^2 + \dots + I_{B(l)}^2 + \dots + I_{B(n)}^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n I_{B(k)}^2},$$

$$I_C = \sqrt{I_{C(1)}^2 + \dots + I_{C(l)}^2 + \dots + I_{C(n)}^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n I_{C(k)}^2}$$

- несиметричні лінійні струми;  $I_{\text{ЛП}} > I_m$  і  $I_{C\phi}$  при циклічному керуванні перетворювачем є гармонічними складовими струму частоти мережі.

Вираз повної потужності можна після перетворень привести до вигляду:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + P_c^2 + P_{nc}^2}.$$

Потужність несиметрії може бути визначена за виразом:

$$P_{nc} = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2 + P_c^2)}.$$

Як і потужність спотворень, потужність несиметрії не можна визначати алгебраїчним підсумовуванням окремих складових.

Потужність несиметрії є критерієм оцінки впливу несиметрії перетворювача на втрати, нагрівання і ступінь використання елементів мережі живлення. Потужність несиметрії може бути зведена до нуля повним симетруванням фазних струмів вентильного перетворювача у всьому діапазоні керування. Можлива повна компенсація несиметрії застосуванням кількох одночасно працюючих вентильних перетворювачів, сумарні фазні струми яких є симетричними.

При симетричному навантаженні фаз потужність несиметрії дорівнює нулю, і повна потужність дорівнює сумі трьох складових: активної, реактивної і спотворень:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + P_c^2}.$$

Розглянуті розрахункові вирази повної потужності вентильних перетворювачів і її складових дозволяють визначити й енергетичні коефіцієнти, що характеризують перетворювач як приймач електроенергії.  $k_c$  коефіцієнт потужності,  $k_\omega$  коефіцієнт зсуву,  $k_c$  коефіцієнт спотворень і коефіцієнт несиметрії  $k_{\text{нсм}}$ .

Коефіцієнт потужності  $k_n$  трифазного перетворювача дорівнює відношенню активної потужності до повної:

$$k_n = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + P_c^2 + P_{nc}^2}} = \frac{P}{UI}.$$

Активна потужність  $P$  Ліри періодичних несинусоїдальних струмах і напругах дорівнює сумі всіх гармонічних складових:

$$P = \sum_1 U_l I_l \cos \varphi_l,$$

а повна потужність дорівнює добутку діючих значень напруги і струму.

Коефіцієнт потужності визначає ступінь використання повної потужності, що поглинається з мережі і може бути виражений через інші енергетичні коефіцієнти в такий спосіб:

$$k_n = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + P_c^2}} \frac{\sqrt{P^2 + Q^2 + P_c^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + P_c^2 + P_{nc}^2}} = k_c k_\omega k_{\text{нсм}}.$$

У формулі коефіцієнт зсуву і<sub>сз</sub> характеризує величину генерованої у мережу реактивної потужності, коефіцієнт спотворень  $k_e$  характеризує вплив як вищих, так і нижчих гармонічних струму на величину коефіцієнта потужності, а коефіцієнт несиметрії  $A_{\text{нїМ}}$  враховує додаткове нагрівання чи (прати в елементах мережі живлення і зменшення її пропускної здатності, обумовлені несиметрією перетворювача.

Коефіцієнт зсуву  $k_z$  характеризує співвідношення між активною і реактивною потужностями і для трифазного перетворювача визначається рівністю:

$$k_z = \sqrt{\frac{P^2}{P^2 + Q^2}}.$$

У симетричних трифазних перетворювачах цей коефіцієнт дорівнює косинусу кута зсуву основної гармоніки струму щодо синусоїдальної напруги живлення

$$k_z = \cos \varphi_1,$$

і в такий спосіб характеризує зсув по фазі основної гармоніки струму щодо напруги живлення.

Коефіцієнт зсуву, як одна з енергетичних характеристик процесу енергоспоживання електроприводів змінного струму, визначає економічність споживання активної потужності. У трифазній системі сума миттєвих періодичних складових потужності дорівнює нулю, тобто якщо по одній з фаз енергія віддається джерелу, то по двох інших одночасно існує потік енергії зворотного напрямку тієї ж потужності. Ще менш економічна передача енергії за допомогою вентильних перетворювачів, коли при регулюванні спотворюється форма синусоїдального сіру му.

Коефіцієнт спотворень трифазного перетворювача знаходиться з виразу:

$$k_e = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + P_c^2}}.$$

При симетричному навантаженні фаз він визначається, як і в однофазних колах, відношенням діючого значення основної гармоніки струму мережі до діючого значення цього струму:

$$k_e = \frac{I_{1(0)}}{I_1},$$

і визначає ступінь спотворень струму мережі. При синусоїдальному струмі коефіцієнт спотворень дорівнює одиниці.

Виразимо потужність спотворень через повну потужність першої гармоніки струму і коефіцієнт спотворень:

$$P_c = U_1 I_{1(0)} \sqrt{\frac{1}{k_e^2} - 1} = \sqrt{(P^2 + Q^2) \left( \frac{1}{k_e^2} - 1 \right)},$$

$$\text{де } k_e = \frac{S_{(0)}}{S}; S_{(0)} = U_1 I_{1(0)} = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Коефіцієнт несиметрії  $k^{\wedge}$  трифазного перетворювача характеризує ступінь несиметрії навантаження фаз і визначається з виразу

$$k_{\text{всм}} = \sqrt{\frac{P^2 + Q^2 + P_c^2}{S^2}}$$

У симетричному перетворювачі цей коефіцієнт дорівнює одиниці.

### 3 Енергетичні показники електроприводів з напівпровідниковими перетворювачами

Енергетичні показники електроприводів з напівпровідниковими перетворювачами визначаються:

- втратами в перетворювачі від першої гармонічної складової струму;
- втратами в силовому каналі від вищих гармонічних струмів;
- величиною споживаної реактивної енергії при регулюванні кута  $\alpha < \rho$ .

Втрати від першої гармонічної (корисної) складової струму визначають шляхом відповідного збільшення активного опору в колах обмоток двигуна. Внутрішній опір перетворювача враховує втрати на вході (у трансформаторах, мережних реакторах), виході (згладжуючих і зрівнювальних реакторах) та в самих напівпровідникових приладах.

Внутрішній опір перетворювача (випрямляча) визначають за номінальними даними:

$$r_n = \frac{P_n(1-\eta_n)}{\eta_n I_n^2},$$

де  $P_n$ ,  $I_n$  — номінальні потужність і струм на виході перетворювача;  $\eta_n$  — номінальний ККД перетворювача.

У перетворювачах із природною комутацією (випрямлячах і перетворювачах змінної напруги) кут  $\alpha < \rho$  залежить від кута керування  $\alpha$ .

Споживана потужність на вході перетворювача:

$$P_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi.$$

Середнє значення випрямленої потужності на виході випрямляча:

$$P_d = U_{d0} I_d \cos \alpha = U_d I_d,$$

де  $U_d$ ,  $I_d$  — середні значення випрямлених напруги та струму. Знехтувавши активними втратами, одержимо  $P_1 = P_d$  звідси:

$$\begin{aligned} \sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi &= U_{d0} I_d \cos \alpha; \\ \cos \varphi &= \frac{U_{d0} I_d}{\sqrt{3} U_1 I_1} \cos \alpha; \\ \cos \varphi &= A \cos \alpha, \end{aligned}$$

$$\text{де } A = \frac{U_{d0} I_d}{\sqrt{3} U_1 I_1} \text{ — коефіцієнт пропорційності.}$$

Кут зсуву визначають як:

$$\varphi = \alpha + \frac{\gamma}{2},$$

де  $\gamma$  — кут комутації.

У перетворювачах змінної напруги при сталій частоті кут  $\alpha < \rho$  залежить також від кута  $\rho$  між напругою і струмом електродвигуна

(рис.2.9). Такий перетворювач використовується для регулювання напруги ЛД, кут  $\alpha < \rho$ , визначається зі схеми заміщення.

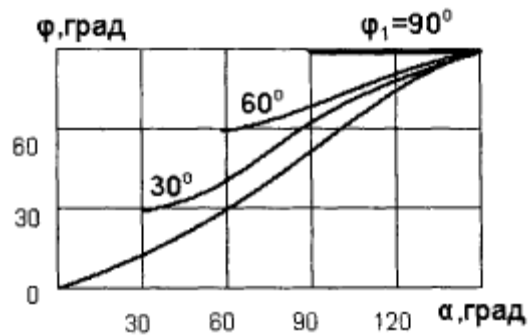


Рис. 2.9

З виразу  $\Phi = a + \dots$  видно, що коефіцієнт потужності вентиляного електропривода постійного струму (також вентиляного лви гуна із синхронною машиною і частотно-регульованим приводом з асинхронною машиною) залежить від швидкості двигуна, обумовленої кутом керування  $\alpha$  і його навантаження, під якого залежить кут комутації  $\gamma$ . Збільшення діапазону регулювання (зниження швидкості) чи збільшення навантаження призводить до зменшення коефіцієнта потужності електропривода, тобто до зростання споживаної реактивної потужності з мережі.

Залежність  $\cos\phi$  від відносної швидкості  $\omega^*$  при номінальному навантаженні на валу ДПС характеризується кривою, зображеною на рис. 2.10

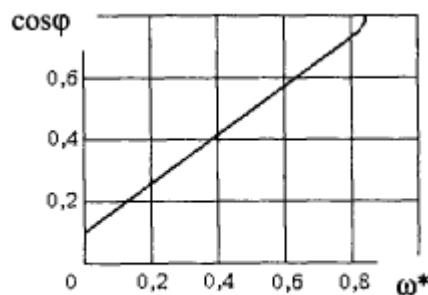


Рис. 2.10

З рис.2.10 видно, що зменшення коефіцієнта потужності відбувається пропорційно зниженню швидкості, тобто збільшенню діапазону регулювання.

Коефіцієнт спотворень визначається гармоніями складовими споживаного з мережі струму. Порядкові номери гармонічних складових, присутніх у струмі перетворювача, визначаються з виразу:

$$n = mp \pm 1,$$

де  $p = 1, 2, 3, \dots$ ;  $m$  — пульсність перетворювача ( $m = 6$  для мостових схем).

Амплітуди гармонічних складових струмів залежать від кута керування, тому коефіцієнт спотворень також є функцією кута  $\alpha$ . Для грубої оцінки приймають при  $m = 6$  для керованих перетворювачів  $A_g \approx 0,95$ , для некерованих  $k = 1$ .

Вищі гармонічні струму крім додаткових втрат у мережі, їло враховуються  $k_s$ , викликають додаткові втрати в двигунах.

У двигунах постійного струму ці втрати викликаються вищими гармонічними випрямленого струму  $I_d$ . Якщо перетворювач працює в режимі джерела струму, то вищі гармонічні струму визначаються розкладанням у ряд Фур'є: випрямленого струму, якщо її режимі джерела напруги - то вищі гармонічні складові струму залежать від амплітуд гармонічних випрямленої напруги й опорів якоря.

Трохи інший характер мають енергетичні співвідношення у вентильних перетворювачах частоти, в яких відбувається безпосередній обмін реактивною енергією між низькочастотним навантаженням і мережею живлення, а крива вихідної напруги формується окремими вентилями і наближається до синусоїди тільки при певному співвідношенні частот мережі і вихідної. Ці обставини істотно відрізняють енергетичний режим цих пристроїв і змушують ввести для них поняття складових повної потужності як для іначень протягом провідності одного вентиля, так і для середніх значень циклу.

Відмічені особливості статичних перетворювачів електроенергії викликають збільшення втрат у силовому каналі електропривода.

Істотною позитивною властивістю статичних перетворювачів є менші втрати від першої гармонічної складової струму. Це пояснюється двома причинами. По-перше, менші втрати в самому не-

ретворювачі в порівнянні з електричною машиною (відсутні механічні втрати, втрати на збудження), і, по-друге, — менше число ступенів перетворення електроенергії. Наприклад, ККД випрямлячів досягає 0,95-0,98, а перетворювачів — 0,95.



## **Лекція №11**

**Тема:** Тенденції розвитку сучасного електропривода.

**Мета:** ознайомитися з тенденціями розвитку сучасного електропривода.

**Методи:** словесні, наочні.

### **План:**

**1** Загальні поняття

**2** Аналіз розвитку електропривода

**3** Основні тенденції розвитку автоматизованого електропривода

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:**  
конспект, підручник.

### **Література:**

**1** Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

## *1 Загальні поняття*

Основна маса промислових перетворювачів енергії будується за схемою трифазний випрямляч - трифазний автономний інвертор напруги. Вимоги до впливу споживача на мережу живлення постійно зростають, вводяться стандарти, що дозволяють використання простих схем випрямлення на вході перетворювача (стандарти ІЕПЕ-519, МЗК 555, ДСТ 13109). Для поліпшення якості енергоспоживання, підвищення коефіцієнта потужності, зниження встановленої потужності і вартості перетворювача застосовують випрямлячі на некерованих ключах, системи стабілізації напруги ланки постійного струму, схеми з додатковою індуктивністю і додатковим ключем для високочастотного імпульсного регулювання вхідного струму. Силова схема при цьому має вбудований «інтелект» (5МАКТ технологія). У перетворювачах енергії використовуються сучасні силові прилади (M05PET, ЮВТ, 1ССТ), що мають дуже малі динамічні втрати. Характерним режимом використання силового перетворювача стає режим високочастотної широтно-імпульсної модуляції ШІМ. Частота ШІМ 10-20 кГц може виявитися цілком не зайвою при підвищенні частоти живлення нових розроблених електродвигунів.

Перспективні безпосередні перетворювачі частоти на повністю керованих силових ключах (матричні перетворювачі), при цьому виключаються додаткові реактивні елементи в основній силовій схемі (як індуктивності, так і конденсатори). Матричний перетворювач дозволяє одночасно синтезувати необхідну для живлення двигуна вихідну напругу (струм) і забезпечити бажаний характер енергоспоживання від мережі живлення (аж до випереджаючого С05|).

Як первинні перетворювачі використовуються датчики струму, що випускаються серійно, напруги, датчики положення Хола, тахогенератори, фотоімпульсні датчики переміщення і кодові датчики положення, синусно-косинусні обертові трансформатори та індуктосини з цифровим зніманням інформації. Обсяг використання нових типів датчиків (п'єзоелектричних, ємнісних, лазерних та інших) дуже малий. Одна з причин стабілізації в галузі розробок первинних вимірювачів криється у використанні нових принципів обробки результатів вимірів - маються на увазі системи непрямого вимірювання. За рахунок їх застосування виявилось можливим вирішити задачі сучасного етапу, а в ряді випадків навіть зменшити юлькість датчиків (наприклад, відмовитися від застосування датчика частоти обертання в стежачому приводі) чи зовсім виключити датчики механічного руху ("бездатчикові" електроприводи).

Задачі керування електроприводом полягають у забезпеченні необхідної частоти обертання (загальпронисловий регульований привод), а також у регулюванні електромагнітного моменту, потужності, прискорення, положення ротора чи технологічного параметра, обумовленого цими змінними. Розрізняють задачі стабілізації, стеження, позиювання, забезпечення інваріантності (незалежності або слабкої залежності від дії неконтрольованих впливів), автономності (незалежності поводження окремої частини чи окремої змінної об'єкта від інших), оптимального (у змісті обраного критерію) керування.

Методи синтезу керування електроприводом базуються на вихідному припущенні про існування досить умовної моделі (математичного опису) процесів у приводі. Загалом, рівняння електропривода представляють отримані з фізичної картини процесів рівняння Кірхгофа для електромагнітних кіл двигуна і

перетворювача (звичайно ці рівняння записуються для еквівалентної двофазної машини — рівняння Парка; для силового перетворювача стали звичними векторні діаграми вихідної напруги); рівняння Ньютона для механічних ланцюгів. У цьому контексті електропривод як об'єкт керування, можливо, є приємним винятком: для багатьох об'єктів одержання рівнянь утруднене у зв'язку зі складністю фізичного опису, а іноді і відсутності адекватного розуміння процесів. Однак і в електроприводі існує проблема одержання моделі процесів. Це стосується врахування насичення магнітного кола двигунів (особливо двигунів зі змінним магнітним потоком - асинхронних, синхронно-реактивних, індукторних). Для індукторних машин в основному використовуються рівняння в частинних похідних, польові моделі, більш придатні для чисельних розрахунків, але не для синтезу керування. Проблемою є врахування гнучких механічних зв'язків, нелінійних зв'язків типу «люфт» тощо.

Специфіка, що впливає з вибору того чи іншого типу двигуна змінного струму полягає в керуванні двома підсистемами: системою змінних механічного руху і системою електромагнітних змінних — реактивним струмом, потокозчепленням тощо. Звичайно задача керування змінними останньої підсистеми не задається явними вимогами до електропривода, а визначається з додаткових вимог: мінімізації енергетичних втрат, забезпечення необхідних ресурсів керування тощо., за умови розв'язання основної задачі керування механічним рухом. Керуючими впливами є компоненти напруг (струмів). Незважаючи на переваги векторного керування, продовжується використання більш простих систем привода, у яких керування зазначеними двома підсистемами заздалегідь зв'язане якою-небудь залежністю, наприклад  $\Pi // = \text{сопві}$ . Ці системи добре відпрацьовані і, очевидно, будуть використовуватися і надалі в розімкнених системах привода з цифровим керуванням, хоча і для останніх почали застосовувати векторні електроприводи.

## ***2 Аналіз розвитку електропривода***

Аналіз продукції провідних світових виробників систем приводу і матеріалів опублікованих наукових досліджень у цій галузі дозволяє відмітити такі тенденції розвитку електропривода.

- Неухильно знижується частка систем привода з двигунами постійного струму і збільшується систем привода з двигунами змінного струму. Це пов'язано з низькою надійністю механічного колектора і високою вартістю колекторних двигунів постійного струму в порівнянні з двигунами змінного струму. За прогнозами фахівців у перші роки століття на Європейському ринку з загального числа продаваних регульованих приводів електроприводи змінного струму складуть 68%, II електроприводи постійного струму складуть лише 15%. Решта приходить на механічні I гідравлічні приводи.

- Переважне застосування в даний час мають приводи з короткозамкненими асинхронними двигунами. Більшість таких приводів (близько 80%) — нерегульовані. У зв'язку з різким здешевленням статичних перетворювачів частоти частка частотно—регульованих асинхронних електроприводів швидко збільшується.

- Природною альтернативою колекторним електроприводам постійного струму є приводи з вентильними (комутованими) двигунами. Переважне

застосування одержали синхронні двигуни зі збудженням від постійних магнітів або з електромагнітним збудженням (для великих потужностей). Цей тип привода найбільш перспективний для глибокорегульованих приводів, однак, є найдорожчим. Деякого зниження вартості можна домогтися при використанні синхронного реактивного двигуна.

- Приводом ХХІ століття за прогнозами більшості фахівців, стане привод на основі вентильно-індукторного двигуна ВІД. Двигуни цього типу прості у виготовленні, технологічні й дешеві. Вони мають пасивний феромагнітний ротор без будь-яких обмоток чи магнітів. Разом з тим, високі споживчі властивості привода можуть бути забезпечені тільки при застосуванні потужної мікропроцесорної системи керування в поєднанні із сучасною силовою електронікою. Для типових застосувань перспективні індукторні двигуни із самозбудженням, а для тягових приводів- індукторні двигуни з незалежним збудженням з боку статора. В останньому випадку з'являється можливість двовонного регулювання швидкості за аналогією зі звичайними приводами постійного струму.

- Для більшості масових застосувань при вола (насоси, вентилятори, конвеєри, компресори тощо) потрібний відносно невеликий діапазон регулювання швидкості (до 1:10) і відносно низька

швидкодія. При цьому доцільно використовувати частотно-регульований асинхронний мривод із класичною структурою скалярного керування. Перехід до широкодіапазонного (до 1:10000). швидкодіючого приводу верстатів, роботів і транспортних засобів, вимагає застосування більш складних структур векторного керування. Частина таких приводів складає зараз близько 5% від загального числа і постійно зростає.

- Останнім часом на базі систем векторного керування розроблений ряд приводів із прямим цифровим керуванням моментом. Відмінною рисою цих рішень є гранично висока швидкодія контурів струму, реалізованих на базі цифрових релейних регуляторів, чи регуляторів, що працюють на принципах нечіткої логіки (фаззі-логіки). Системи прямого цифрового керування моментом орієнтовані, в першу чергу, на транспорт, на використання в підйомних машинах і кранах, ліфтах, робототехніці.

- Ускладнення структур керування приводами зажадало різкого збільшення продуктивності центрального процесора і переходу до спеціалізованих процесорів з об'єктно - орієнтованою системою команд, адаптованою до вирішення задач цифрового регулювання в реальному часі. Ряд фірм (ІпіеІДехазігкігітспк, Апаїов сіеуІсеї тощо) випустили на ринок нові мікроконтролери для керування двигунами (із серії Моїог Сопігої) на базі процесорів по обробці сигналів — ОЗР — мікроконтролери. Вони забезпечують необхідну продуктивність центрального процесора (понад 20 млн.оп./с.), і містять ряд вбудованих периферійних пристроїв, призначених для оптимального сполучення контролера з інверторами і датчиками зворотних зв'язків. Серед вбудованої периферії особливе місце займають універсальні генератори періодичних сигналів, що забезпечують найсучасніші алгоритми керування інверторами, зокрема, алгоритми векторної широтно — імпульсної модуляції.

- Зростання обчислювальних можливостей вбудованих систем керування приводами супроводжується розширенням їх функції. Крім прямого цифрового керування силовим перетворю-начсм розрізняються додаткові функції підтримки

інтерфейсу з користувачем (через пульт оперативного керування), а також керування технологічним процесом.

Рис. 5.25 демонструє додаткові можливості сучасних систем керування перетворювачами частоти для приводів насосів.

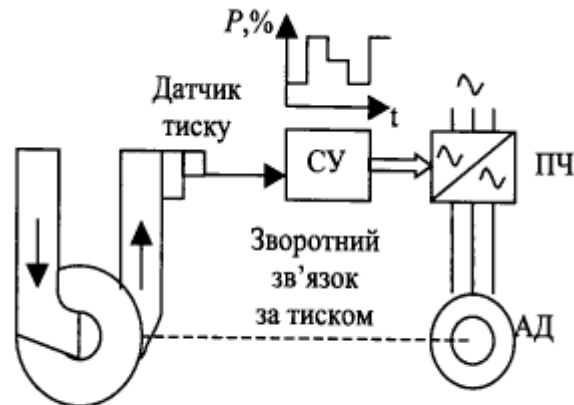


Рис. 5.25

До складу системи керування входять: універсальний регулятор технологічної змінної, а також генератор керуючих впливів на базі годин реального часу. Таке рішення дозволяє підтримувати тиск у трубопроводі на заданому відповідно добовій циклограмі рівні винятково засобами електропривода, без використання пром контролерів.

Перспективні системи керування електроприводами розробляються з орієнтацією на комплексну автоматизацію технологічних процесів і погоджену роботу кількох приводів у складі промислової мережі. Керування мережею бере на себе промконтро-лер чи керуюча ЕОМ (рис. 5.26).

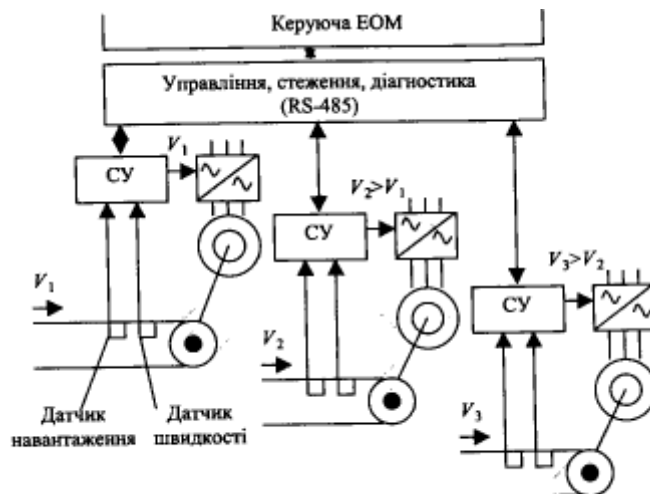


Рис. 5.26

Найбільш перспективні типи інтерфейсів: КЗ — 485 і САК. САК - інтерфейс поступово стає стандартом для розподілених систем керування на електричному транспорті і робототехніці.

- Прагнення гранично здешевити привод, особливо в масових застосуваннях у побутовій техніці (пилососи, пральні машини, холодильники, кондиціонери тощо) призвело до відмовлення від датчиків механічних змінних і переходу до систем бездатчикової керування. У цих системах для оцінки механічних координат привода (положення, швидкості, прискорення) використовуються спеціальні цифрові спостерігачі. Останнє можливо тільки при високій

продуктивності центрального процесора, коли система диференціальних рівнянь, що описують поведінку привода, може бути вирішена в реальному часі.

- Зрослі можливості мікропроцесорної техніки призвели до того, що при масовому виробництві виробів з обсягом випуску не менш 10000 штук на рік, виявляється можливим і економічно доцільним створення потужних однокристальних систем керування приводами на базі 05P — мікроконтролерів. Їх вартість при обмежених інтерфейсних функціях не буде перевищувати 10 - 20 дол. США.

Основні витрати при розробці систем керування приводами ґриходяться не на створення апаратної частини, а на розробку алгоритмічного і програмного забезпечення.

### ***3 Основні тенденції розвитку автоматизованого електропривода***

Сучасний електропривод являє собою конструктивну єдність електромеханічного перетворювача енергії (двигуна), силового перетворювача й пристрою керування. Він забезпечує перетворення електричної енергії в механічну відповідно до алгоритму роботи технологічної установки. Сфера застосування електричного привода в промисловості, на транспорті й у побуті постійно розширюється.

"Електротема" № 24 (56) 2004 року

Нині вже понад 60% всієї вироблюваної у світі електричної енергії споживається електричними двигунами. Отже, ефективність енергозберезувальних технологій значною мірою визначається ефективністю електропривода. Розробка високопродуктивних, компактних і економічних систем привода є пріоритетним напрямком розвитку сучасної техніки.

Останні десятиліття позначилися значними успіхами силової електроніки - було освоєно промислове виробництво біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT), силових модулів на їхній основі (стійки й цілі інвертори), а також силових інтелектуальних модулів (IPM) з убудованими засобами захисту ключів і інтерфейсами для безпосереднього підключення до мікропроцесорних систем керування. Збільшення ступеня інтеграції в мікропроцесорній техніці й перехід від мікропроцесорів до мікроконтролерів з убудованим набором спеціалізованих периферійних пристроїв зробили необоротною тенденцію масової заміни аналогових систем керування приводами на системи прямого цифрового керування.

Аналіз продукції провідних світових виробників систем привода дозволяє відзначити такі яскраво виражені тенденції розвитку електропривода:

- Неухильно знижується частка приводів із двигунами постійного струму й збільшується частка із двигунами змінного струму. Це пов'язано з низькою надійністю механічного колектора й вищою вартістю колекторних двигунів постійного струму порівняно із двигунами змінного струму. За прогнозами фахівців, до кінця століття частка приводів постійного струму скоротиться до 10% від загального числа приводів.

- Переважне застосування нині мають приводи з короткозамкненими асинхронними двигунами. Більшість таких приводів (близько 80%) —

нерегульовані. У зв'язку з різким здешевленням статичних перетворювачів частоти частка частотнорегульованих асинхронних електроприводів швидко збільшується.

• Природною альтернативою колекторним приводам постійного струму є приводи з вентильними, тобто електронно-комутованими двигунами. Як виконавчі безколекторні двигуни постійного струму (БДПС) переважно застосування одержали синхронні двигуни зі збудженням від постійних магнітів або з електромагнітним збудженням (для більших потужностей). Цей тип привода найбільш перспективний для верстатобудування й робототехніки, однак є найбільш дорогим. Деякого зниження вартості можна домогтися при використанні синхронного реактивного двигуна як виконавчого.

Приводом майбутнього, за прогнозами більшості фахівців стане привод на основі вентиляно-індукторного двигуна (ВІД). Двигуни цього типу прості у виготовленні, технологічні й дешеві. Вони мають пасивний феромагнітний ротор без обмоток або магнітів. Разом з тим, високі споживчі властивості привода можуть бути забезпечені тільки при застосуванні потужної мікропроцесорної системи керування в поєднанні із сучасною силовою електронікою. Зусилля багатьох розробників у світі сконцентровані в цьому напрямку. Для типових застосувань є перспективними індукторні двигуни із самозбудженням, а для тягових приводів — індукторні двигуни з незалежним збудженням з боку статора. В останньому випадку з'являється можливість двозонного регулювання швидкості за аналогією зі звичайними приводами постійного струму. Фахівці вважають, що вентильні двигуни зі збудженням від високоенергетичних постійних магнітів є найбільш перспективними з-поміж усіх типів електродвигунів, які застосовуються у сучасних регульованих електроприводах малої й середньої потужності. Це пояснюється цілим рядом конструктивних і техніко-експлуатаційних переваг двигуна порівняно з існуючими типами електричних машин:

- безконтактність і відсутність вузлів, що вимагають обслуговування. Відсутність у вентильних електродвигунів ковзних електричних контактів істотно підвищує їхній ресурс і надійність порівняно з електричними двигунами постійного струму або асинхронними двигунами з явно вираженою обмоткою ротора;

- більша перевантажувальна здатність за моментом (короткочасно кратність максимального моменту дорівнює 5 і більше);

- висока швидкодія;

- найвищі енергетичні показники (ККД і  $\cos$ ). ККД вентильних двигунів перевищують 90% і дуже мало міняються при зміні навантаження двигуна й при коливаннях напруги мережі живлення, тимчасом як у асинхронних електродвигунів максимальний ККД становить не більше 86% і залежить від зміни навантаження;

- мінімальне значення струмів неробочого ходу й робочих струмів, що дозволяє досить точно вимірювати навантаження на привод і оптимізувати режим роботи;

- мають практично необмежений діапазон регулювання частоти обертання (1:10000 і більше) і можливість регулювання частоти обертання за різними законами;

- у вентильних двигунів більш проста схема перетворювача порівняно з асинхронним частотнорегульованим електроприводом;

- низький перегрів вентильного електродвигуна збільшує термін служби електропривода, оскільки збільшується ресурс ізоляційних матеріалів, що працюють при більш низьких температурах. Цей же фактор дозволяє електроприводу працювати в нестандартних режимах з можливими перевантаженнями;

- мінімальні масогабаритні показники за інших рівних умов;

- значний термін служби (наробіток на відмову становить 10000 год. і більше), надійність. Ресурс електродвигуна й усього агрегату збільшується також за рахунок можливості оптимізації режимів роботи за швидкістю й навантаженням.

Однак у вентильних двигунів є й недоліки. Донедавна одним з основних недоліків, що перешкоджають широкому поширенню вентильних електроприводів в устаткуванні, де електродвигун і станція керування ним перебувають на значній відстані (наприклад, у нафтовидобутку), або в устаткуванні, що піддається значним механічним впливам вібраційного й ударного характеру була необхідність введення додаткових слабкострумів каналів керування підключенням тих фаз електродвигуна, які створюють максимальний момент із полюсами ротора, тобто необхідність спеціального датчика положення ротора. Але ця проблема останнім часом розв'язується.

Для більшості масових застосувань приводів (насоси, вентилятори, конвеєри, компресори тощо) потрібні невеликий діапазон регулювання швидкості (до 1:10, 1:20) і відносно низька швидкодія. При цьому доцільно використати класичні структури скалярного керування. Перехід до широкодіапазонних (до 1:10000), швидкодіючих приводів верстатів, роботів і транспортних засобів вимагає застосування більш складних структур векторного керування. Частка таких приводів становить зараз близько 5% від загальної кількості й постійно зростає.

Останнім часом на базі систем векторного керування розроблено ряд приводів із прямим цифровим керуванням моментом. Відмінною рисою цих рішень є гранично висока швидкодія контурів струму, реалізованих, зазвичай, на базі цифрових релейних регуляторів або регуляторів, що працюють на принципах нечіткої логіки (фазі-логіки). Системи прямого цифрового керування моментом орієнтовані насамперед на транспорт, на використання в кранах, ліфтах, робототехніці.

Ускладнення структур керування приводами потребує різкого збільшення продуктивності центрального процесора й переходу до спеціалізованих процесорів з об'єктно-орієнтованою системою команд, адаптованою до рішення завдань цифрового регулювання в реальному часі.

Зростання обчислювальних можливостей убудованих систем керування приводами супроводжується розширенням їхніх функцій. Крім прямого цифрового керування силовим перетворювачем реалізуються додаткові функції підтримки інтерфейсу з користувачем (через пульт оперативного керування), а також керування технологічним процесом.

До складу системи керування входять: універсальний регулятор технологічної змінної, а також генератор керуючих впливів на базі годинника реального часу. Таке рішення дозволяє підтримувати тиск у трубопроводі на



заданому рівні, відповідно до добової циклограми, винятково засобами електропривода, без використання промконтролерів.

Перспективні системи керування електроприводами розробляються з орієнтацією на комплексну автоматизацію технологічних процесів і погоджену роботу декількох приводів у складі промислової системи.

Прагнення гранично здешевити привод, особливо для масового застосування у побутовій техніці (пилососи, пральні машини, холодильники, кондиціонери тощо), призвело до відмови від датчиків механічних змінних і переходу до систем бездатчикового керування, де для оцінки механічних координат привода (положення, швидкості, прискорення) використовуються спеціальні цифрові спостерігачі. Це можливо тільки при високій продуктивності центрального процесора, коли система диференціальних рівнянь, що описують поведінку привода, може бути вирішена в реальному часі.

Сучасні можливості мікропроцесорної техніки призвели до того, що при масовому виробництві, з обсягом випуску не менш 10000 штук на рік, є можливим і економічно доцільним створення потужних, однокристальних систем керування приводами на базі DSP-мікроконтролерів. Їхня вартість при обмежених інтерфейсних функціях не перевищуватиме 10 - 20 \$. Основні витрати при розробці систем керування приводами припадають не на створення апаратної частини контролера, а на розробку алгоритмічного й програмного забезпечення. Тому роль фахівців в галузі теорії електропривода істотно зростає.

## **Лекція №12**

**Тема:** Вибір раціональних режимів роботи й експлуатації технологічних установок і електроприводу.

**Мета:** ознайомитися з методом вибору раціональних режимів роботи й експлуатації технологічних установок і електроприводу.

**Методи:** словесні, наочні.

### **План:**

- 1** Раціональний режим роботи підйомних установок
- 2** Раціональний режим роботи вентиляторних установок
- 3** Керування продуктивністю насосних установок

**Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:** конспект, підручник.

### **Література:**

**1** Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

## 1 Раціональний режим роботи підйомних установок

Шляхи економії електроенергії в підйомних установках: виконання оптимальної діаграми швидкості; забезпечення нормованого завантаження підйомних посудин; ліквідація або скорочення роботи на неробочому ході; контроль стану підйомних посудин; застосування досконалих видів електропривода; специфічні способи, обумовлені типом електропривода.

Оптимальною діаграмою швидкості з погляду витрати електроенергії буде та, де множник швидкості приймає найменше значення:

$$\lambda = \frac{V_{\max}}{V_{\text{ср}}} = \frac{V_{\max} T_n}{H_n},$$

де  $V_{\max}$   $V_{\text{ср}}$  - максимальна і середня швидкості руху підйомної ємності м/с;  $H_n$  - висота підйому, м;  $T_n$  - час підйому ємності, с.

Оптимальну діаграму швидкості можна одержати збільшенням прискорення при запуску й уповільнення при гальмуванні (в останньому випадку це доцільно при руховому уповільненні чи вільним вибігом), а також при збільшенні в припустимих межах максимальної швидкості підйому.

Виконання оптимальної діаграми швидкості забезпечується повною автоматизацією керування, у результаті чого підвищується продуктивність установки і забезпечується робота з мінімальною витратою електроенергії.

Для перевірки відповідності фактичної діаграми швидкості оптимальній необхідно не рідше одного разу в півріччя виконувати вимірювання швидкості та побудову графіка з наступною корекцією при відхиленні параметрів у схемі керування установкою.

При недовантаженні скіпів і вагонеток при видачі гірської маси, неповному завантаженню клітей при спуску - підйомі людей нераціональна витрата електроенергії складе:

$$\Delta W = W_{\text{ц}} n_{\text{нр}}, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де  $W_{\text{ц}} = \frac{A_{\text{об}}}{\eta_{\text{ф}}}$  - витрата електроенергії за один цикл підйому, кВтгод/цикл;  $A_{\text{об}}$  - добове споживання електроенергії підйомної установки (визначається за показниками лічильника активної енергії), кВт год/добу;  $\eta_{\text{ф}}$  - фактичне число підйомів за добу;  $n_{\text{нр}} = n_{\text{ф}} - n_{\text{рц}}$  - нераціональне число циклів за розрахунковий

$n$  -  $L$ -вий період часу  $T$  (дн);  $n_{\text{рц}}$  - раціональне число циклів за період

розрахунковий період при нормованому завантаженні підйомної ємності;  $A_{\text{ф}}$  - фактична кількість виданої гірської маси за розрахунковий період, т;  $Q_{\text{нр}}$  - нормована вантажопідйомність підйомної ємності.

Робота без навантаження пов'язана зі збільшенням нераціональних циклів і додатковою витратою електроенергії. Для її усунення необхідно мати графік роботи підйомної установки і суворо його дотримуватись.

У результаті налипання гірської маси на внутрішню поверхню скіпа знижується його фактична ємність і, як наслідок, знижується загальна продуктивність підйому, що дає додаткову витрату електроенергії. Контроль за станом скіпів повинен проводитися не рідше одного разу на місяць.

Недоліком реостатних систем керування роботою підйому є значні втрати енергії при пуску і гальмуванні. Частотно-керовані, ТП-Д та інші системи мають

високі регульовальні властивості і кращі техніко-економічні показники, в тому числі при меншій витраті електричної енергії.

При дводвигуновому електроприводі під час ремонтних і профілактичних робіт, а також у початковий момент прискорення чи гальмування можливо використовувати один двигун.

## **2 Раціональний режим роботи вентиляторних установок**

Сумарна встановлена потужність приводних двигунів вентиляторів, компресорів, насосів складає близько 20% від потужності всіх електростанцій СНД; при цьому тільки вентилятори споживають близько 10% від всієї енергії, продукованої в співдружності.

Обстеження Криворізького басейну показали, що більшість вентиляторних установок шахт мають ККД значно нижче норми (0,6, а в деяких випадках - 0,3..0,4). Тільки 22% вентиляторів працюють у зоні економічного використання. Фактично питома витрата потужності в 1,5...2 рази перевищує припустиму величину, а загальна вартість перевитрати електроенергії приводами головних вентиляторів складає четверту частину витрат електроенергії всіма установками за рік.

Це пояснюється тим, що більшість вентиляторів експлуатується поза зоною економічної роботи, тобто режим роботи вентиляторів не відповідає параметрам вентиляційних мереж (невідповідність фактичних значень еквівалентних отворів вентиляційних напрямків шахт їх проектним значенням; наявність великих підсмоктувань повітря з поверхні через зону обвалення і надшахтні споруди; обладнання вентиляторів нерегульованим приводом тощо.

Причиною низьких енергетичних показників вентиляторів є:

- змінний аеродинамічний опір мережі в процесі розробки шахтного поля. Вентилятор вибирається на максимальні значення продуктивності і тиску, що досягаються тільки через кілька років роботи. Тому вентилятор тривалий час працює в режимах, відмінних від розрахункового;

- відмінність реальних величин параметрів вентиляції (кількість метану, довжина і перетин виробок, витoki повітря тощо) від розрахункових призводить до того, що фактичний режим роботи вентилятора значно відрізняється від розрахункового;

- зміна величини природної тяги від пори року, а іноді і протягом доби залежно від температури повітря на поверхні;

- зміна метановиділення, що залежить від атмосферних, гірничо-геологічних факторів і призводить до простоїв у випадку підвищення припустимої концентрації чи до перевитрати електроенергії.

Експериментально встановлено, що коливання депресії між лютим і вереснем на деяких шахтах складає 20 мм.вод.ст. при зміні витрати повітря понад 12%. Особливо великі коливання природної тяги в районах з різко континентальним кліматом, де природна тяга має змінний напрямок у різний час року, а іноді й доби.

Шляхи економії електроенергії у вентиляторних установках: узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою вентиляційної мережі, підвищення ККД вентиляційної мережі, підвищення експлуатаційною ККД вентиляторних установок; регулювання продуктивності вентиляторних установок.

Робоча точка вентилятора визначається як точка перетину напірної характеристики вентилятора з характеристикою вентиляційної мережі. Вона повинна лежати на стійкій частині характеристики вентилятора і бути за можливістю ближче до точки, що відповідає максимальному ККД вентилятора. Якщо має місце неефективна робота вентилятора, то робочу точку можна перемістити в зону економічної роботи як за допомогою зміни робочих параметрів вентилятора, так і зміною характеристики вентиляційної мережі. Визначення робочої точки вентилятора при уточненні характеристики вентиляційної мережі повинно проводитись не рідше одного разу в півріччя.

Підвищення ККД вентиляційної мережі забезпечується за рахунок зниження підсмоктувань (витоків) повітря через надшахтні споруди і канали вентилятора та зниженням опору (депресії) вентиляційної мережі. Для зниження підсмоктувань повітря через надшахтні споруди необхідно поштукатурити стіни, закрити щілини, обладнати вікна подвійними рамами, а також упорядкувати роботу шлюзових і розвантажувальних пристроїв. Клітьові підйоми повинні бути обладнані спеціальними повітряними клапанами. Для зменшення підсмоктувань повітря у вентиляційних каналах необхідне ущільнювати ляди, забезпечивши ретельне припасування гуми, ще ущільнює, до рами і надійне кріплення останньої до бетону каналів; обладнати оглядові колодязі і входи в канал подвійними щільно прилягаючими лядами та прокладкою з м'якої гуми.

Для визначення стану шахтної вентиляційної мережі, що змінюється, необхідно періодично робити депресивні зйомки вентиляційних мереж, що дає загальну картину розподілу загально-шахтної депресії, на якій можна виділити ділянки різкого збільшення аеродинамічних опорів.

Стосовно цих ділянок і всієї вентиляційної мережі проводяться заходи щодо зниження опору протяжних ділянок і місцевих опорів:

- збільшення площі поперечного перерізу вентиляційних виробок шляхом їх перекріплення;
- поліпшення аеродинамічних властивостей виробок за рахунок їх затягувань, обшивання, штукатурки стін, згладжування кутів при вигинах виробок, установки обтічників на розстрілах тощо;
- зниження місцевих опорів шляхом усунення вагонеток і устаткування з виробок, розбирання завалів тощо.

Потужність, споживана з мережі двигуном вентиляторної установки, визначається виразом

$$P = \frac{HQ \cdot 10^{-3}}{\eta_s \eta_a}$$

Так, якщо в шахту подається  $Q = 200$  м<sup>3</sup>/с свіжого повітря при  $\eta_b = 0,65$ ,  $\eta_d = 0,85$  і за рахунок реконструкції вентиляційної мережі знизити загальношахтну депресію на 400 Па (розкріплення 500 м вентиляційного штреку зі збільшенням перетину з 4 м до 6 м<sup>2</sup>, видалення зі штреку двох вагонеток з інертним пилом, згладжування кута повороту струменя повітря), то одержимо річну економію (за  $T_n = 8760$  год. роботи вентилятора)

$$\Delta E = 400 \cdot 200 \cdot 8760 \cdot 10^3 / (0,65 \cdot 0,85) = 1270 \text{ тис. кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Підвищення експлуатаційного ККД вентиляторних установок досягається:

- виключенням роботи осьового вентилятора з переверненим колесом;

- забезпеченням нормативних зазорів робочого колеса;
- наявністю обтічника перед входом робочого колеса осьового вентилятора;
- забезпеченням нормативних параметрів дифузора на виході осьового вентилятора;
- точною установкою лопаток направляючого апарата;
- експлуатаційними змінами параметрів робочих коліс слабо-завантажених двоступеневих осьових вентиляторів;
- підвищенням активного навантаження двигуна вентилятора. Регулювання продуктивності вентиляторних установок може здійснюватися аеродинамічними способами і зміною частоти обертання робочого колеса вентилятора за допомогою регульованого електропривода.

### ***3 Керування продуктивністю насосних установок***

Насосні агрегати можна умовно розділити на три великі групи: потужні (понад 500 кВт) агрегати енергетичних об'єктів; промислові агрегати і насосні станції централізованого водопостачання (50-300 кВт); масові установки (2-50 кВт), до яких належать насоси з подачею 12-100 м<sup>3</sup>/год і напором 20-80 мм вод.ст.

У першій групі в силу її специфіки застосовуються прогресивні види електропривода. В другій і особливо в третій, найбільш масовій, дотепер переважає нерегульований електропривод з асин-<sup>x</sup>ронними короткозамкненими двигунами, а керування продуктивністю здійснюється вкрай неефективним способом — дроселюванням. Це не дозволяє забезпечити режим раціонального енер-

госпоживання і витрати води, пари, повітря тощо при зміні технологічних потреб у широких межах.

Характерним прикладом таких механізмів є насосні станції холодного і гарячого водопостачання та систем опалення жилих будинків і промислових споруд. Вибрані, виходячи з максимальної продуктивності, механізми значну частину часу працюють з меншою продуктивністю, що визначається зміною потреби в різні періоди часу. За деякими даними середньодобове навантаження насосів холодного водопостачання складає всього 50-55% максимального. Існуючі системи водопостачання не забезпечують помітного зниження споживаної потужності при зменшенні витрати, а також обумовлюють істотне зростання тиску (напору) у системі, що призводить до витоків води і несприятливо позначається на роботі технологічного устаткування і мереж водопостачання.

Насос має квадратичну залежність моменту опору від швидкості, а потужність на валу двигуна турбомеханізму зменшується в кубічній залежності при зниженні частоти обертання. Відповідно великі і можливості енергозбереження.

Традиційні способи регулювання подачі насосних установок полягають в дроселюванні напірних ліній насосів і зміні загального числа працюючих агрегатів за одним з технологічних параметрів — тиску на колекторі в точці мережі, рівню в прийомному чи регулюючому резервуарі тощо. Ці способи регулювання спрямовані на вирішення технологічних задач і практично не враховують енергетичних аспектів транспорту води. При такому регулюванні від 5 до 15%, а в окремих випадках до 25-30% споживаної електроенергії витрачається нерационально через:

- втрати енергії в дроселюючому органі;

- створення надлишкових напорів у трубопровідній мережі;
- витоків і непродуктивних витрат води в мережі й у споживача;
- збільшення геометричного підйому при відкачці води з резервуарів каналізаційних насосних станцій тощо.

Тому з появою надійного регульованого електропривода створилися передумови для розробки принципово нової технології транспорту води з плавним регулюванням робочих параметрів насосної установки без непродуктивних витрат електроенергії із широкими можливостями підвищення точності й ефективності технологічних критеріїв роботи систем водоподачі. При цьому геометричним місцем робочих точок насосної установки стають характеристики трубопроводів, а не характеристики насосів як у ви-

падку регулювання подачі насосних агрегатів з постійною частотою обертання.

Однак саме по собі оснащення насосної установки регульованим електроприводом не гарантує економії електроенергії. Щоб одержати економію електроенергії необхідно наступне. По-перше, переконатися в потенційній можливості її економити на об'єкті з урахуванням його технологічних, гідравлічних і режимних характеристик, а, по-друге, розробити раціональні технічні рішення з урахуванням додаткових капітальних витрат на їх впровадження і здійснити такий алгоритм керування насосною установкою, при якому практично реалізується потенційна можливість економії електроенергії.

Для розв'язання цих задач обов'язковий системний підхід, коли насосна установка як об'єкт аналізу і керування розглядається з погляду кількісної визначеності всіх параметрів стану взаємопов'язаних характеристик працюючих регульованих і нерегульованих насосів, характеристики трубопровідної мережі, режим енергоспоживання насосної установки, частоти обертання електроприводів, діапазону і характеру розподілу подач насосної установки тощо.

Рис. 4.4 ілюструє можливості зниження потужності, споживаної дншунтом насоса, при регулюванні швидкості електропривода в порівнянні з регулюванням дросельною заслінкою.

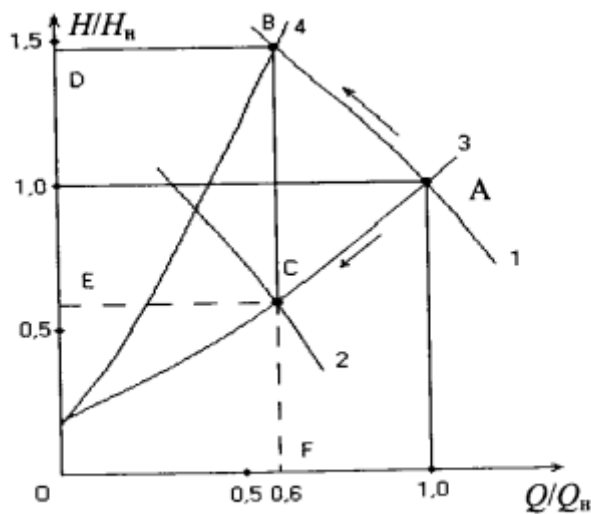


Рис. 4.4

При номінальній витраті і напорі насос працює в точці А, що відповідає характеристиці магістралі 3 і характеристиці  $0 - H$  на-

соса (крива 1) при номінальній швидкості двигуна. Зі зменшенням витрати при нерегульованому електроприводі (на малюнку показана витрата, що складає

0,6 $\eta_n$ ) за рахунок дросельного регулювання відбувається зміна опору магістралі (крива 4). Насос працює в точці В кривої 1, що призводить до зростання напору, який стає більшим від номінального. Потужність, споживана насосом, пропорційна площі прямокутника СЮВР.

При використанні регульованого електропривода за рахунок зниження швидкості насос працює при зниженні витрати в точці С, що відповідає іншій характеристиці (крива 2) при незмінній характеристиці магістралі (крива 3). Потужність, споживана електроприводом у цьому випадку, пропорційна ОЕСР, що наочно ілюструє можливість істотного зниження енергоспоживання при впровадженні регульованих електроприводів насосів. Найкращі техніко-економічні показники при регулюванні швидкості насосів забезпечує система ПЧ-АД.

Щоб повніше представити енергетичні процеси в насосній установці, обладнаній регульованим електроприводом, варто враховувати, що переміщення робочих координат насоса щодо характеристики водоводу при зниженні подачі насосної установки призводить, як правило, до виходу робочих точок насоса з робочої зони, тобто до зниження ККД працюючих агрегатів, а в ряді випадків до кавітаційного чи помпажного режиму. Особливо значних змін зазнає ККД регульованих насосів - у них він може змінюватися від номінальних значень до нуля, коли при зниженні частоти обертання тиск, що розвивається насосом, дорівнює або нижче тиску, створюваного роботою паралельно ввімкнених насосів, чи геометричного підйому.

На рис. 4.5 показана у відносних одиницях  $n^* = n/n_m \setminus H_{ст}/H_{ф}$  область значень ККД регульованого насоса  $\eta_i$ , обмежена величинами  $\eta_c = 0,95\eta_n$  і  $\eta_i = 0,1\eta_n$ . Тут  $n$  - поточна і  $n_m$  - номінальна частота обертання насоса;  $H_{ст}$  - геометричний підйом чи протитиск і фіктивний напір насоса при нульовій подачі.

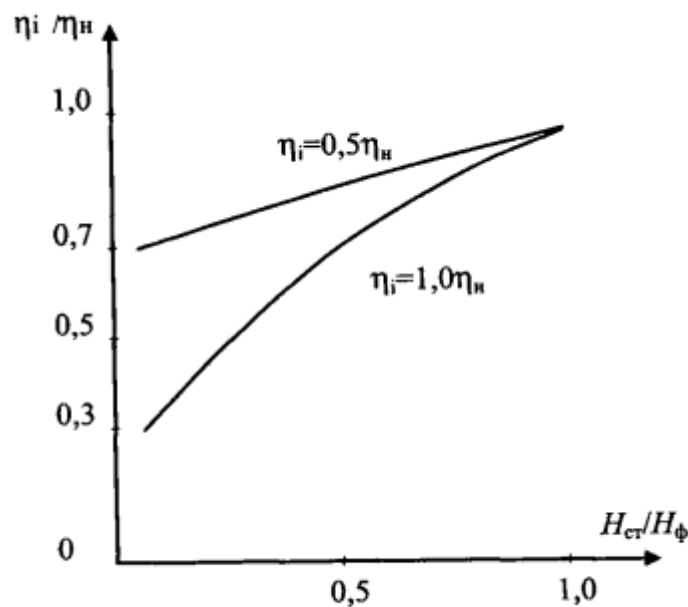


Рис. 4.5

З рисунка видно, що значення ККД залежать як від частоти обертання, так і від поточних координат насоса, водоводу і протитиску в мережі. Тому закономірна поява питання, якою мірою зниження ККД насоса при зменшенні обертів компенсується зниженням напорів при русі по траєкторії водоводу. Визначено, що для регульованого насоса залежно від його характеристик, а також характеристик паралельно працюючих насосів і трубопровідної мережі існує обмежений інтервал



частоти обертання, на якому його енергетичні характеристики не гірші ніж при номінальній частоті

обертання.

На рис. 4.6 зображені криві, що відбивають залежності відносних питомих витрат електроенергії  $W^*$  на перекачування одиниці об'єму води від відносної частоти обертання  $(n/n_n)$  насоса при різних значеннях протитиску в мережі.

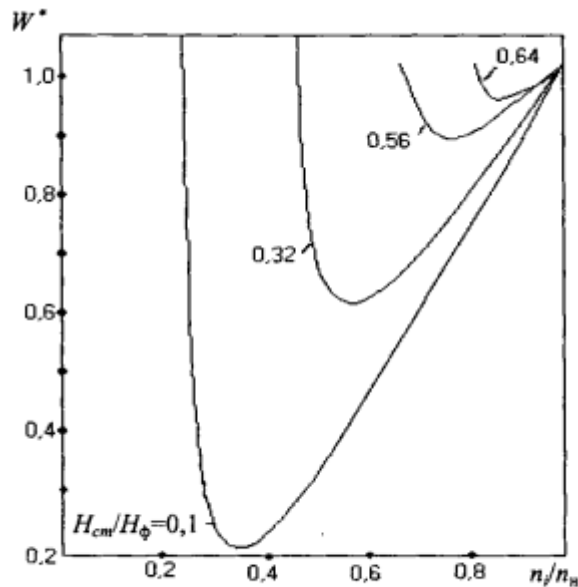


Рис. 4.6

Залежності мають яскраво виражений екстремальний характер. Спочатку при зниженні частоти обертання від номінальних обертів питомі витрати електроенергії знижуються, а потім, коли економія електроенергії від зниження напору стає сумірною з втратами від зниження ККД насоса, виявляється екстремум функції. В подальшому зменшення частоти обертання призводить до різкого зростання питомих витрат електроенергії, і ліва ділянка кривих прямує в нескінченність при прямуванні ККД насоса до нульового значення. Абсолютне значення екстремуму кривих залежить від протитиску з боку працюючих насосів. При зміні числа насосів екстремум зміщується в ту чи іншу сторону.

Оскільки системи водоподачі є динамічними об'єктами, у яких постійно змінюються в часі робочі параметри, насосна установка може потрапити в режим роботи, при якому значення ККД виявляться занадто низькими (до 0,1). За деяких умов цей режим може бути тривалим (до 3-5 год. на добу). Щоб уникнути таких режимів, уже на стадії розробки САУ розраховують режимні точки, при яких варто робити зміну загального числа працюючих агрегатів, щоб мінімізувати енергоспоживання насосної установки. При реалізації систем автоматичного керування застосовуються технічні рішення, що дозволяють утримувати регульовані агрегати від входження в зону низьких значень ККД насоса. Ці рішення використовують сучасну програмувальну мікропроцесорну регулюючу апаратуру, здатну ідентифікувати об'єкт керування і розраховувати поточні значення настроювальних параметрів САУ. Потім за допомогою регульованого електропривода перемішувати вектор параметрів стану об'єкта відповідно до критерію регулювання, що розраховується тим самим регулюючим пристроєм або задається по зовнішній програмі.

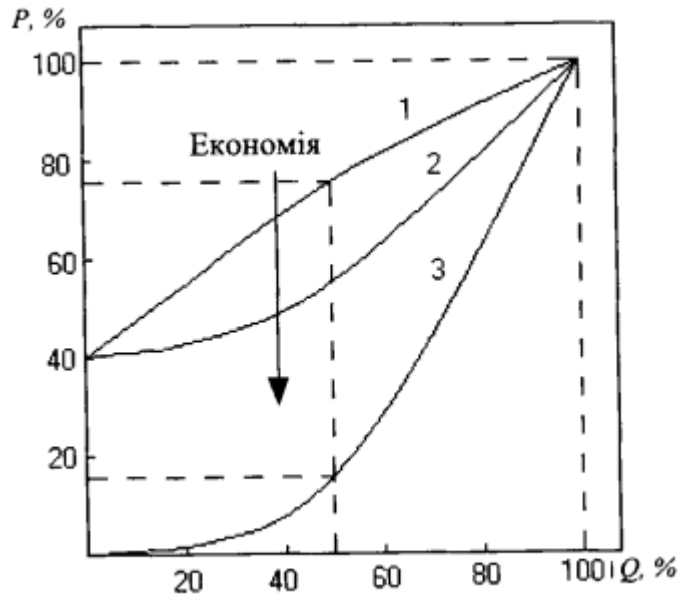


Рис.4.7

На рис.4.7 порівнюються криві необхідної потужності насосних приводів трьох принципів керування. Як видно з рисунка при подачі в обсязі 50% розрахункового максимуму необхідна потужність при дроселюванні (крива 1) складає 73%, при використанні запірно-регулюючої арматури (крива 2) - тільки 50% номінальної, при регулюванні частоти обертання електродвигуна (крива 3) - всього 14% номінальної потужності.

Економічність визначається не тільки енергетичними витратами, враховуються також шуми при регулюванні. Рис.4.8 показує зміну рівня звукового тиску (шумів) при регулюванні потоку з трьома різними системами. Тут: 1- регулювання дроселем; 2- використання запірно-регулюючої арматури; 3- регулювання частоти обертання електродвигуна.

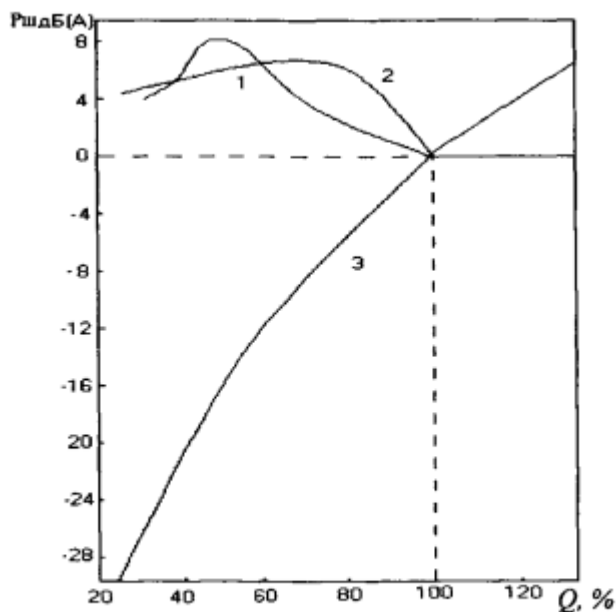


Рис.4.8

Виходячи з номінальної точки, показане зростання рівня звуку для обох механічних систем, особливо в діапазоні частот потрібного робочого режиму - від 40 до 80% проектного максимуму. У цьому випадку при електричному регулюванні частоти обертання електродвигуна рівень звуку падає на 20 дБ. У

порівнянні з механічною системою виграш складає 20-30 дБ, завдяки чому витрати на шумознижуючі заходи значно зменшуються.

Для кількісної оцінки економії електроенергії і води при впровадженні регульованого електропривода на одній з підкачуваль-них насосних станцій холодного водопостачання, житлових будинків був установлений частотно-регульований електропривод, що забезпечує сталість напору на виході насоса незалежно від витрати, і виконані запис тиску на вході і виході насосної станції та виміри витрати електроенергії і води при роботі в нерегульованому і регульованому режимах. Насос з номінальною подачею 100 м<sup>3</sup>/грд і напором 32 м приводився в обертання асинхронним двигуном потужністю 15 кВт. Проведені вимірювання показали, що за рік економія електроенергії склала близько 45500 кВт • год (40,5%), а економія води — 114135 м<sup>3</sup> (25%). При економічному ефекті тільки за рахунок економії електроенергії вартість електричного устаткування для регулювання частоти обертання електродвигуна окупиться за рік експлуатації.

Наведений приклад переконливо підтверджує можливість істотного зниження енергоспоживання при використанні систем регульованих асинхронних електроприводів (особливо ПЧ-АД). Попередні розрахунки показують, що при широкому впровадженні частотно-регульованих приводів можна заощадити 7-10% виробленої електроенергії.

Поява регульованого електропривода в насосних установках систем водопостачання і водовідведення дозволить створити принципово нову енергозберігаючу технологію транспорту води, у якій заощаджується не тільки електроенергія, але і зберігається теплова енергія, скорочується витрата води за рахунок витоків її при перевищеннях тиску в магістралі, коли витрата мала. При частотному регулюванні насосів можна в значній мірі уникнути аварійних ситуацій за рахунок запобігання гідравлічним ударами, що виникають при зміні режимів роботи і пуску системи при нерегульованому електроприводі. Отримано можливість гнучкого й оперативного розв'язання задач водоподачі і водовідведення при істотному зниженні витрати електроенергії при перекачуванні води і стоків. Однак, щоб реалізувати таку можливість, необхідно на всіх стадіях розробки, впровадження й експлуатації систем керування режимом водоподачі мати у своєму розпорядженні максимально повну кількісну інформацію про стан об'єкта автоматизації.