

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Конспект лекцій

Суми-2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
КАФЕДРА „ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ”**

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Конспект лекцій

для здобувачів вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за спеціальністю 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(2 курсу денної та заочної форми навчання)
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

УДК 621.3

Укладач: **Сіренко В.Ф.**, к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Вольвач Т.С., асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Лисенко В.В., зав. навч.-методичним кабінетом кафедри енергетики та електротехнічних систем

Основи електротехнологій в сільському господарстві:
конспект лекцій для здобувачів вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» 2 курсу денної та заочної форми навчання) за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти - Суми, 2024. - 172с.

Рецензенти:

Кравченко В.О. – кандидат фізико-математичних наук, старший викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ.

Лобода В.Б. – кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри охорони праці та фізики Сумського НАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри «Енергетика та електротехнічні системи».

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно - технологічного факультету СНАУ.

Протокол № 6 від „22” травня 2024 р.

1	Джерела енергії для електротехнологій. Основні властивості палива	5
2	Основні закони електротехніки	12
3	Генерація електричної енергії.	23
4	Електричні мережі	27
5	Електричні машини змінного струму	37
6	Електромеханічний привод.	48
7	Основи електробезпеки	67
8	Завдання електротехнології	74
9	Омічний електронагрів в технологіях виробництва	88
10	Роль наукових досліджень в розвитку ефективних електротехнологій	94
11	Використання статичного електричного поля в рослинництві та тваринництві	101
12	Застосування електромагнітних полів широкого спектра частот	115
13	Низькоенергетичні лазерні електротехнології в АПК	130
14	Ультразвукові установки.....	145
15	Електрогідравлічні установки.....	161
16	Список використаних джерел	171

Тема 1. Джерела енергії для електротехнологій. Основні властивості палива

План

1. Основні положення енергетики. Термодинамічні основи теплоенергетичних установок.
2. Паливо та процес його згорання.
3. Аспекти функціонування, взаємодії палива з довкіллям

1. Основні положення енергетики. Термодинамічні основи теплоенергетичних установок.

У всьому світі понад 80 % теплової та електричної енергії одержують, спалюючи викопне органічне паливо і перетворюючи його хімічну енергію на електричну і теплову. Близько 80 % усіх видів забруднень біосфери зумовлено саме енергетичними процесами.

Через інтенсивне використання невідновлюваних паливно-енергетичних ресурсів планети у XX ст. їх запаси значно зменшилися. У структурі викопного органічного палива питома вага нафти становить майже 45 %, природного газу - 18 %, вугілля - 37 %. Загальне уявлення про світове використання енергоресурсів за останні 100 років дають дані табл. 1.

Нафту, природний газ і вугілля спалюють у таких кількостях, що продукти їх згорання (шкідливі й токсичні газові викиди та аерозолі) змінюють склад атмосфери, забруднюють гідросферу та літосферу. В атмосферу щорічно викидаються десятки мільярдів тонн газоподібних і паротвірних сполук, твердих частинок, склад яких визначається видом і умовами спалювання органічного палива. Це прямо стосується й енергетики України.

Щоб пересвідчитись в цьому достатньо проаналізувати загальні дані споживання основних видів органічного палива в світі (табл. 1) і, зокрема, ПЕК України (табл. 2).

Таблиця 1 - Сумарне світове енергоспоживання

Показник	1900	1950	1975	1990	2000
Сумарне енергоспоживання, млрд. т у.п.	0,95	2,86	8,6	17,0	30,0
Населення, млрд. осіб	1,62	2,5	3,8	4,6	6,0
Питомі енерговитрати (т у.п. на 1 особу на рік)	0,59	1,16	2,32	3,7	5,0

Таблиця 2 - Споживання органічного палива в Україні станом на кінець XX ст.

Види палива	Паливно-енергетичний комплекс	Мала енергетика	Усього
Природний газ	124 млрд м ³ (142млн т у.п.)	74 млрд м ³ (85млн т у.п.)	198 млрд м ³ (227млн т у.п.)
Нафта і нафтопродукти	41 млн т (56 млн т у.п.)	25 млн т (34 млн т у.п.)	66 млн т (90 млн т у.п.)
Вугілля	128 млн т (90 млн т у.п.)	77 млн т (34 млн т у.п.)	206 млн т (124 млн т у.п.)
Усього	286 млн т у.п.	174 млн т у.п.	460 млн т у.п.

2. Паливо та процес його згорання.

Розрізняють повне та неповне згорання палива. У процесі повного згорання вся хімічна енергія палива переходить в теплову, немає хімічної та механічної неповноти згорання. В продуктах згорання, крім азоту та надлишкового кисню, знаходяться тільки оксиди горючих елементів вищих порядків (CO_2 , H_2O , SO_2). Такий склад продуктів згорання називають теоретичним.

У процесі неповного згорання до теоретичного складу додаються продукти неповного згорання у вигляді: CO , H_2O , CH_4 (якщо згорає природний газ); C та C_xH_y , а також CO (якщо згорає тверде та рідке паливо).

Залежно від співвідношення між кількістю палива та окисника (за-звичай - чисте повітря або повітря, забаластоване продуктами згорання) розрізняють стехіометричне та нестехіометричне горіння.

Стехіометричне горіння визначається подачею в зону горіння теоретично потрібної кількості окисника (стехіометричним коефіцієнтом). При цьому коефіцієнт надлишку повітря дорівнює одиниці ($\alpha = 1,0$).

Нестехіометричне горіння має місце при значеннях $\alpha > 1,0$ або $\alpha < 1,0$. Якщо $\alpha > 1,0$ - в продуктах згорання є надлишковий кисень та оксиди горючих елементів, якщо $\alpha < 1,0$, - в продуктах згорання фіксують нестачу кисню і, крім оксидів вищих порядків, продукти неповного згорання (здебільшого у вигляді CO , H_2 , C_xH_y). При цьому утворюється джерело забруднення середовища в теплоенергетиці, а саме газоподібні продукти згорання органічного палива, що викидаються через димову трубу.

Основа **горіння** - реакції окиснення горючих складових палива, у результаті яких вихідні речовини (паливо й окиснювач) перетворюються на компоненти (продукти згорання) з іншими фізичними і хімічними властивостями. Характерною ознакою горіння є процес, що швидко відбувається, супроводжується інтенсивним виділенням теплоти, різким підвищенням температури й утворенням розжарених продуктів згорання з різним ступенем світності.

Процес горіння газоподібного палива умовно можна розділити на дві стадії: перша - утворення горючої суміші (суміші палива і повітря); друга - її нагрівання, запалення і горіння. Складніший процес горіння рідкого палива. Початковою стадією є

нагрівання, розпилювання і випаровування пального. Краплини та пара пального змішуються з повітрям, і горюча суміш випаровується, запалюється і згорає.

У процесі горіння твердого палива в топках енергетичних котлів початковою стадією є подрібнення палива та транспорт аеросуміші до пальників факельних топок.

Потрапляючи в топку, частинки твердого палива підсушуються, підігріваються. Далі при відповідній температурі леткі виходять, спалахують і вигорають, після чого вигорає коксовий залишок.

Залежно від агрегатного стану палива та окиснювача розрізняють гомогенне і гетерогенне горіння. Якщо агрегатний стан палива й окиснювача однаковий і між ними немає поверхні поділу фаз, то вони утворюють гомогенну систему. Якщо ж агрегатний стан палива й окиснювача різний, то вони утворюють гетерогенну систему.

Якщо швидкість перебігу хімічної реакції між паливом і окиснювачем значно нижча за швидкість утворення горючої суміші, то підсумкова швидкість процесу горіння лімітується лише швидкістю хімічної реакції, тобто процесами хімічної кінетики. Таке горіння називають кінетичним. Якщо ж швидкість підведення окиснювача до палива менша за швидкість хімічної реакції окиснювання, то сумарна швидкість горіння не залежить від швидкості реакції і лімітується лише швидкістю процесу сумішоутворення або процесом дифузії кисню до палива. Таке горіння називають дифузійним.

3. Аспекти функціонування, взаємодії палива з довкіллям.

Закономірності утворення екологічно шкідливих речовин під час горіння палива.

Склад продуктів згорання і кількісні співвідношення в них окремих компонентів залежать від властивостей і складу палива, а також від ступеня завершеності реакції горіння. У цьому можна переконатися на прикладі спалювання природного газу, що, як відомо, переважно складається із суми вуглеводнів C_nH_m . Крім вуглеводнів C_nH_m , у природному газі, що надходить зі скважини, міститься деяка кількість води H_2O і сірководню H_2S . Природний газ перед подачею споживачеві очищують, видаляючи з нього вологу і сірководень.

У результаті згорання вуглеводнів C_nH_m на одну молекулу паливної компоненти утворюється n молекул вуглекислоти CO_2 і $m/2$ молекул водяної пари H_2O . Названі компоненти належать до так званих парникових газів, збільшення концентрації яких визначає зміну умови теплової рівноваги на поверхні Землі. Крім того, у місцях великої концентрації валових викидів водяної пари можуть бути негативні наслідки, пов'язані з локальною зміною мікроклімату.

Крім продуктів повного згорання CO_2 і H_2O , азоту N_2 і надлишкової кількості кисню O_2 у димових газах можуть міститися продукти неповного згорання у вигляді оксиду вуглецю CO , що в побуті називають чадним газом, водню H_2 і незгорілих вуглеводнів. Одним із токсичних продуктів неповного згорання є формальдегід CH_2O . Останній характеризується токсичністю, що у сотні разів більша за токсичність CO .

Серед безлічі реакцій, що відбуваються в зоні горіння, є так звані проміжні реакції, у результаті яких можуть утворюватися сажа C і ароматичні дуже токсичні вуглеводні, основним представником яких є бензапирен $C_{20}H_{12}$.

Сажисті частинки потрапляють у простір у вигляді аерозолів і зі збільшенням їх концентрації негативно діють на дихальні органи людини.

Ще більшою екологічною небезпекою для навколишнього середовища є одночасний викид сажі та бензапірену. Це зумовлено тим, що, маючи високі адсорбційні властивості, частинки сажі концентрують на своїй поверхні бензапірен, сильнодіючий канцерогенний ефект якого спричиняє ракові захворювання в населення.

Серед проміжних реакцій у зоні горіння відбуваються також реакції дисоціації. Наприклад, реакція дисоціації кисню



у результаті якої з однієї молекули утвориться два атоми кисню.

Атоми кисню O характеризуються підвищеною хімічною активністю і, зіткнувшись зі зазвичай нейтральною молекулою азоту N_2 при високих температурах, сприяють реакції утворення так званого термічного оксиду азоту NO



У результаті реакції утвориться активний атом азоту N що реагує з киснем з утворенням додаткового оксиду азоту і хімічно активного атомарного кисню:



У продуктах згорання утвориться відповідна кількість оксидів азоту, концентрація яких залежить від багатьох чинників і насамперед від рівня температур у зоні горіння. Тому такі оксиди азоту називають термічні. Теорію їх утворення вперше розробив Я. Б. Зельдович.

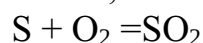
У процесі спалювання рідкого і твердого палива, як і з природного газу, утворюються компоненти продуктів повного згорання CO_2 і H_2O , що є парниковими газами, а також оксиди сірки SO_2 і частково SO_3 . Оксиди сірки також належать до парникових газів, але найбільша їх екологічна небезпека полягає у високій токсичності і здатності утворювати кислотні дощі.

Природа утворення оксидів сірки під час спалювання рідкого і твердого палива різна.

Під час спалювання рідкого палива одним із джерел утворення SO_2 є сполуки, що містять органічну сірку, наприклад метилмеркаптан - CH_3S .

Крім того, до складу макромолекули рідкого і твердого палива входить тіофен $\text{C}_4\text{H}_4\text{S}$, що також є джерелом утворення SO_2 .

Якщо відомо елементарний склад палива, то з хімічного рівняння



видно, що у процесі спалювання 1 кг палива утвориться 2Sp на 100 кг діоксину сірки (де Sp - уміст сірки в робочій масі палива, %).

До складу рідкого і твердого палива входять також азот палива N у вигляді сполук типу піролу $\text{C}_4\text{H}_5\text{N}$ і піридину $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$. Ці сполуки можуть бути додатковим джерелом утворення так званих паливних оксидів азоту.

Під час спалювання рідкого і твердого палива, порівняно з природним газом, додатково утворюються не лише оксиди сірки і паливні оксиди азоту, але й виникає проблема з утворенням золи. Це особливо актуально щодо спалювання високозолистого твердого палива, зольність якого Ar може перевищувати 30 %. Спалювання твердого палива спричиняє дві екологічні проблеми:

викиди частинок золи у вигляді аерозолу в атмосферу;

нагромадження великої кількості твердих відходів у вигляді золошлакових відвалів поблизу джерела спалювання твердого палива.

Наявність золошлакових відвалів призводить до теплового забруднення літосфери й атмосфери, до спотворення ландшафту і забруднення ґрунтових вод.

Потрапляння відповідної до рівня кількості незгорілого палива подовжує окисні та інші реакції всередині відвального об'єму з утворенням «букета» токсичних газів, що забруднюють атмосферу.

Оксиди азоту NO_x і сірчистий ангідрид SO_2 - найпоширеніші токсичні сполуки, що викидаються в атмосферу під час спалювання органічного палива в котлах. Рівень викидів NO_x і SO_2 істотно залежить від виду і складу палива. Так, утворення сірчистого ангідриду SO_2 в димових газах залежить від сірчистості палива, а його валовий викид визначається співвідношенням

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02BSp(1 - p_{\text{SO}_2})(1 - p''_{\text{SO}_2}),$$

де B - витрата палива, кг/с; Sp - уміст сірки в робочій масі палива, %; p_{SO_2} - частка оксидів сірки, що зв'язується леткою золою в котлі (змінюється в діапазоні 0,02...0,8); p''_{SO_2} - частка оксидів сірки, що вловлюється у вологому золовловлювачі разом з твердими частинками (залежить від лужності сірки в робочій масі палива і може змінюватися в діапазоні 0. 0,8, досягаючи найвищого рівня в умовах великої лужності води та малої сірчистості палива).

Високий ступінь екологічного ризику під час спалювання органічного палива зумовлює потребу реалізувати заходи щодо охорони навколишнього середовища від шкідливих викидів. Ці заходи мають різноплановий характер і різний ступінь ефективності.

Знизити NO_x можна:

- зменшенням коефіцієнта надлишку повітря в топці котла;
- збільшенням рециркуляції димових газів;
- зменшенням одиничної потужності пальників;
- застосування стадійного (або ступеневого) горіння факела в топці котла;
- подача води або водяної пари в зону горіння.

За наявності відповідних можливостей ефективним засобом є використання екологічно чистого палива (наприклад, краще природний газ, ніж мазут і тверде паливо). Такий метод належить до групи активних методів охорони навколишнього середовища.

До пасивних методів можна віднести встановлення обмежень на граничнодопустимі концентрації, визначення мінімально допустимої висоти димової труби, що забезпечує дотримання норм приземних граничнодопустимих концентрацій відповідних викидів у населеній місцевості.

Вплив на довкілля

Вплив на довкілля, спричинений виробництвом електричної енергії

Споживання енергії пов'язане майже з усіма видами господарської діяльності людини, а саме опаленням будинків, приготуванням їжі, рухом транспортних засобів, промисловістю, сільськогосподарським виробництвом, тощо. Освоєння різних видів енергії у світовому масштабі призвело до безпрецедентного зростання рівня життя. Сьогоднішні люди дуже залежні від енергії. Ми не замислюємося про, те, звідки береться енергія, доки у нас не відключають світло або опалення. Якщо ж це трапляється, ми не можемо повноцінно жити чи працювати.

Основні доступні наразі людині джерела енергії можна класифікуються таким чином:

- викопне паливо (вугілля і горючі сланці, нафта, природний газ);
- ядерна і термоядерна енергія;
- відновлювані енергетичні ресурси (енергія води, вітру, сонця, термальних вод, деревини, торфу тощо).

Виробництво енергії істотно впливає на стан довкілля. Спалювання викопного твердого та рідкого палива супроводжується виділенням сірчистого, вуглекислого і чадного газів, а також оксидів нітрогену, пилу, сажі та інших забруднювальних речовин.

Видобуток вугілля відкритим способом та торфозробки, ведуть до зміни природних ландшафтів, а іноді й до їх руйнування. Розливи нафти і нафтопродуктів при видобутку і транспортуванні здатні знищити все живе на величезних територіях (акваторіях).

Дуже погано позначається на ландшафтах, рослинному і тваринному світі створення інфраструктури, необхідної для вугле, нафто та газовидобутку.

Будівництво та експлуатація великих гідроелектростанцій приводить до: відселення людей із зони затоплення, знищення цінних видів риб, для яких греблі стають нездоланими перешкодами на шляху до нерестовища, втрати лісів і високородючих земель, збільшення ризику виникнення руйнівних землетрусів у передгірних і гірських районах, підвищення ризику катастрофічних повеней у місцевостях, що знаходяться нижче за течією, зміни ландшафтів і їх руйнування.

Атомна енергетика є потенційно небезпечною через можливі аварії на енергоустановках, що супроводжуються викидом у довкілля радіоактивних матеріалів. Окрім того, викликають проблеми переробки ядерних відходів та їх захоронення, що обходиться дуже дорого і не має надійного інженерного рішення. Ядерні відходи залишаються небезпечними протягом сотень і тисяч років. Особливо актуальною ця тема є для України, котра постраждала від наслідків вибуху на Чорнобильській АЕС.

Незважаючи на очевидні переваги, відновлювані джерела енергії також можуть негативно впливати на довкілля. Експлуатація станцій, які виробляють енергію за допомогою відновлюваних енергетичних джерел, пов'язана з вилученням з обігу значних земельних ділянок і, ймовірно, в майбутньому буде супроводжуватися тими чи іншими негативними наслідками для довкілля: змінами ландшафтів (вітряки, сонячні батареї), підвищеним рівнем шуму (вітряки), забрудненням ґрунтів (геотермальні енергоустановки та установки, які працюють на біомасі), згубними впливами на інші природні ресурси (припливно-відпливні електростанції).

В останні роки світові політики і населення висловлюють побоювання через загострення глобальних екологічних проблем таких, як кислотні опади та зміна клімату, а також оцінюючи наслідки впливу цих процесів на довкілля.

Враховуючи вищеописану ситуацію найраціональнішим рішенням можна вважати енергозбереження. Саме воно повинно стати пріоритетним у стратегії розвитку будь-якої країни, адже запаси традиційних джерел енергії обмежені.

Бензапірен - Хім. формула C₂₀H₁₂

Контроль вмісту бензапірену в природних продуктах проводиться методом рідинної хроматографії. Володіє сильною люмінесценцією у видимій частині спектру (в концентрованої сірчаної кислоти - А 521 нм (470 нм) ; F 548 нм (493 нм)), що дозволяє виявляти його в концентраціях до 0,01 ppb люмінесцентними методами

У чистому вигляді , являє собою жовті пластинки і голки , легко розшаровуються на дрібніші . Добре розчинний у неполярних органічних розчинниках , бензолі , толуолі , ксилолі , обмежено розчинний у полярних , практично не розчиняється у воді.

Біологічний вплив

Хімічна сполука бензапирена з нуклеотидами молекул ДНК може призводити до тяжких видів пороків і каліцтв у новонароджених

Бензапірен є найбільш типовим хімічним канцерогеном навколишнього середовища , він небезпечний для людини навіть при малій концентрації , оскільки має властивість біоаккумуляції . Будучи хімічно порівняно стійким , бензапірен може довго мігрувати з одних об'єктів в інші . У результаті багато об'єктів і процеси навколишнього середовища , що самі не володіють здатністю синтезувати бензапірен , стають його вторинними джерелами.

Бензапірен робить також мутагенну дію. Міжнародна група експертів віднесла бензапірен до числа агентів , для яких є обмежені докази їх канцерогенної дії на людей і достовірні докази їх канцерогенної дії на тварин. В експериментальних дослідженнях бензапірен був випробуваний на дев'яти видах тварин , включаючи мавп. В організм бензапірен може надходити через шкіру , органи дихання , травний тракт і трансплацентарним шляхом. При всіх цих способах впливу вдавалося викликати злоякісні пухлини у тварин.

Аерозолі (рос. аэрозоли, англ. aerosols, нім. Aerosole, Luftkolloide, aerosol Schwebstoffe) — дисперсні системи, що складаються з дрібних твердих або рідких частинок (дисперсна фаза) та дисперсійного газового середовища (наприклад, повітря) де зависли ці частинки. Аерозолі присутні в атмосфері шахт, кар'єрів, копалень, збагачувальних фабрик, брикетних фабрик, на ряді підприємств хімічної промисловості, коксохімії тощо. За характером утворення розрізняють диспергаційні і конденсаційні аерозолі.

Диспергаційні аерозолі виникають під час розбризкування рідин, дроблення і подрібнення твердих речовин, особливо тонкого подрібнення в струминних млинах, переходу до завислого стану порошків, руйнування вугільного і породного масивів (буріння шпурів і свердловин, підривні роботи, при роботі комбайнів гірничих, екскаваторів і ін.).

Конденсаційні аерозолі утворюються під час конденсації пари. Швидкість осідання частинок аерозолів дуже мала. Частинки аерозолів мають розміри від найбільших молекул (від 1 нм) до 100 мкм, їхній вміст в 1 см³ повітря — від декількох одиниць до декількох тисяч. Аерозолі поділяються на тумани (дисперсна фаза — краплі рідини 10 мкм), дими (частинки 0,1-5 мкм), смог (0,1-50 мкм) та пил (до 10-100 мкм). Тонкодисперсну тверду речовину аерозолів називають порошком. Пил, що осів, та порошок — тотожні поняття. Тверді частинки аерозолів, що осіли (тонкий порошок) згідно з термінологією колоїдної хімії називають аерогелем.

У вигляді аерозолів спалюють рідке та порошкоподібне паливо на ТЕС, іноді — в малих котлоагрегатах, наносять лакофарбові суміші тощо. Приготування аерозолів з флотаційних реагентів забезпечує підвищену ефективність флотації та зменшення витрат реагентів завдяки рівномірнішому їхньому розподілу у масі флотаційної пульпи

і збільшенню загальної поверхні крапель. Аерозоль виникає при деяких процесах зневоднення корисних копалин, наприклад, методом механічного зриву водних плівок та в інших технологічних процесах.

Тема 2. Основні закони електротехніки.

План

1. Базові знання для засвоєння курсу теоретичних основ електротехніки.
2. Закони електромагнетизму.
3. Основні поняття про електричні кола.
4. Поняття про електричні схеми
5. Ідеальні елементи електричних схем заміщення
6. Приклади електричних схем заміщення

1. Базові знання для засвоєння курсу теоретичних основ електротехніки

Вивчення дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» базується на знанні наступних основ, що вивчаються в курсах фізики і математики:

1. поняття про електричні, магнітні, енергетичні і механічні величини та одиниці їхнього вимірювання:

заряд [Кл],

потенціал [В],

струм і сила струму [А],

напруга [В],

електрорушійна сила (ЕРС) [В],

опір [Ом] і провідність [См],

магнітні потік [Вб] і індукція [Тл],

напруженість магнітного поля [А/м],

час [с], швидкість [м/с],

частота [Гц] і кутова частота [с⁻¹], кутова швидкість [рад/с] і частота обертання [об/с, об/хв],

електричні, а також інші види енергії [Дж] і потужності [Вт],

сила [Н], обертальний момент [Н-м] та ін.

2. закони електромагнетизму: закон Кулона, закон Ома, закон Джоуля-Ленца, закони Кірхгофа, закон Біо-Савара-Лапласа, закон повного струму, закон електромагнітної індукції, правило Ленца, закон Ампера.

3. математичні основи: диференціювання й інтегрування елементарних функцій, операції з тригонометричними функціями, розв'язання алгебраїчних і диференціальних рівнянь, дії з векторами і комплексними числами та ін.

Основою всіх електромагнітних явищ є електромагнітне поле та електричний заряд. Електромагнітне поле проявляється силовою дією на електрично заряджені частинки, але природа цього поля і власне заряду є феноменами, не пізнаними до кінця.

Електричний заряд q - джерело електромагнітного поля, яке пов'язане з матеріальним носієм; елементарний електричний заряд - це внутрішній параметр елементарної частинки, що визначає її електромагнітну сутність, здатність до взаємодій. Уся сукупність електричних і магнітних явищ є проявом існування, руху і взаємодії електричних зарядів. Розрізняють два види електричних зарядів, які умовно

називають позитивними «+» та негативними «-». Останні названі на честь електрона - елементарної негативно зарядженої частинки, заряд електрона $e = 1,601 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Електричне поле характеризується векторною величиною - напруженістю електричного поля E . Чисельно ця величина дорівнює відношенню сили, що діє на заряджену частинку, до її заряду і має напрямок сили, що діє на частинку з позитивним зарядом, тобто $E = \lim \frac{F_E}{q}$.

Це поле характеризується векторними величинами: напруженістю магнітного поля H і пов'язаною з нею магнітною індукцією B . Чисельно магнітна індукція дорівнює відношенню сили F_M до добутку заряду q і швидкості V частинки, тобто $B = \lim \frac{F_{M_{\max}}}{q \cdot V}$,

якщо напрямок швидкості такий, що ця сила максимальна. Вектор магнітної індукції перпендикулярний до векторів сили F_M і швидкості V , а його напрямок при цьому збігається з поступовим переміщенням правого гвинта при його обертанні від напрямку сили до напрямку швидкості частинки із позитивним зарядом. У підсумку перелічені величини поєднує формула $F_M = q[V \times B]$.

У природному стані різні матеріальні тіла є електрично нейтральними, тобто елементарні позитивні та негативні заряди рівномірно розподілені в їхньому об'ємі і врівноважують один одного. Щоб вивільнити заряди різних знаків і примусити їх рухатися в заданому напрямку, треба витратити енергію. Сили, які розділяють заряди різних знаків, долаючи електростатичні сили тяжіння між ними, називаються сторонніми. Походження сторонніх сил може бути різним: в електромеханічних генераторах це механічні сили, що передаються через вихрове електричне поле, яке виникає при зміні магнітного поля з часом, або це сили Лоренса, які діють з боку магнітного поля на електрони в проводнику, який рухається; в гальванічних елементах - це хімічні сили; сторонні сили можуть бути безпосереднім проявом теплових процесів, механічного тиску, контактних явищ між різними матеріалами тощо.

Для опису електромагнітних полів і процесів введено цілий ряд формальних фізичних величин. Поряд зі вже згаданими величинами виняткову роль мають також наступні електричні величини.

За напрямок струму приймають напрямок руху позитивно заряджених частинок. Якщо струм створюється негативно зарядженими частинками (наприклад, електронами), то напрямок струму вважають протилежним напрямку їхнього руху. Кількісно електричний струм характеризується скалярною величиною - силою струму I і векторною величиною - густиною електричного струму J . Сила струму дорівнює відношенню абсолютного значення електричного заряду dq , який проходить за малий проміжок часу dt крізь визначену поверхню (наприклад, крізь поперечний переріз провідника), до значення dt ; тобто $I = dq/dt$.

Для опису потенціальної енергетичної здатності електричного поля слугує скалярна величина - електричний потенціал ϕ . Потенціал даної точки поля є відношенням роботи A , яку може виконати поле, переміщуючи заряд q із даної точки в нескінченно віддалену точку, до самого заряду, тобто $\phi = A/q$. Нескінченно віддалену точку беруть там, де електричне поле відсутнє і де, отже, потенціал дорівнює нулю.

Вона введена для енергетичної характеристики електричного поля або електричного кола і вона характеризує здатність поля виконувати роботу при переміщенні заряджених частинок між точками простору. Електрична напруга між двома точками електричного кола або електричного поля чисельно дорівнює роботі

електричного поля по переміщенню одиничного позитивного заряду із точки а в точку б. У загальному випадку напруга дорівнює відношенню роботи A , яку виконує поле, переміщуючи заряд q із даної точки в іншу точку, до самого заряду, тобто $U_{ab} = A/q$. У потенціальному електричному полі (електростатичне поле) ця робота не залежить від шляху переміщення заряду. У такому разі електрична напруга між двома точками дорівнює різниці потенціалів між ними, тобто $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$.

Сторонні сили приводять до руху електричні заряди всередині генераторів, гальванічних елементів та інших джерел струму. ЕРС E (тут E не треба плутати з позначенням напруженості електричного поля) чисельно дорівнює роботі, яка виконується силами стороннього електричного поля (неелектростатичного) при перенесенні уздовж замкненого контура електричного кола одиниці позитивного електричного заряду, або, в загальному випадку, ЕРС дорівнює відношенню роботи A , яку виконують сторонні сили, переміщуючи заряд q уздовж замкненого провідникового контура, до самого заряду, тобто $E = A/q$. З іншого боку ЕРС джерела напруги дорівнює різниці потенціалів або напрузі на його електродах (полюсах) при розімкненому зовнішньому колі, тобто при відсутності електричного струму в джерелі.

Визначення та позначення магнітних та електричних величин регламентуються стандартами різного рівня. Так, у межах України такі державні стандарти, як: «ДСТУ 2843-94 [Електротехніка](#). Основні поняття. Терміни та визначення»; «ДСТУ 2815-94 Електричні кола й магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення»; «ДСТУ 3120-95. [Електротехніка](#). Літерні позначення основних величин», можна вважати загальними для галузі електротехніки. Але, на жаль, ці стандарти не є досконалими, тому в навчально-методичній літературі зараз іще застосовуються визначення і позначення, які відрізняються від стандартизованих. Усього в галузі електротехніки та за окремими її напрямками існують десятки різних стандартів, яких треба дотримуватися.

Взаємодія та взаємовідношення величин, що описують електромагнітні процеси в електротехнічних пристроях, регулюється законами електромагнетизму. Зважаючи на те, що в даному посібнику регулярно доводиться посилається на ці закони, наведемо їх у формі, в якій ними прийнято оперувати в курсі «Електротехніка й електромеханіка». При цьому зауважимо, що закони формулюються, головним чином, стосовно понять постійного струму, як це прийнято в курсі фізики. У подальшому ці закони отримують і більш поширене тлумачення.

2. Закони електромагнетизму

Закон Ома (за рис. 1) має наступні варіанти:

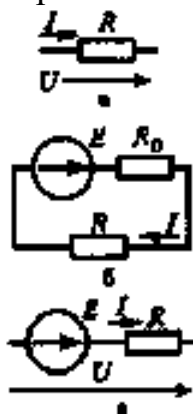


Рис. 1.

а) сила струму I прямо пропорційна напрузі U і обернено пропорційна електричному опору R ділянки кола:

$$I = \frac{U}{R};$$

б) сила струму в електричному колі прямо пропорційна ЕРС джерела електроенергії й обернено пропорційна сумі електричних опорів зовнішньої і внутрішньої ділянок:

$$I = \frac{E}{R + R_0};$$

в) узагальнений закон Ома для ділянки кола (знак «-» у разі зміни напрямку напруги):

$$I = \frac{E \pm U}{R}.$$

Закони Кірхгофа:

1 закон - алгебраїчна сума струмів віток, що сходяться у вузлі електричного кола, дорівнює нулю, тобто:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0,$$

де m - кількість віток у даному вузлі.

Або, наприклад, обираючи напрямок до вузла позитивним, маємо для випадку на рис. 2:

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 = 0.$$


Рис. 2.

2 закон - алгебраїчна сума спадів напруг у вітках замкненого контура електричного кола дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що знаходяться в цьому контурі, тобто:

$$\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{k=1}^q E_k,$$

де n , q - кількості пасивних елементів і джерел ЕРС у даному контурі.

Або, для прикладу, обираючи вказаний на рис. 3 напрямок обходу:

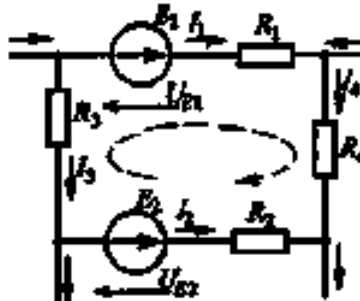


Рис. 3

3. Основні поняття про електричні кола

Якщо контури струму визначені формою провідників, у яких він локалізований, то електромагнітні процеси в електричних колах можуть бути описані за допомогою понять електрорушійна сила (ЕРС), електричний струм і напруга, які не потребують урахування просторових координат. Тому практично залишається розглянути тільки

кількісні параметри цих електричних величин і характер їхньої зміни в часі t , тобто функції ЕРС $e(t)$, струму $i(t)$ і напруги $u(t)$.

Процеси в електричних колах суттєво залежать від виду цих функцій, тому якраз у цьому зв'язку електричні кола розподіляють на наступні типи (за приклад далі подаються тільки функції струму $i(t)$):

1) кола постійного струму (позначення величин: I , U , E), i - I (рис. 1.1, а);

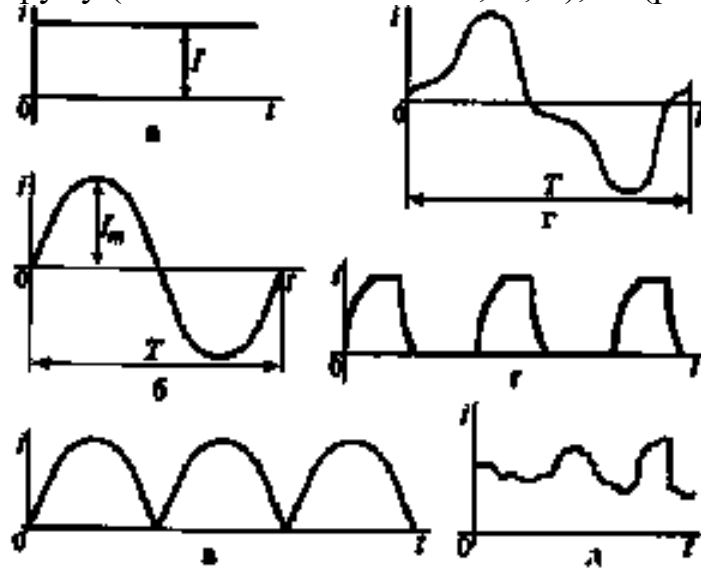


Рис. 1.1

2) кола змінного струму (позначення миттєвих величин i , u , e), які в свою чергу підрозділяються на:

а) кола синусоїдного струму - найбільш поширені при виробництві, передачі і розподілі електроенергії; функція струму (рис. 1.1, б, де T - період):

б) кола несинусоїдного періодичного струму - наприклад, у випрямлячах (рис. 1.1, в), у колах за наявності дроселів (рис. 1.1, г) тощо;

в) кола імпульсних струмів (рис. 1.1, г), поширені в техніці зв'язку, радіотехніці, обчислювальній техніці та ін. (тут, на відміну від випадку на рис. 1.1, в, кожний імпульс може розглядатися незалежно від попереднього і наступного);

г) кола з хаотичною зміною струмів (рис. 1.1, д).

Процеси в колах і рівень їхнього розрахункового аналізу поступово ускладнюються саме в поданій послідовності.

Електричне коло може мати два стани: перехідний процес і усталений режим. Перший стан настає після комутації кола (ввімкнення або вимкнення) чи з інших причин і характеризується інтервалом перехідних струмів. Перехідний процес завершується усталеним режимом, який характеризується постійним струмом, як на рис. 1.1, а, або повторюваним змінним струмом, як на рис. 1.1, б, в, г.

Для електричних кіл важливими є поняття лінійності і не лінійності. Якщо вольтамперні характеристики (ВАХ) - залежності між напругами і струмами - наприклад, $U(I)$ або $I(U)$, на елементах, що утворюють коло, прямолінійні, то такі елементи і, відповідно, кола називаються лінійними. Якщо хоча б в одного елемента ВАХ непрямолінійна, то такий елемент і все коло є нелінійними.

Електричні кола за структурою можна підрозділити на наступні види пристроїв і елементів.

1. **Генератори** - джерела електроенергії (рис. 1.2) (у них енергія різних видів перетворюється на електричну):

а, б) електромеханічні генератори постійного і змінного струму (перетворюють механічну енергію на електричну);

в, г) один елемент і батарея гальванічних елементів (перетворюють хімічну енергію на електричну);

г) фотоелемент (перетворює світлову енергію на електричну); д) термопара (перетворює теплову енергію на електричну).

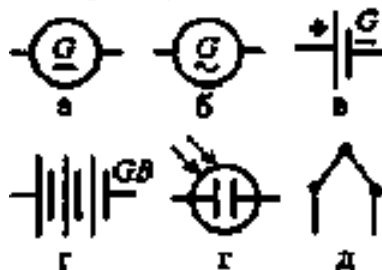


Рис. 1.2

2. Пристрої передачі електроенергії - лінії електропередачі (ЛЕП) або лінії зв'язку (рис. 1.3):

а) двохпровідна лінія (два варіанти позначення);

б, в) при використанні з'єднань у лініях утворюються вузли (рознімне і нерознімне з'єднання).

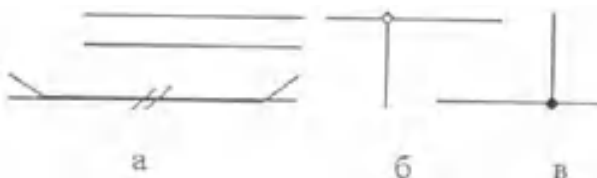


Рис. 1.3

3. Перетворювачі електроенергії (рис. 1.4) - перетворюють електричну енергію одного виду на електричну енергію іншого виду:

а) випрямлячі - перетворюють змінний струм у випрямлений (однонаправлений або постійний);

б, в) автотрансформатори і трансформатори - змінюють напругу змінного струму, а також сам цей струм за величиною;

г) інвертори - перетворюють постійний струм у змінний.

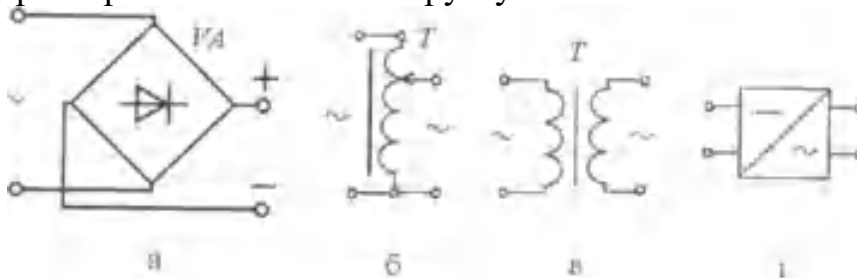


Рис. 1.4

4. Приймачі (споживачі) електроенергії (рис. 1.5) перетворюють електричну енергію на інші види енергії:

а, б) електродвигуни постійного і змінного струму - електрична енергія перетворюється на механічну (М - мотор);

в) батарея гальванічних елементів - зарядженою стає приймачем, що перетворює електричну енергію на хімічну;

г, г, д) резистори нерегульований і регульований (реостат), електропід - електрична енергія перетворюється на теплову;

е) лампа розжарювання - електрична енергія перетворюється на світлову і теплову.

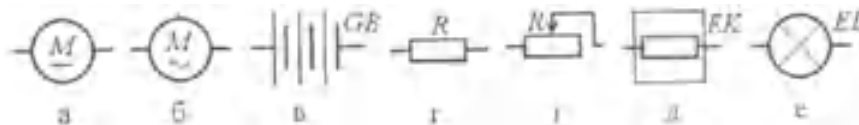


Рис. 1.5

5. **Електричні апарати (комутаційна апаратура)** (рис. 1.6) - для ввімкнення і вимкнення, регулювання параметрів електричного струму, захисту електрообладнання:

а-г) Q – вимикач на досить великі струми в лініях електропередачі, розподільних електромережах, для комутації електрообладнання; S - вимикач у слабкострумівих колах управління, контролю та ін. (показано розімкнений і замкнений стани вимикачів);

г) електромагнітний контактор (складається із силової струмової котушки електромагніта KM і контактів KM:1 і KM:2, що приводяться до руху);

д) плавкий запобіжник.

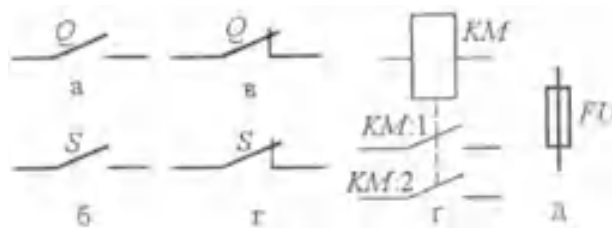


Рис. 1.6

6. **Електровимірювальні прилади** - для вимірювання електричних та неелектричних величин. Вони розподіляються на вимірники напруги - вольтметри V, вимірники струму - амперметри A, вимірники опору - омметри Ω , вимірники активної потужності - ваттметри W, вимірники електроенергії - лічильники кіловаттгодин kWh, вимірники зсуву фаз - фазометри ф, вимірники частоти - частотоміри Hz та ін. Позначення та принципи використання електровимірювальних приладів розглядаються далі в окремому розділі.

4. Поняття про електричні схеми

При вивченні і практичному застосуванні електричних кіл використовують їхнє графічне зображення - схеми. При цьому застосовуються умовні графічні і символічні позначення різних об'єктів, елементів, ліній зв'язку тощо, що обумовлені державними і міжнародними стандартами як за формою, так і за розмірами.

Є ціла низка різних видів схем. Одною з основних є принципова електрична схема, яка містить повний склад елементів виробу, показує всі зв'язки між ними і дає уявлення про принцип роботи цього виробу в цілому.

Є й інші, простіші схеми, наприклад, монтажна, блок-схема, схема з'єднань тощо. При вивченні процесів в електричних колах і електротехнічних пристроях, а також при їхніх розрахунках використовують електричні схеми заміщення. У цих схемах кожний реальний елемент або пристрій уявляється у вигляді одного або сукупності ідеальних елементів - математичних моделей. Кожний ідеальний елемент заміщує собою яке-небудь одне явище або властивість реального об'єкта.

Ідеальних елементів усього декілька. Тому, розуміючи суть ідеальних елементів і володіючи розрахунковими співвідношеннями електричних і енергетичних величин для них, можна розрахувати практично всі реальні пристрої на основі обмеженого числа математичних формул.

5. Ідеальні елементи електричних схем заміщення

1. **Ідеальне джерело ЕРС** (рис. 1.7, а,б) відображає здатність реального об'єкта створювати різницю потенціалів на своїх вихідних полюсах (затискачах) і підтримувати струм у замкненому електричному колі. Міра - ЕРС E , вимірюється у вольтах (В).



Рис. 1.7

Напруга на затискачах ідеального джерела не залежить від режиму роботи об'єктів, що підключаються, та сили струму, який протікає, і відповідає ЕРС цього джерела, тобто при постійній ЕРС або при змінній ЕРС відповідно маємо:

$$U=E; u=e$$

(на рис. 1.7, а, б вказана полярність і напрямки величин).

2. **Ідеальне джерело струму** (рис. 1.7, е) - зміст поняття той самий, що і для попереднього, тобто відображає здатність реального об'єкта створювати різницю потенціалів на своїх вихідних полюсах і підтримувати струм у замкненому електричному колі, але тепер у всіх режимах зберігається незмінною сила струму I_k , що протікає через джерело.

3. **Ідеальний резистивний елемент** (рис. 1.8, а) відображає здатність реального об'єкта перетворювати електричну енергію на інші види енергії безповоротно, наприклад, у тепло. Міра - опір R , вимірюється в омах (Ом) і вводиться як коефіцієнт пропорційності в законі Джоуля-Ленца, а саме:

$$W_T=RI^2t$$

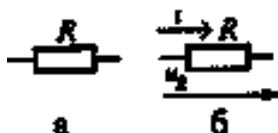


Рис. 1.8

Для провідника (рис. 1.9) довжиною l , що має площу поперечного перерізу S і питомий електричний опір ρ [Омм], маємо формулу $R=\rho \frac{l}{S}$. Наприклад, при температурі $T=20^\circ\text{C}$ $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8}$ Омм – для технічної міді; $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8}$ Омм - для алюмінію.

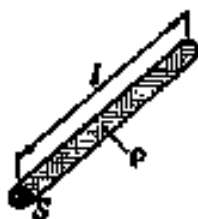


Рис. 1.9

Співвідношення напруги і струму на R виражається законом Ома: у загальному випадку для миттєвих значень (рис. 1.8, б):

$$u_R = Ri$$

у колах постійного струму (як частковий випадок попереднього):

$$U_R = RI$$

4. **Ідеальний індуктивний елемент** (рис. 1.10, а) відображає здатність реального об'єкта збуджувати магнітне поле в оточуючому просторі при проходженні по ньому (об'єкту) електричного струму.

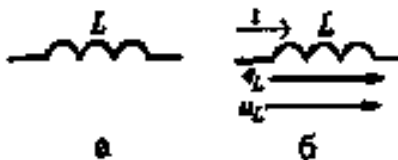


Рис. 1.10

Реальні об'єкти, які використовуються для отримання магнітного поля, - котушки індуктивності (рис. 1.11). Якщо у сфері поширення магнітного поля відсутні феромагнітні матеріали (немає феромагнітного осердя), то всі магнітні величини прямо пропорційні струму котушки.

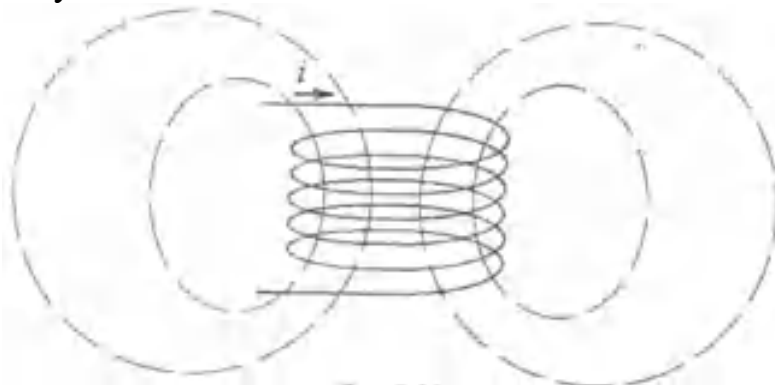


Рис. 1.11

Міра для ідеального індуктивного елемента - індуктивність L , що вимірюється в Генрі [Гн] і вводиться як коефіцієнт пропорційності у формулі:

$$\psi = Li$$

де i - струм котушки або іншого об'єкта; ψ - її власне магнітне потокозчеплення (одиниця вимірювання - Вебер [Вб]).

Наприклад, для котушки індуктивності (рис. 1.11), яка має кількість витків ω , магнітне потокозчеплення:

$$\Psi = \sum_{k=1}^{\omega} \Phi_k,$$

тобто дорівнює сумі магнітних потоків Φ_k , що пронизують окремі витки, причому ці потоки створені струмом і самої котушки.

Для практичної оцінки індуктивності є формула $L \sim \omega^2 S$, де S - площа поверхні, що охоплюється витками котушки.

Якщо феромагнітні матеріали присутні, то прямої пропорції (1.6) між ψ та i немає, і коефіцієнт L має умовне призначення.

Співвідношення напруги і струму на ідеальному індуктивному елементі (рис. 1.10, б) утворюється наступним чином.

На підставі закону електромагнітної індукції ЕРС самоіндукції:

$$e_L = -\frac{d\psi}{dt} \text{ або, з урахуванням, } e_L = -L \frac{di}{dt};$$

Ця ЕРС створює напругу на індуктивному елементі (рис. 1.10, б):

$$u_L = -e_L, \text{ або, враховуючи (1.8), } u_L = L \frac{di}{dt}.$$

У частковому випадку, в колі постійного струму при $i=I$ маємо $u_L=0$. Тому в таких колах ідеальний елемент може не враховуватися (ділянка кола з L діє як простий провідник).

5. Ідеальний ємнісний елемент (рис. 1.12, а) відображає здатність реального об'єкта накопичувати електричний заряд і створювати в оточуючому просторі електричне поле.

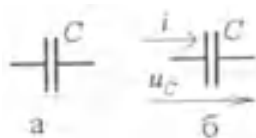


Рис. 1.12

Міра - ємність C , вимірюється в фарадах [Ф] і вводиться як коефіцієнт пропорційності у формулі $q = Cu_c$, де q - електричний заряд; u_c - напруга, що подається.

Реальний об'єкт для накопичування електричних зарядів - це конденсатор. Для практичної оцінки ємності конденсатора (рис. 1.13) є формула $C \approx \epsilon_0 \epsilon_r S/d$ де S і d - площа пластин і відстань між ними, відповідно.

Так як сила струму $i = \frac{dq}{dt}$, то в ємнісному елементі, з урахуванням $q = Cu_c$:

$$i = C \frac{du_c}{dt}$$

а з цього маємо загальне співвідношення напруги і струму на даному елементі (рис. 1.12, б):

$$u_c = \frac{1}{C} \int i dt$$

У частковому випадку, в колі постійного струму всі напруги - постійні й на ємнісному елементі $u_c = U_c$. Тоді похідна за часом від постійної напруги дорівнює нулю. Отже, і сила струму в вітці, яка містить ємнісний елемент, також дорівнює нулю: $i=0$. Тому в таких колах ідеальний ємнісний елемент може не враховуватися, а ділянка кола із цим елементом розглядається як розрив електричного кола.

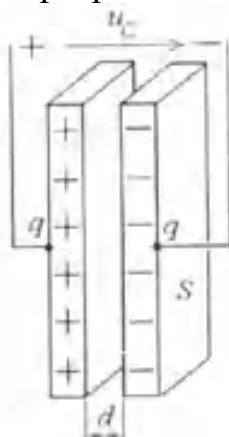


Рис. 1.13

6. Приклади електричних схем заміщення

Резистор і лампа розжарювання (рис. 1.14, а), конденсатор (рис. 1.14, б), котушка індуктивності (рис. 1.14, в) і джерела електроенергії постійного струму (рис. 1.14, г) заміщуються так, як це показано на рис. 1.14, а, б, в, г, відповідно. Це найбільш поширені, але не вичерпні варіанти схем заміщення поданих об'єктів. Так, наприклад, конденсатор C (рис. 1.14, б) при використанні в колі змінного струму низької частоти подається одним ідеальним ємнісним елементом C , а при високих частотах може бути використана сукупність ємнісного C і резистивного R ідеальних елементів. Крім того, одні і ті ж об'єкти по-різному заміщуються в залежності від того, в яких електричних колах вони знаходяться - постійного або змінного струму.

У кожному конкретному випадку при виборі визначеного набору ідеальних елементів ураховуються реальні фізичні процеси, що відбуваються в реальному

електротехнічному пристрої або об'єкті, для якого складається схема заміщення. Ці процеси якраз і названо при розгляді ідеальних елементів таких схем.

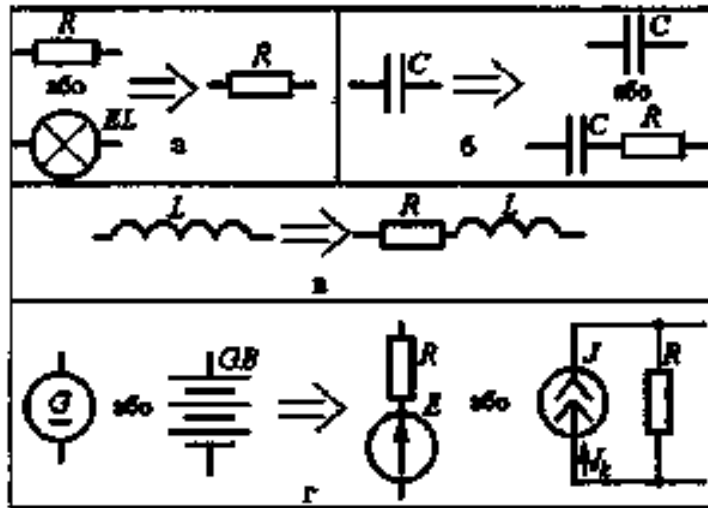


Рис.1.14

Конкретний приклад принципової електричної схеми подано на рис. 1.15. Тут до генератора змінного струму G підключені чотири приймачі електроенергії: електропіч EK , котушка індуктивності L і з'єднані послідовно конденсатор C і резистор R . Лінію передачі забезпечено двома плавкими запобіжниками $FU1$, $FU2$ і вимикачем Q .

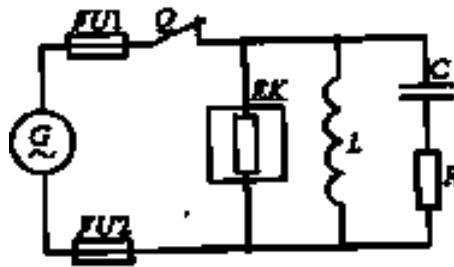


Рис. 1.15

Електрична схема заміщення електричного кола за рис. 1.15 подана на рис. 1.16. Тут генератор заміщується трьома ідеальними елементами: джерелом ЕРС e , резистивним елементом з опором R_G , індуктивним елементом з індуктивністю L_G . Запобіжники, електропіч і резистор подано ідеальними резистивними елементами з опорами R_{FM} , R_{EK} та R відповідно. Котушка індуктивності зображена ідеальним резистивним елементом з опором R_K й ідеальним індуктивним елементом з індуктивністю L_K . Конденсатор заміщується одним ідеальним ємнісним елементом з ємністю C .

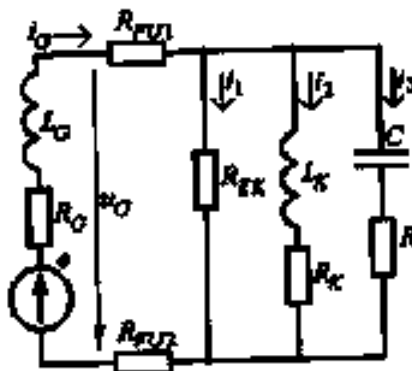


Рис. 1.16

На рис. 1.16 позначено прийняті умовні позитивні напрямки ЕРС джерела e , напруги u_c на затискачах реального джерела, струм джерела i_0 , а також струми приймачів у трьох паралельно з'єднаних витках: i_1 , i_2 , та i_3 .

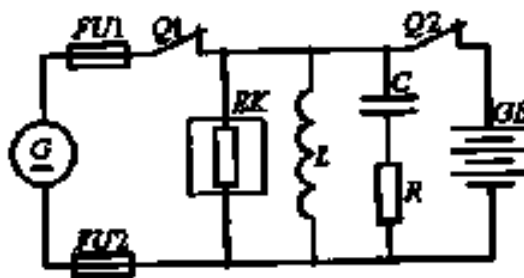


Рис.1.17

На рис. 1.17 зображена принципова електрична схема практично того ж електричного кола, що й на рис. 1.15, але тепер використовується генератор G постійного струму. Крім того, в коло через вимикач $Q2$ включено акумулятор (батарею гальванічних елементів GB).

Через перехід на постійний струм електрична схема заміщення зазнає суттєвих змін (рис. 1.18). Тут є тільки ідеальні джерела ЕРС для генератора E_G і акумулятора E_{GB} та ідеальні резистивні елементи (до тих, що були на рис. 1.16, додано елемент з внутрішнім опором акумулятора R_{GB}). Через те, що при постійному струмі конденсатор подається як розрив кола, зникла вітка з ним і резистором R .

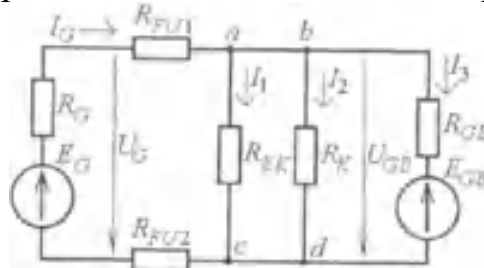


Рис. 1.18

На рис. 1.18 показано позитивні напрямки ЕРС, напруги і струму джерела, а також струми інших віток. Якщо струм у вітці, яка замінила акумулятор, спрямований проти ЕРС, то акумулятор заряджається, тобто в цьому випадку він є приймачем електроенергії.

Тема 3. Генерація електричної енергії.

План

1. Теплові електростанції.
2. Ядерна енергетика (АЕС)
3. Гідроенергетика
4. Альтернативна електроенергетика.

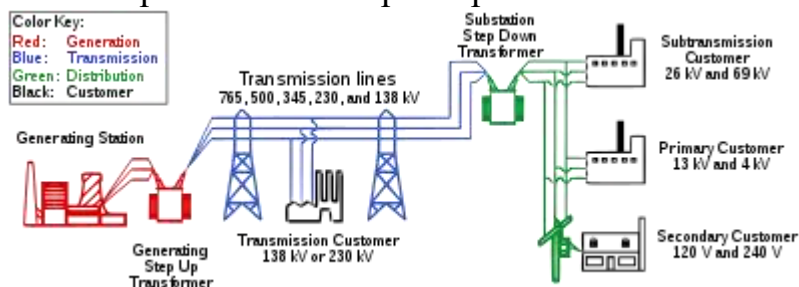


Схема забезпечення споживачів електроенергією (об'єкт генерування електроенергії зображено червоним кольором)

Генерування електроенергії (англ. electricity generation) — процес перетворення різних видів енергії в електричну на індустриальних об'єктах, що називаються **електричними станціями**.

1. Теплова електроенергетика

На об'єктах теплової енергетики в електричну енергію перетворюється теплова енергія згоряння органічних палив. Об'єктами теплової електроенергетики є **теплові електростанції (ТЕС)**, які бувають двох основних видів:

Конденсаційні (КЕС, також, у минулому використовувалась застаріла аббревіатура ДРЕС — державна районна електростанція). Конденсаційною називають теплову електростанцію, що призначена виключно для виробництва електричної енергії. На КЕС тепло, яке отримали при спалюванні палива, передається у парогенератори водяної пари, котра потрапляє у конденсаційну турбіну. Внутрішня енергія пари перетворюється в турбіні у механічну енергію, а потім електричним генератором в електричний струм, що подається в електричну мережу. Відпрацьована пара відводиться у конденсатор, звідки конденсат пари перекачується насосами знов у парогенератор.



Типова схема теплової електричної станції, що працює на вугіллі

- | | | |
|--|--|--|
| 1. <u>Охолоджувач</u> пари | 10. <u>Клапан</u> контролю пари | 19. Головний контур <u>теплообмінника</u> |
| 2. <u>Водний насос</u> | 11. <u>Турбіна</u> пари високого тиску | 20. Насос гарячого повітря |
| 3. <u>Високовольтна лінія</u> | 12. Водяний <u>дозатор</u> | 21. Вторинний контур <u>теплообмінника</u> |
| 4. Підвищувальний <u>трансформатор</u> | 13. Водяний нагрівач | 22. Вхідна труба для повітря |
| 5. <u>Електричний генератор</u> (3-фази) | 14. <u>Конвеєр</u> для вугілля | 23. Первинний контур <u>теплообмінника</u> |
| 6. <u>Турбіна</u> низького тиску | 15. <u>Бункер</u> для вугілля | 24. Повітряний теплообмінник |
| 7. Водяний насос | 16. <u>Вугільний пультверизатор</u> | 25. Фільтрувальна установка |
| 8. Збірник конденсату | 17. <u>Паровий котел</u> | 26. Витяжний вентилятор |
| 9. <u>Турбіна</u> середнього тиску | 18. <u>Бункер</u> для золи | 27. <u>Димова труба</u> |

Теплофікаційні (теплоелектроцентралі, ТЕЦ). Теплофікаційною називається теплова електростанція з комбінованим вироблянням електричної і теплової енергій на одній і тій же станції. Комбіноване вироблення на ТЕЦ тепла й електричної енергії значно підвищує ефективність використання палива порівняно з роздільним виробленням електричної енергії на конденсаційних електростанціях і тепла у котельних установках

КЕС і ТЕЦ мають схожі технологічні процеси. Принципова відмінність ТЕЦ від КЕС полягає у тому, що частина нагрітої у котлі пари йде на потреби тепlopостачання.

2. Ядерна енергетика

Ядерна енергетика — галузь енергетики, що використовує **ядерну енергію** для електрифікації і теплофікації. До ядерної енергетики належать **атомні електростанції** (АЕС). На практиці ядерну енергетику часто вважають підвидом теплової електроенергетики, так як, в цілому, принцип вироблення електроенергії на АЕС той же, що і на ТЕС. Лише у даному випадку теплова енергія виділяється не при спалюванні палива, а при поділі атомних ядер в **ядерному реакторі**. Далі схема виробництва електроенергії нічим принципово не відрізняється від ТЕС: пара отримує тепло від реактора, надходить у парову турбіну і т. д. Через деякі конструктивні особливості АЕС нерентабельно використовувати для комбінованого вироблення, хоча окремі експерименти в цьому напрямку проводилися.

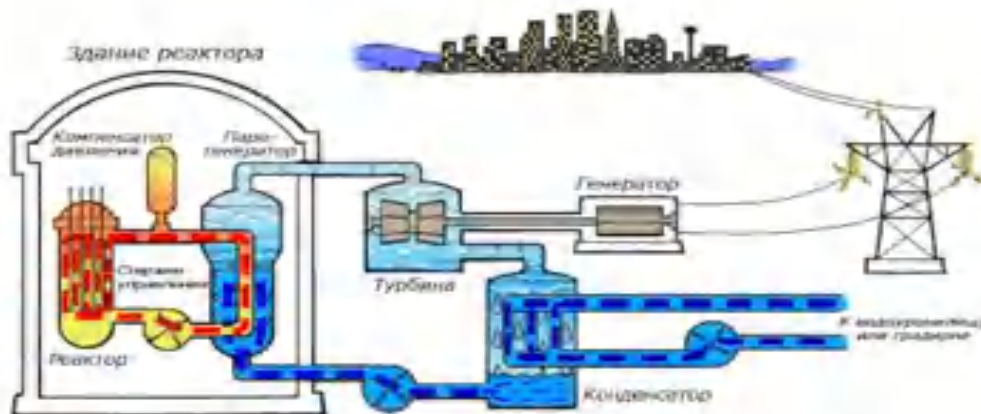
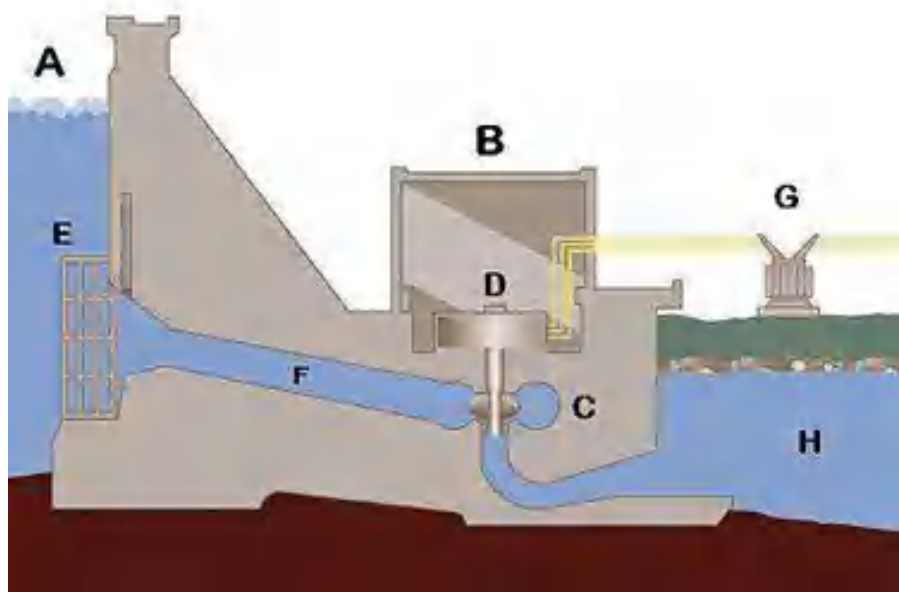


Схема роботи ядерної електростанції

3. Гідроенергетика

Гідроенергетика — галузь відновлюваної енергетики, що спеціалізується на використанні енергії від течії води. До цієї галузі належать гідроелектростанції (ГЕС). У гідроенергетиці в електричну енергію перетворюється кінетична енергія течії води. Для цього за допомогою гребель на річках штучно створюється перепад рівнів водної поверхні (верхній і нижній б'єф). Вода під дією сили тяжіння переливається з верхнього б'єфа в нижній спеціальними водоводами, у яких розташовані водяні турбіни, лопаті яких розкручуються водяним потоком. Турбіна ж обертає ротор електрогенератора. Особливою різновидом ГЕС є гідроакumuлювальні станції (ГАЕС). Їх не можна вважати генеруючими потужностями у чистому вигляді, так як вони споживають практично стільки ж електроенергії, скільки виробляють, однак такі станції дуже ефективно справляються з розвантаженням мережі у пікові години.



Конструктивні особливості гідроелектростанції: А — водосховище, В — машинна зала будівлі ГЕС, С — гідравлічна турбіна, D — електрогенератор, Е — водоприймач, F — напірний водовід, G — лінія електропередачі, Н — русло річки

4. Альтернативна електроенергетика

До альтернативної електроенергетики належать способи генерування електроенергії, що мають низку переваг порівняно з «традиційними» (згаданими вище), але з різних причин не отримали достатнього поширення. Основними видами альтернативної енергетики є:

Вітроенергетика — використання кінетичної енергії вітру для отримання електроенергії.

Сонячна енергетика (геліоенергетика) — отримання електричної енергії з енергії сонячних променів.

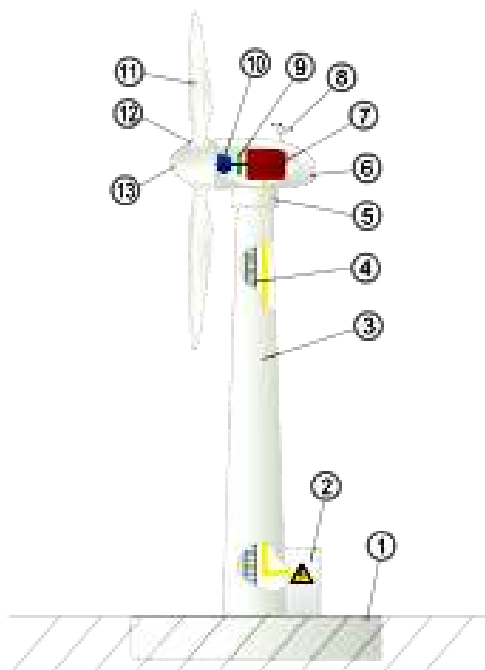
Загальними недоліками вітро- і геліоенергетики є відносна мала потужність генераторів при їх високій вартості. Також в обох випадках обов'язково потрібні акумулювальні потужності на нічний (для геліоенергетики) і безвітряний (для вітроенергетики) час.

Геотермальна енергетика — промислове отримання енергії, зокрема електроенергії, з гарячих джерел, термальних підземних вод. По суті геотермальні станції є звичайними ТЕС, на яких джерелом тепла для нагрівання пари замість котла чи ядерного реактора використовуються підземні джерела тепла з надр Землі. Недоліком таких станцій є географічна обмеженість їх застосування: геотермальні станції рентабельно будувати лише у регіонах тектонічної активності, тобто, там, де ці природні джерела тепла є найдоступнішими.

Воднева енергетика — використання водню як енергетичного палива має великі перспективи: водень має дуже високий ККД згоряння, його ресурс практично не обмежений, спалювання водню є абсолютно екологічно чистим (продуктом згоряння в атмосфері кисню є дистильована вода). Однак повною мірою задовольнити потреби людства воднева енергетика поки що не може через дорожнечу виробництва чистого водню і технічні проблеми його транспортування у великих кількостях.

Варто також відзначити такі альтернативні види гідроенергетики: **припливну і**

хвильову енергетику. У цих випадках використовується природна кінетична енергія морських припливів і вітрових хвиль відповідно. Поширенню цих видів електроенергетики заважає необхідність збігу дуже багатьох чинників при проектуванні електростанції: необхідним є таке узбережжя, на якому припливи (і хвилювання моря відповідно) були б досить сильними і сталими.



Конструкція вітроенергетичної установки:

1-фундамент, 2-підключення до електричної мережі, 3-вежа, 4-драбина для доступу технічного персоналу до обладнання, 5-система орієнтації за вітром, 6-корпус, 7-електричний генератор, 8-анемометр, 9-електрична або механічна муфта зчеплення, 10-коробка перемикачів передач, 11-лопаті, 12-система зміни кута атаки лопаті, 13-кришка механізму зміни кута повороту лопаті

Тема 4. Електричні мережі

План

1. Історія розвитку електричних мереж і загальні відомості про електричні мережі
2. Розподільні мережі
3. Споживчі мережі
4. Класифікація мереж
5. Електроенергетичні системи
6. Кабельна продукція

1. Історія розвитку електричних мереж. Загальні відомості про електричні мережі

Перші електричні мережі будували на напругу близько 100 В постійного струму. Така низька напруга викликала великі ускладнення і затрати під час будівництва та експлуатації станцій та мереж. Кожна електростанція могла забезпечити лише дуже невеликий район.

Наступне збільшення напруги до 200 та 400 В мало вплинуло на розширення району дії електростанцій. Практичне передавання електроенергії на великі відстані стало можливе після винайдення трансформатора, який дозволяв підвищувати напругу під

час передавання електроенергії та зменшувати її до необхідної величини біля приймачів струму.

Поступово (після 1891 року) установки постійного струму були переведені на перемінний струм, що дозволило різко збільшити ріст напруги, потужностей та довжину ліній електричних передач.

Але згодом було встановлено, що більш доцільно передавати великі потужності на значні відстані не перемінним струмом, а постійним струмом великої напруги. При цьому постійний струм високої напруги доцільно отримувати за допомогою випрямлячів, а не генераторів. На сьогодні використовують лінії перемінного струму напругою

3, 6, 10, 16, 35, 110, 220, 400, 500, 750 кВ і вище та постійного струму з напругою 800 кВ.

При великих відстанях та навантаженнях електрична мережа низької напруги вимагала би великої кількості кольорового металу, а її техніко-економічні показники були б погані. Тому для передавання та використання електричної енергії будують мережі двох напруг.

По лінії високої напруги електрична енергія передається на значні відстані, а мережі низької напруги розподіляють електроенергію безпосередньо до споживачів. В необхідних місцях мережі високої напруги споруджують трансформаторні підстанції із встановленням на них трансформаторів для зниження напруги. До мережі низької напруги приєднують приймачі електроенергії.

Електричні мережі – призначені для передавання та розподілення електричної енергії від місця її отримання до місць споживання.

Електричні мережі складаються із системи проводів, яка споряджена відповідними апаратами та приборами для переключення, вимірювання, трансформації, регулювання напруги тощо.

2. Розподільні мережі

Розподільні мережі – мережі, до яких в будь-якій точці можуть бути приєднані трансформатори, а від них і споживачі.

В розподільних мережах постійного струму приймають номінальні стандартні напруги 110, 220, 400 В.

В мережах перемінного трьохфазного струму з частотою 50 Гц стандартними напругами є 127, 220, 380 В.

В окремих випадках, наприклад для забезпечення великих асинхронних і синхронних двигунів застосовують напругу 3, 6, 10 кВ.

В сучасних мережах перемінного струму найчастіше застосовують напругу 220 та 380 В.

3. Споживчі мережі

Споживчі мережі – призначені для передавання енергії від джерела живлення до розподільних пунктів. Споживачі до них не приєднуються.

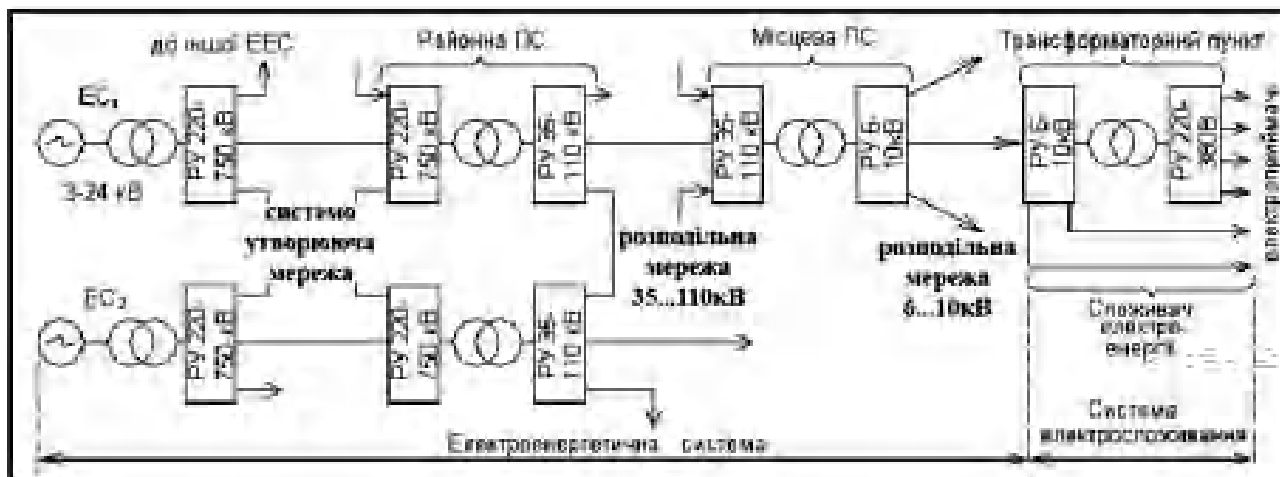


Рис. 1. Єдиний комплекс виробництва, пересилання, розподілу та споживання електроенергії

ЛЕП високої напруги 220...750 кВ – це **системо-утворююча мережа**, яка є кістяком (скелетом) ЕЕС. Вона отримує електроенергію від електростанцій та передає її до районних підстанцій. Крім ЛЕП 220...750 кВ до системо-утворюючої мережі ЕЕС належать також розподільні установки електростанцій та розподільні установки високої напруги районних підстанцій (рис. 8.1).

ЛЕП 35...110 кВ утворюють **розподільну мережу 35...110 кВ**. Вона отримує електроенергію від районних підстанцій та передає її до місцевих підстанцій. Крім ЛЕП 35...110 кВ до розподільної мережі 35...110 кВ належать також розподільні установки нижчої напруги районних підстанцій, а розподільні установки вищої напруги місцевих підстанцій.

ЛЕП 6...10 кВ та розподільні установки нижчої напруги місцевих підстанцій і розподільних установок вищої напруги трансформаторних пунктів утворюють **розподільні мережі 6...10 кВ**. Вони отримують електроенергію від місцевих підстанцій та передають її до трансформаторних пунктів (розподіляють електроенергію між трансформаторами пунктами).

4. Класифікація мереж

Поділ електричних мереж ЕЕС на системо-утворюючі, розподільні 35...110 кВ. та розподільні 6...10 кВ можна розглядати як їхню класифікацію за функцією в системі. Крім поділу за функцією, які вони виконують електричні мережі класифікують ще за топологією і за характером споживачів. За топологією системо-утворюючі та розподільні мережі поділяють на:

- розімкнуті (радіальні);
- замкнуті (кільцеві та мережі з двостороннім живленням);
- складно замкнуті, тобто мережі зі складними зв'язками.

За характером споживачів класифікують тільки розподільні мережі на:

- промислові;
- сільські;
- міські.

Електричні мережі розрізняють:

- за родом струму:

- мережі перемінного струму;
- мережі постійного струму;
- за призначенням:
 - силові;
 - освітлювальні;
 - суміщені;
- за величиною напруги:
 - мережі з напругою до 1000 В;
 - мережі з напругою вище 1000 В;

5. Електроенергетичні системи

Електроенергетична система (ЕЕС) – це сукупність електростанцій (ЕС) та електричних мереж (ЕМ), розташованих на визначеній території та зв'язаних між собою і пов'язаних спільним режимом роботи у безперервному процесі виробництва, пересилання та розподілу електроенергії в умовах загального керування цим режимом.

Згідно з таким визначенням в ЕЕС електроенергія виробляється, пересилається та розподіляється між споживачами. Споживачі електроенергії до складу ЕЕС не належать, бо мають власні системи керування режимами та організаційно-економічного управління.

Проте їхні електроустановки разом з електроустановками ЕЕС утворюють спільну **електричну систему**, яка відображає існування єдиного процесу генерування, пересилання, розподілу та споживання електроенергії. Електрична система є технічним об'єктом, який не має єдиної системи керування і не підлягає окремому техніко-економічному аналізу. Але вона є базою для аналізу режимів та процесів ЕЕС.

Електроустановка – це електрообладнання разом із системами забезпечення його роботи, які призначені для виробництва, пересилання, розподілу та споживання електроенергії.

До них належать

генератори ЕС,

трансформатори підстанцій (ПС),

лінії електропередачі (ЛЕП) та

всі види електроприймачів (двигуни, електропечі тощо). Трансформатор, виготовлений на заводі, класифікують як електрообладнання, а трансформатор встановлений на підстанції, класифікують як електроустановку, бо тут додані системи забезпечення його роботи:

- захисту;
- автоматики;
- пожежогасіння;
- зливу мастила на випадок пошкодження корпусу тощо.

ЕЕС, об'єднуючи електростанції та електричні мережі для спільної роботи, займають певну територію (територіальний район). В Україні функціонують вісім районних ЕЕС (Київенерго, Львівенерго, Донбасенерго тощо), які лініями електропередачі сполучені в одну об'єднану електроенергетичну систему України.

Виробництво електричної енергії

В ЕЕС електрична енергія виробляється на електростанціях. В Україні функціонують ЕС таких типів:

- теплові (ТЕС);
- атомні (АЕС);
- гідравлічні (ГЕС);
- гідроакумуючі (ГАЕС).

На цих електростанціях електроенергія виробляється згідно зі схемами зображеними на рис. 8.2.

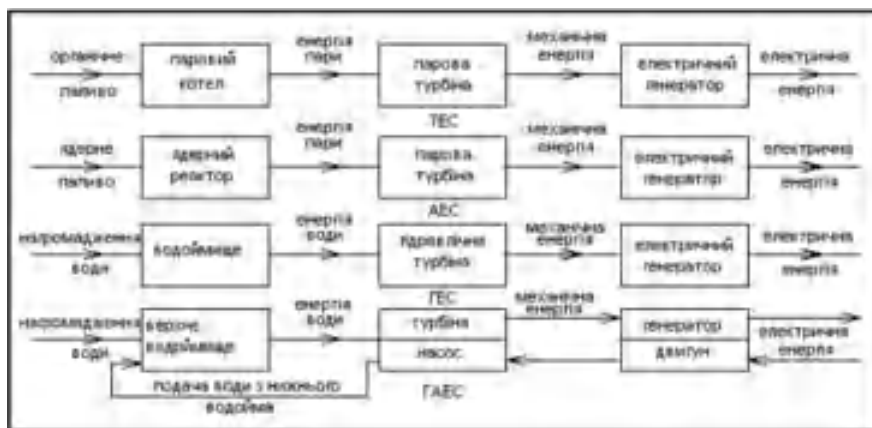


Рис.2. Узагальнені схеми виробництва електроенергії на ЕС різних типів
Як органічне паливо на ТЕС використовується:

- вугілля;
- газ;
- мазут.

Якщо газ і мазут надходять в пальники парового котла безпосередньо, то вугілля потребує попереднього розмелювання в порошок. У паровому котлі очищена вода перетворюється в пару високої температури і тиску, яка попадає до лопатей парової турбіни, що обертає генератор з високою сталою швидкістю.

На АЕС ядерне паливо використовується у вигляді теплових елементів (ТВЕЛів) – спеціально виготовлених стержнів зі збагаченого урану. Вони встановлюються у гнізда басейну ядерного реактора, де протікає реакція поділу атомів урану, що супроводжується виділенням значної кількості тепла. Далі технологічний процес на АЕС такий же як і на ТЕС. Потужність АЕС практично не регулюється. Вони працюють зі сталим близьким до максимального навантаженням, що не вигідно для енергосистем, бо вночі споживання електроенергії різко знижується.

На ГЕС отримана електроенергія найдешевша, тому що нагромадження води у водоймах відбувається природним способом. Крім того ГЕС дуже вигідний для режимів енергосистем, бо легко збільшують чи зменшують видачу потужності. Виробництво електроенергії екологічно чисте.

Недоліками ГЕС є великі початкові капітальні затрати на виробництво греблі і затопленням значної площі землі, придатної для сільського господарства.

ГАЕС вдень виробляють електроенергію, працюючи як звичайні ГЕС, а вночі вони споживають електроенергію, бо переходять в режим перекачування води з нижнього водоймища у верхнє. Для цього генератори переходять в режим двигунів і турбіни починають працювати, як насоси. Тим самим ГАЕС компенсують режимні недоліки атомних станцій.

Безпосереднє виробництво електроенергії на ЕС виконують синхронні генератори. На ТЕС і АЕС – це парогенератори, а на ГЕС і ГАЕС – гідрогенератори.

Пересилання електроенергії

Пересилання електроенергії здійснюється лініями електропередачі і вимагає не менших затрат, ніж її виробництво, бо енергія споживається в різних пунктах як близьких так і віддалених від електростанцій на сотні кілометрів. Ці пункти об'єднані з наявними електростанціями лініями електропередач, мереживо яких утворює електричну мережу ЕЕС. Шкала номінальних напруг електричних мереж наведена в табл. 8.1.

Низькі напруги, В	Високі напруги, кВ
36, 127, 220, 380, 660	1,0; 3,0; 6,0; 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500,750

Таблиця 1

Номінальні напруги електричних мереж та електроприймачів

Низькі напруги, В Високі напруги, кВ

36, 127, 220, 380, 660 1,0; 3,0; 6,0; 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500,750

Генератори електростанцій мають номінальні напруги в діапазоні 3...24 кВ, а ЛЕП, що відходять від електростанцій – напруги в діапазоні 220...750 кВ. Таке значне збільшення напруги електропередач зумовлене необхідністю зменшувати струм для зменшення втрат електроенергії та перерізів проводів ЛЕП, щоб зменшити витрати металу на проводи та опори.

Лінії електричних передач 220...750 кВ переважно повітряні. Їхні проводи багатодотові (рис. 8.3). Серцевина провода стальна, а поверхневі шари алюмінієві. Ці проводи підвішуються на опорах, зображених на рис. 8.4.

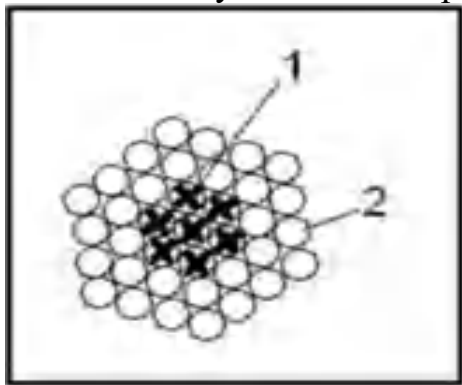


Рис. 4.3. Багатодотовий провід: 1 – сталь; 2 – алюміній

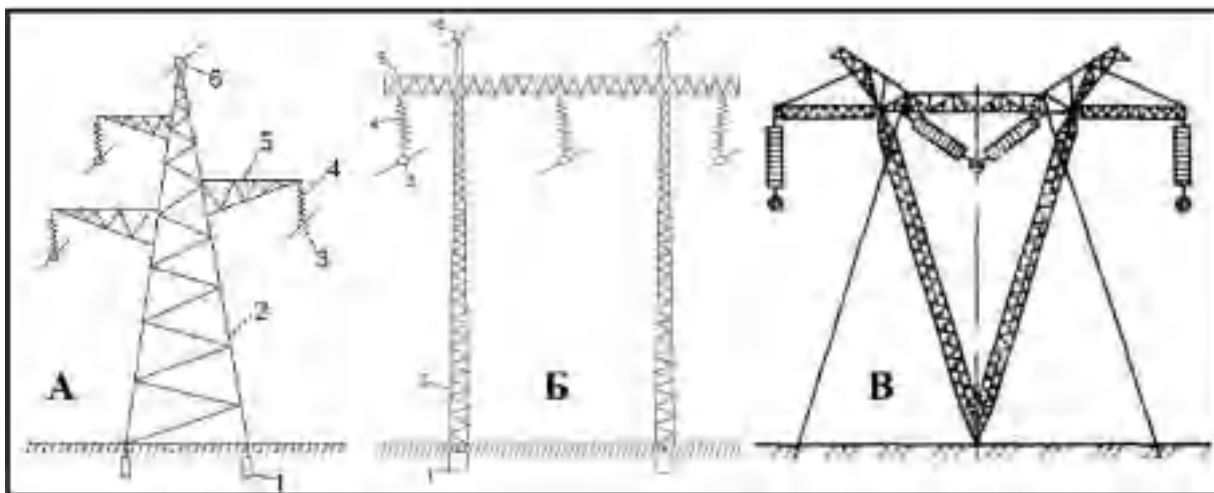


Рис. 4.4. Опори ЛЕП: А – 220...330 кВ; Б – 500...750 кВ; В – 1150 кВ; 1 – фундамент; 2 – стояк; 3 – провід; 4 – гірлянда ізоляторів; 5 – траверса; 6 – трос

ЛЕП 35...110 кВ та ЛЕП 6...10 кВ можуть біти як повітряними так і кабельними. Опори повітряних ліній тут значно простіші порівняно з лініями 220...750 кВ. Це, переважно, одиничні залізобетонні чи дерев'яні стовпи з траверсами. Кабелі прокладають:

- в землі;
- траншеях;
- каналах.

Пересилання електроенергії на близькі й далекі відстані здійснюється лініями різних номінальних напруг.

6. Кабельна продукція

Провід – одна чи декілька голих або ізольованих жил, призначених для передачі електроенергії тощо.

Жила – це одна або декілька скручених між собою дротин, призначених для проведення електричного струму.

Проводи виготовляють:

- голими;
- ізольованими;
- незахищеними;
- ізольованими захищеними тощо.

Провід ізольований незахищений має ізоляцію, не захищену від механічних пошкоджень спеціальними оболонками. Провід ізольований має поверх ізоляції металеву або іншу оболонку для захисту від механічних пошкоджень.

За конструкцією струмопровідної жили проводи бувають:

- однодротові;
- багатодротові.

Залежно від кількості жил проводи бувають:

- одножильні;
- двожильні;
- трижильні;
- багатожильні.

Мідні гнучкі проводи – струмопровідні жили мають велику кількість тонких дротин.

Кабель – одна чи декілька ізольованих струмопровідних жил, в герметичній

оболонці, поверх якої при необхідності можуть бути накладені захисні покриття. На рис. 4 зображено переріз трижильного кабеля 1...10 кВ.

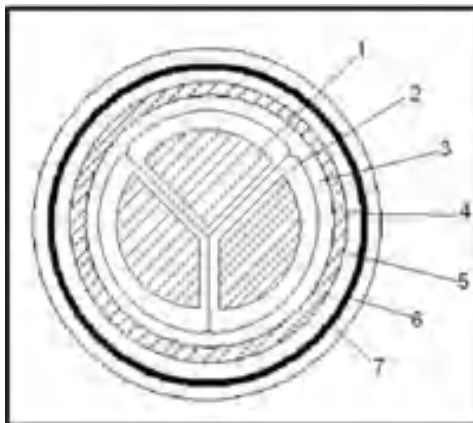


Рис. 4. Переріз кабеля 1...10 кВ: 1 – струмопровідна жила; 2 – фазна ізоляція; 3 – поясна ізоляція; 4 – металева оболонка; 5 – подушка під бронею; 6 – сталеві бронежилети; 7 – захисне покриття

Кабелі поділяються на:

- силові для передачі електроенергії;
- контрольні – для передачі сигналів контролю, вимірювань та керування.

Силові кабелі виготовляють одно-, дво-, три- і чотирижильні:

- двожильні кабелі – для передачі постійного струму та в однофазних передачах перемінного струму;

- трижильні – у трифазних передачах змінного струму без нульового провідника;

- чотирижильні – у трифазних передачах змінного струму з нульовим провідником.

Силові кабелі розрізняють за напругою, площею поперечного перерізу жили, кількістю жил, а також за маркою, яка відображає конструктивну будову кабеля, матеріал жили, ізоляцію, захисні покриття.

Шнур – це різновидність провoda, що складається з двох та більше скручених між собою ізольованих жил, які мають необхідну для його використання гнучкість. Жили шнура поміщаються у спільну гнучку оболонку (переважно тканину). Шнури призначені для живлення пересувних та переносних електроприймачів.

Шинопровід – це коротка лінія електропередачі, у якій замість проводів чи кабелів використовуються жорсткі голі шини.

Найбільш поширені є закриті комплектні шинопроводи, призначені для виконання функцій магістральних ліній. Такі шинопроводи комплектуються з окремих секцій довжиною до 4 м. Кожна секція собою короб з листової сталі чи алюмінію або з твердого поліхлорвінілу. В середині короба по одному з його боків прикладено плоскі квадратні чи круглі голі жорсткі шини з міді, алюмінію чи біметалу.

Для ізоляції шин між собою та від металевих коробів застосовуються суцільні профільні ізоляційні прокладки, держачи або опорні ізолятори, встановлені на певній відстані один від одного. Для під'єднання до шинопроводу електроприймачів служать відгалужувальні вставки. Між собою секції з'єднуються за допомогою спеціальних перехідних з'єднувачів, що дозволяє утворити лінію потрібної довжини.

Шинопроводи прокладають по стінах, перекриттях, фермах тощо за допомогою скоб і кронштейнів, підвішують на тросах. Монтуються вони на висоті 2,5...3,0 м від підлоги. Для виконання поворотів існують гнучкі секції, виконані проводами в метало-рукавах.

Характеристики конструктивних елементів проводів і кабелів

Жили проводів і кабелів виготовляють з алюмінію, міді та їхніх сплавів. З міді та її сплавів виготовляють гнучкі жили, а з алюмінію та його сплавів – жорсткі. Для голих проводів жили можуть виготовляти також зі сталі та її сплавів (сталемідні, сталеалюмінієві, сталебронзові тощо).

Жили проводів і кабелів мають стандартні перерізи. Найбільш поширеними стандартними перерізами жил є такі:

0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 185; 240; 300; 400 мм².

Ізоляція провідникового виробу – це покрив з **діелектричного** матеріалу, який оточує жилу. Ізоляція призначена для запобігання доторкування жил між собою та з іншими предметами і для захисту людини від випадкового доторкування до струмопровідної частини провода. Багатожильні проводи і кабелі мають також спільну ізоляцію жил і захисне ізоляційне покриття.

Для ізоляції провідникових виробів використовуються такі **матеріали**:

- гума спеціальна;
- полівінілхлорид (поліхлорвініл – ПХВ);
- поліетилен (зовні відрізняється від ПХВ відносною прозорістю);
- кабельний папір (тільки для кабелів);
- нейрит – важкозаймистий матеріал на основі гуми з неорганічними додатками;
- кремнійорганічні матеріали;
- фторопласт.

Захисна оболонка – це покрив, який охоплює ізольовані жили і призначений для їх захисту від агресивного середовища та механічних впливів.

Захисні оболонки проводів виготовляють такими:

- тканинне плетиво;
- ПХВ покрив;
- плетиво з гнучких дротиків (екран);
- тонкостінна металева фальцована трубка з латунної або цинкової фольги.

Ізольовані жили кабелів захищаються оболонкою з:

- ПХВ;
- поліетилену;
- нейриту;
- алюмінієвої труби;
- свинцевої труби.

Для захисту кабелів крім оболонки застосовується **ще броня**, яка виготовляється з двох плоских сталевих стрічок, навитих на кабель спірально, а також з круглого чи плоского сталевих дроту.

Броня захищає кабель від сильних механічних впливів і забезпечує його довготривалу експлуатацію. Броньовані кабелі застосовують для мереж живлення, що прокладаються в землі чи у воді.

На броню наноситься ще зовнішнє покриття – шар кабельного прядива, просоченого бітумною речовиною. Він потрібний для захисту сталевих броні від корозії.

Маркування провідних виробів

Кожен провідниковий вибір (провід, кабель, шнур та шинопровід) має свою марку.

Марка дозволяє встановити:

- конструктивне виконання;
- параметри конструктивних елементів;
- тип ізоляції;
- виявити допустимі струмові навантаження тощо.

Марка складається з літер національної абетки, які визначають матеріал конструктивних елементів та інші характеристики. Нижче наведено перелік характеристик проводів, шнурів, кабелів та їхніх літерних позначень.

Матеріали конструктивних елементів позначаються такими літерами.

Жила:

- Мідь – без літери;
- Алюміній – літера А.

Ізоляція:

- Гума, обвита бавовняним прядивом – Р;
- ПХВ – В;
- Поліетилен – П;
- Нейрит – Н;
- Кабельний папір – без літери;
- Кремнійорганічний матеріал – К.

Захисна оболонка:

- Шлангова гума – Р;
- ПХВ – В;
- Поліетилен – П;
- Свинець – С;
- Алюміній – А;
- Тонкостінна фальцована трубка з металевої фольги – ТФ;
- Плетиво дротяне (панцир) – П.

Броня:

- Відсутня – Г;
- З плоских сталей стрічок, покритих бавовняним прядивом – Б;
- З плоских сталей стрічок без бавовняного прядива – БГ;
- З круглого стал. дроту з бавовняним прядивом та без нього – К, КГ;
- З плоского стал. дроту з бавовняним прядивом та без нього – П, ПГ.

Для інших характеристик провідникових виробів прийнято такі позначення.

Проводи: (П)

- Для закритого прокладання – С;
- Для прокладання в трубах – ТО;
- З гнучкими жилами – Г;
- З ПХВ плівкою поверх гумової ізоляції – В;
- З бавовняним плетивом, просоченим лаком – Л;
- З роздільною смугою між жилами – П.

(Ш) Шнури:

- В загальному бавовняному плетиві – О;
- Переносний легкий (переріз жили до 4 мм?) – ПЛ;
- Переносний середній (4...16 мм?) – ПС;
- Переносний важкий (більше 16 мм?) – ПТ.

Кабелі:

- Для вертикальної прокладки – В.

Розшифровка марок провідникових виробів настановується на певні труднощі, бо послідовність розміщення літер в них не стандартизована. Але існують певні особливості розміщення літер. Так у марках проводів на першому або другому місці обов'язково стоїть т. зв. «Базова» літера П або ПП, що означає «Провід» та «Провід плоский». У марках шнурів на першому місці обов'язково стоїть літера Ш – «Шнур». А в марках кабелів такого орієнтиру нема, тому відсутність у марці виробу літер П і Ш означає, що це марка кабелю.

АППВС-2х4 – провід, плоский з алюмінієвими жилами, з ПВХ ізоляцією, для закритої прокладки, двожильний з перерізом жили 4 мм?;

А --- немає, тому ШВВП-2х1,5 – шнур з мідними жилами, з гнучкою ПВХ ізоляцією, з гнучкою ПВХ захисною оболонкою, двожильний з перерізом жили 1,5 мм?;

П та Ш ----немає ААБ-3х50+1х25 – **кабель** з алюмінієвими жилами, з ізоляцією з кабельного паперу, просоченого кабельною оливою, з алюмінієвою захисною оболонкою, броньований двома стальними, покритими кабельним проводом, чотирижильний, три фазні жили перерізом по 50 мм? і нульова жила перерізом 25 мм?.

Маркування шинопроводів спрощене порівняно з маркуванням проводів, шнурів, кабелів. Першою в марці шинопровода стоїть «Базова» літера (Ш – провід). Далі стоять одна або дві літери, які визначають призначення виробу (М – магістральний, Р – розподільний, ОС – освітлювальний). У третій позиції стоїть літера, яка визначає матеріал шини (А – з алюмінієвими шинами, без літери – з мідними).

Тема 5 «Електричні машини змінного струму»

План

1. Загальні відомості про електричні машини та їх класифікація
2. Будова асинхронного двигуна змінного струму
3. Принцип дії асинхронного двигуна
4. Будова синхронного генератора змінного струму
5. Принцип роботи синхронного генератора
6. Схеми підключення асинхронних двигунів

1. Загальні відомості про електричні машини та їх класифікація

Електричні машини широко використовують на електростанціях, транспорті, у промисловості, системах електроприводу, будівництві, системах автоматичного регулювання і контролю.

За призначенням електричні машини поділяють на двигуни і генератори.

Двигуни — це машини, які перетворюють електричну енергію в механічну.

Генератори — це машини, які перетворюють механічну енергію в електричну.

Будь-яка електрична машина може працювати у режимі як двигуна, так і генератора.

За видом струму електричні машини поділяють — на машини постійного і машини змінного струму.

За принципом роботи електричні машини змінного струму можуть бути синхронні та асинхронні.

Класифікація електричних машин

Синхронна машина змінного струму — це машина, в якій частота обертання магнітного поля збігається з частотою обертання ротора.

Асинхронна машина — це машина, в якій частота обертання магнітного поля не збігається з частотою обертання ротора.

Машини постійного струму поділяють на машини з незалежним, паралельним, послідовним та змішаним збудженням.

Асинхронні двигуни становлять більш ніж 95% усіх електродвигунів, які використовують у народному господарстві. За конструкцією ротора їх поділяють на двигуни з короткозамкненим ротором і двигуни з фазним ротором.

Синхронні двигуни поділяють на двигуни з явно вираженими і неявно вираженими полюсами.

За формою виконання електричні двигуни можуть бути дев'яти груп. Найбільш поширені наступні двигуни:

на лапах з підшипниковими щитами та горизонтальним валом (рис. 1, а);

на лапах з підшипниковими щитами, фланцем на підшипниковому щиті, вертикальним валом (рис. 1, б);

без лап з підшипниковими щитами та фланцем на підшипниковому щиті (рис. 1, в).

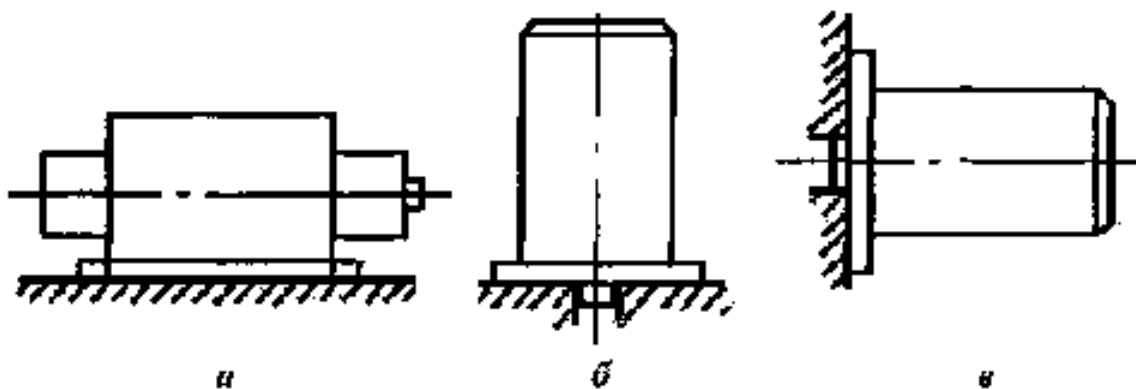


Рис.1. Форми виконання електричних двигунів

За рівнем захисту від контакту зі струмопровідними частинами, потрапляння сторонніх тіл, пилу і вологи електричні машини бувають такої модифікації: відкриті — електродвигун не захищений від випадкового дотикання до обертових і струмопровідних частин і від потрапляння всередину сторонніх предметів (встановлюють у приміщенні);

закриті — електродвигун не має сполучення внутрішньої частини і навколишнього середовища (встановлюють у заповнених приміщеннях і на відкритому повітрі);

захищені — електродвигун має конструкцію для захисту від потрапляння всередину сторонніх предметів (встановлюють у закритому приміщенні);

водозахищені — електродвигун виконано так, що при обливанні водою вода всередину не потрапляє;

герметичні — електродвигун виконано так, що виключається можливість сполучення між внутрішнім простором і зовнішнім середовищем при певній різниці тисків ззовні та всередині двигуна;

вибухозахищені — електродвигуни спеціального використання (призначені для роботи у вибухонебезпечному середовищі) та інші.

За способом охолодження електричні машини класифікують за такими ознаками:

з природним охолодженням — це машина, теплота якої передається навколишньому середовищу шляхом конвекції повітря;

штучним охолодженням — машина, в якій за допомогою спеціальних пристроїв збільшується швидкість руху повітря;

з вентиляцією — машина з штучним охолодженням повітря або іншого газу.

За номінальними режимами роботи електричних двигунів виділяють три основні режими: тривалий, короткочасний і повторно-короткочасний (існує вісім номінальних режимів).

Найбільшого поширення серед електричних двигунів отримав трифазний асинхронний двигун, вперше сконструйований відомим російським електротехніком М. О. Доливо-Добровольським.

2.Будова асинхронного двигуна змінного струму



Електричні машини, що перетворюють електричну енергію змінного струму в механічну енергію, називаються електродвигунами змінного струму. У промисловості найбільшого поширення набули асинхронні двигуни трифазного змінного струму. Розглянемо будову і принцип дії цих двигунів. Осердя 1 статора (рис.3) набирається із сталевих пластин товщиною 0,35 або 0,5 мм. Пластини штампують з пазами, ізолюють лаком або окалиною для зменшення втрат на вихрові струми, збирають в окремі пакети і кріплять на станину 3 двигуна. До станини прикріплюють також бічні щити з розміщеними на них підшипниками, на які спирається вал ротора. Станину встановлюють на фундаменті.

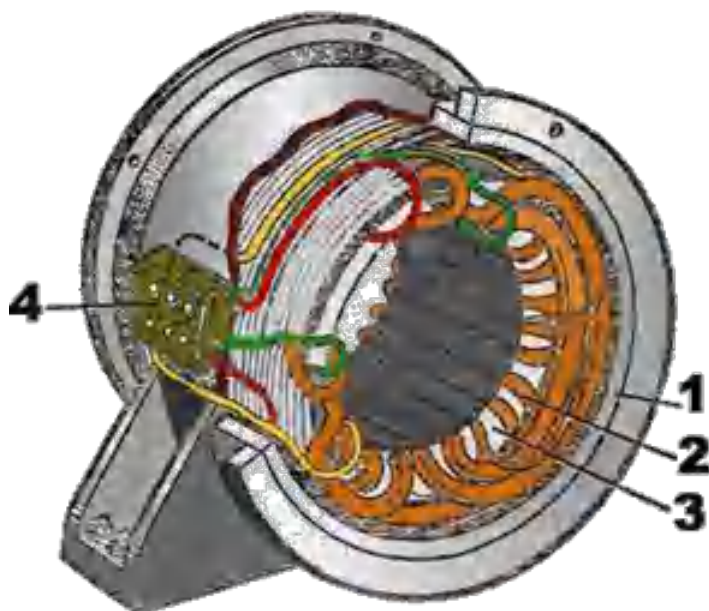


Рис.3. Будова статора асинхронного двигуна: 1 – осердя; 2 – обмотка; 3 – станина; 4 – щиток.

У поздовжні пази статора укладають провідники його обмотки 2, які з'єднують між собою так, що утворюється трифазна система. На щитку 4 машини є шість затискачів, до яких приєднуються початки і кінці обмоток кожної фази. Для підключення обмоток статора до трифазної мережі вони можуть бути з'єднані **зіркою або трикутником**, що дає можливість вмикати двигун в мережу з двома різними лінійними напругами (рис.4).

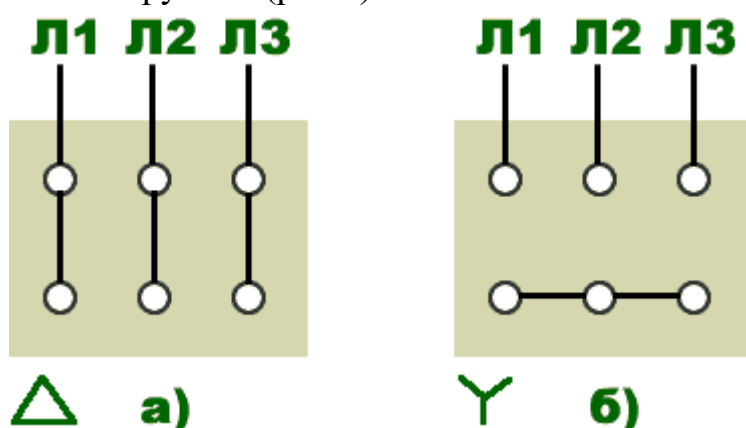


Рис.4. З'єднання затискачів на щитку двигуна: а – трикутником; б – зіркою.

Осердя 1 ротора (рис.5, а) також набирають зі сталевих пластин товщиною 0,5 мм, ізолюваних лаком або окалиною для зменшення втрат на вихрові струми.

Пластини штампують з пазами і збирають у пакети, які кріплять на валу машини. З пакетів утворюється циліндр з поздовжніми пазами, в які укладають провідники 2 обмотки ротора. Залежно від типу обмотки асинхронні машини можуть бути з фазним і короткозамкненим ротором. Короткозамкнена обмотка ротора виконується за типом білячого колеса (рис.5, б). У пази ротора укладають масивні стрижні, з'єднані на торцах мідними кільцями. Часто короткозамкнену обмотку ротора виготовляють з алюмінію. Алюміній в гарячому стані заливають у пази ротора під тиском. Така обмотка завжди замкнена накоротко і вмикання опорів в обмотку неможливо.

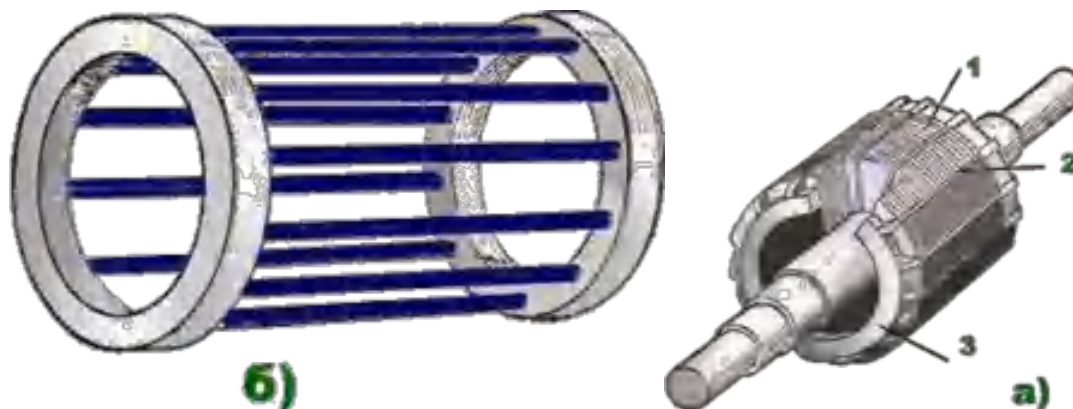
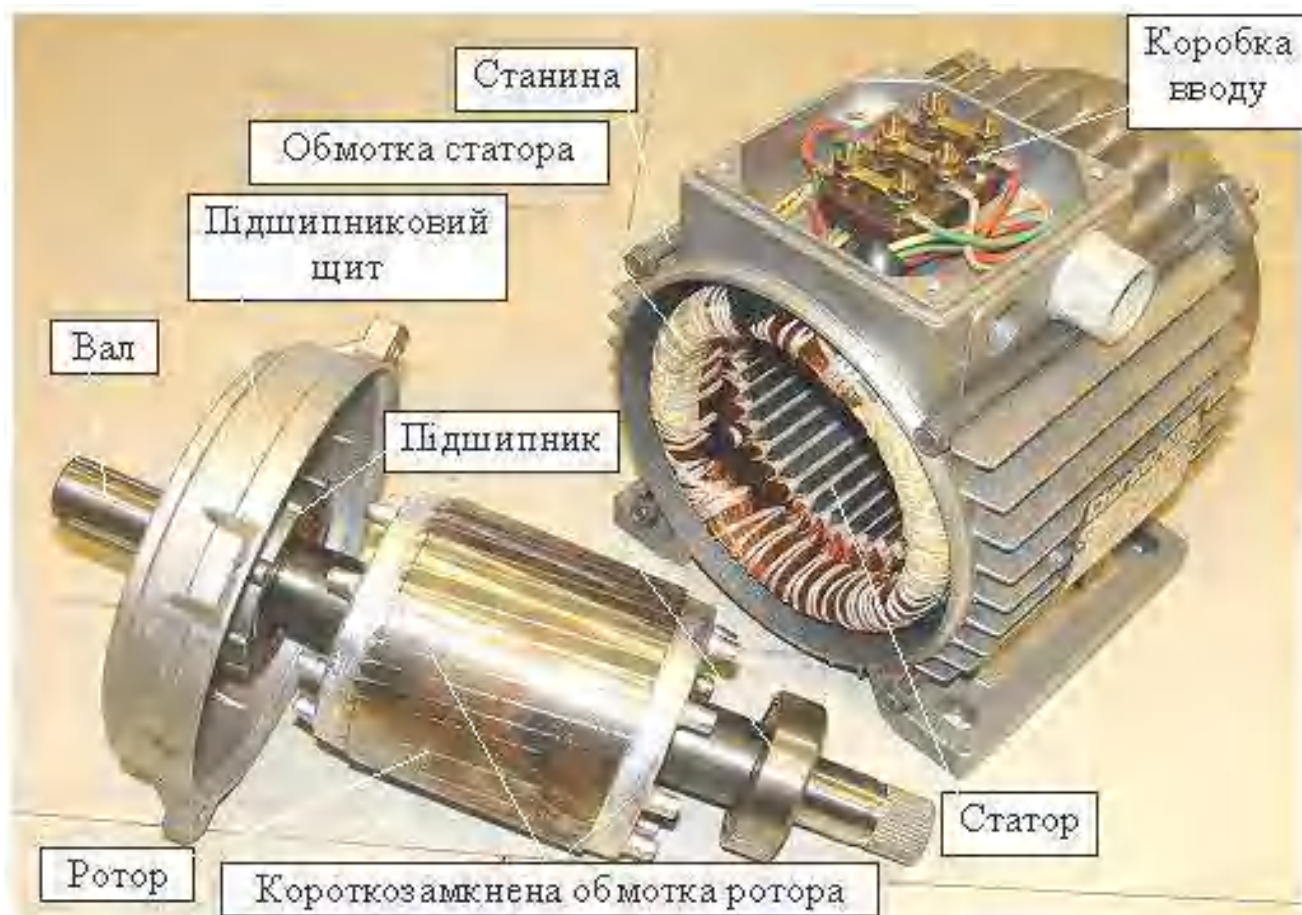


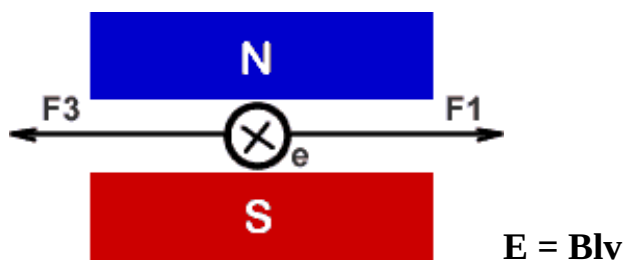
Рис.5. Будова ротора асинхронного двигуна: а) будова; б) обмотка. 1 – осердя; 2 – провідники; 3 – мідні кільця.

Фазна обмотка ротора виконана як і статорна, тобто провідники відповідним чином з'єднані між собою, утворюючи трифазну систему. Обмотки трьох фаз з'єднані зіркою. Кільця ізольовані один від одного і від валу і обертаються разом з ротором. При обертанні кілець поверхні їх ковзають по вугільним або мідним щіткам, нерухомо закріпленим над кільцями. Двигуни із короткозамкненим ротором простіші і надійніші в експлуатації, значно дешевше, ніж двигуни з фазним ротором. Однак двигуни з фазним ротором мають кращі пускові і регульовальні характеристики. В даний час асинхронні двигуни виконують переважно з короткозамкненим ротором і лише при великих потужностях і в спеціальних випадках використовують фазну обмотку ротора. Фазна обмотка ротора виконана як і статорна, тобто провідники відповідним чином з'єднані між собою, утворюючи трифазну систему. Обмотки трьох фаз з'єднані зіркою. Кільця ізольовані один від одного і від валу і обертаються разом з ротором. При обертанні кілець поверхні їх ковзають по вугільним або мідним щіткам, нерухомо закріпленим над кільцями. Двигуни із короткозамкненим ротором простіші і надійніші в експлуатації, значно дешевше, ніж двигуни з фазним ротором. Однак двигуни з фазним ротором мають кращі пускові і регульовальні характеристики. В даний час асинхронні двигуни виконують переважно з короткозамкненим ротором і лише при великих потужностях і в спеціальних випадках використовують фазну обмотку ротора.



3. Принцип дії асинхронного двигуна

Принцип дії електричних машин заснований на використанні **законів електромагнітної індукції** та електромагнітних сил. Якщо в магнітному полі полюсів постійних магнітів або електромагнітів помістити провідник і під дією сили **F1** переміщати його перпендикулярно магнітним лініям, то в ньому **виникає** **електрорушійна сила E (е.р.с)**, яка дорівнює:



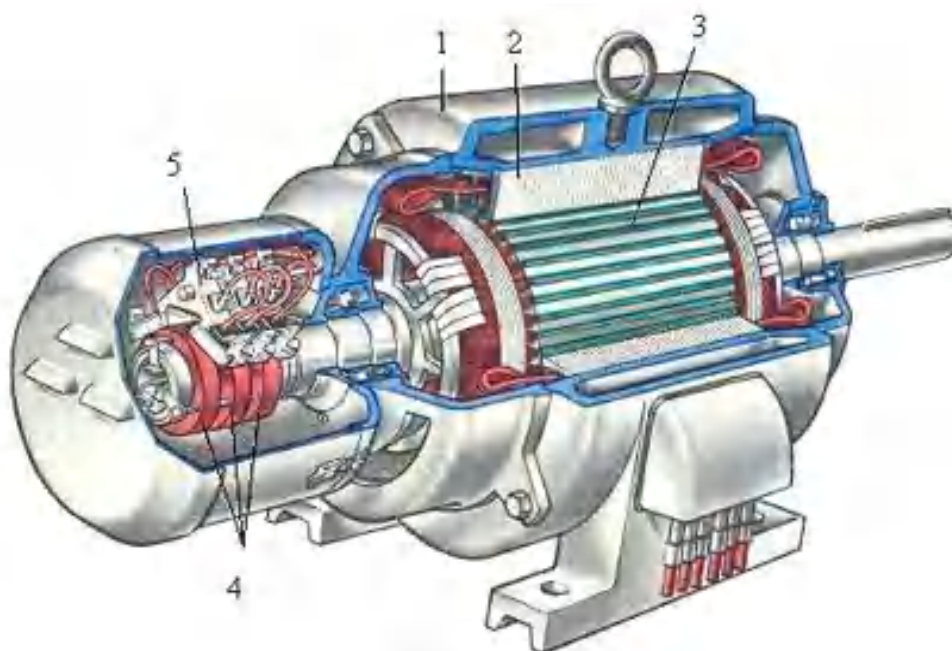
де **B** - магнітна індукція в місці, де знаходиться провідник; **l** - активна довжина провідника; **v** - швидкість переміщення провідника в магнітному полі.

Багатофазна обмотка змінного струму створює обертове магнітне поле (рис.6). Між векторами діючих значень **е.р.с.** в трифазній системі утворюється кут **120°**. Якщо ротор обертається з частотою, яка дорівнює частоті обертання магнітного поля, то така частота називається **синхронною**. Якщо ротор обертається з частотою, яка не дорівнює частоті обертання магнітного поля, то така частота називається **асинхронною**. Робота асинхронного двигуна заснована на явищі, названому «диск Араго – Ленца». Це явище полягає в наступному: якщо перед полюсами постійного магніту помістити мідний диск, який вільно закріплений на осі, і почати обертати магніт навколо його осі за допомогою рукоятки, то мідний диск буде обертатися в тому ж напрямку. Це пояснюється тим, що при обертанні магніту його магнітне поле пронизує диски і індукуює в ньому вихрові струми. В асинхронних двигунах постійний магніт замінений обертовим магнітним полем, яке створюється трифазною обмоткою статора при вмиканні її в мережу змінного струму. Обертове магнітне поле статора перетинає обмотки ротора і індукуює в них **е.р.с.** Якщо обмотка ротора замкнена на опір або накоротко, то по ній під дією **е.р.с.** проходить струм. У результаті взаємодії струму в обмотці ротора з обертовим магнітним полем обмотки статора виникає обертальний момент, під дією якого ротор починає обертатися за напрямком обертання магнітного поля.

Принцип дії електричних машин заснований на використанні законів електромагнітної індукції.

Електрорушійна сила E (е.р.с.)

$$E = Blv$$



а) конструкцією вала; б) конструкцією ротора; в) конструкцією статора; г) інша відповідь



Майже одночасно з невідомим автором конструюванням генераторів та двигунів займалися в Парижі брати Піксії і професор фізики Лондонського університету, член Королівського товариства В. Річчі. Створені ними машини мали спеціальний пристрій для випрямлення змінного струму в постійний – так званий *колектор*. Перша магнітоелектрична машина, яка наведена на малюнку, братів Піксії була побудована в 1832 році. Вона була попередницею всіх динамомашин в широкому сенсі слова, тобто всіх машин, що служать для перетворення енергії руху в електричну енергію. Її слід вважати родоначальницею цілого покоління різноманітних машин, призначених для отримання електричного струму. Повз нерухомих котушок, обладнаних сердечниками, рухаються за допомогою механізму кривошипу і зубчатої передачі полюси підковоподібного магніту AB , що лежать навпроти них, внаслідок чого в котушках виникають струми змінного напрямку. У генераторі братів Піксії потрібно було обертати важкі постійні магніти, що ускладнювало користування ним. З часом зрозуміли, що доцільніше зробити нерухомими постійні магніти, а легші котушки обертати між полюсами магнітів. Магнітоелектричні генератори такого типу виявилися значно зручнішими і саме в такій конструктивній формі вперше увійшли до практики.

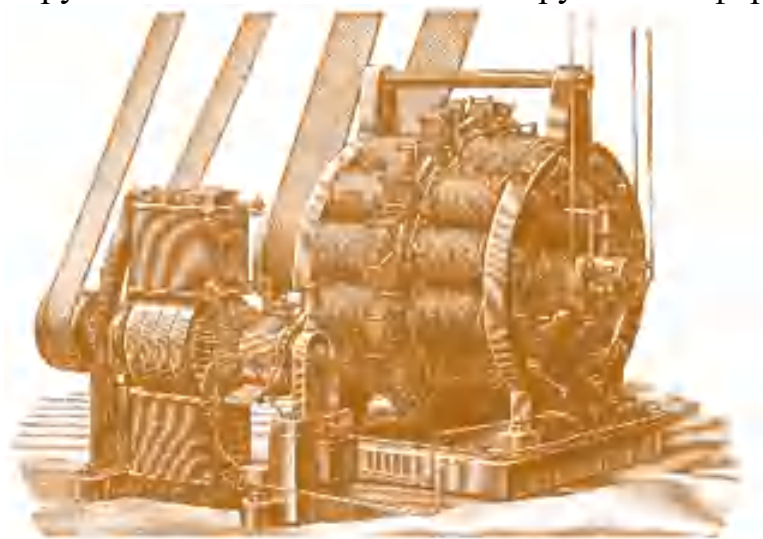


Рис. 7. Перша динамо машина змінного струму Сіменса.

Незабаром берлінська фірма Сіменса запропонувала свою конструкцію динамомашини змінного струму (рис.6), конструкція якої була цікава тим, що в індукторах

немає залізних сердечників, а для збудження використовується додаткова маленька машина постійного струму. Така динамо-машина дозволяла одержувати змінний струм значно вищої напруги для живлення декількох незалежних електричних кіл з багатьма послідовно включеними дуговими лампами.

4. Будова синхронного генератора змінного струму

Будова статора синхронного генератора не відрізняється від будови статора асинхронної машини (рис.7).

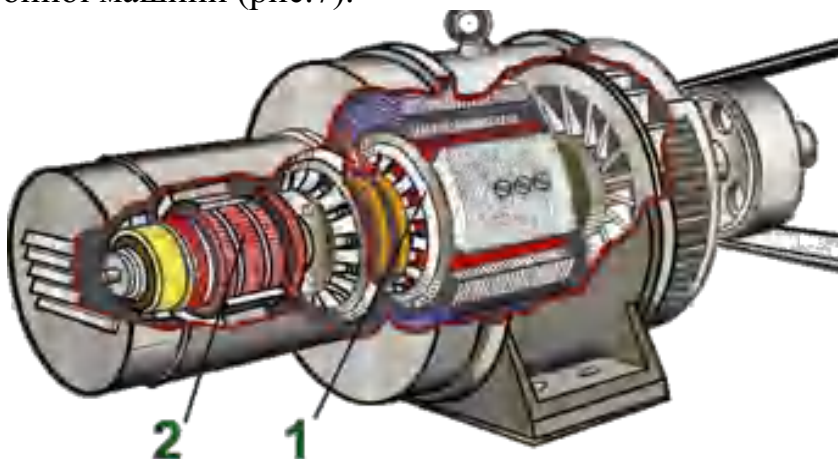


Рис.8. Будова синхронного генератора: 1 – синхронний генератор; 2 – збудник.

Струм збудження протікає по обмотці збудження, яка являє собою послідовно з'єднані котушки. Ці котушки розміщені на полюсах ротора. Кінці обмотки з'єднані з контактними кільцями, які кріпляться на валу машини (2). На кільцях розташовані нерухомі щітки, за допомогою яких в обмотку збудження підводиться постійний струм від стороннього джерела енергії - генератора постійного струму (1) (збудник).

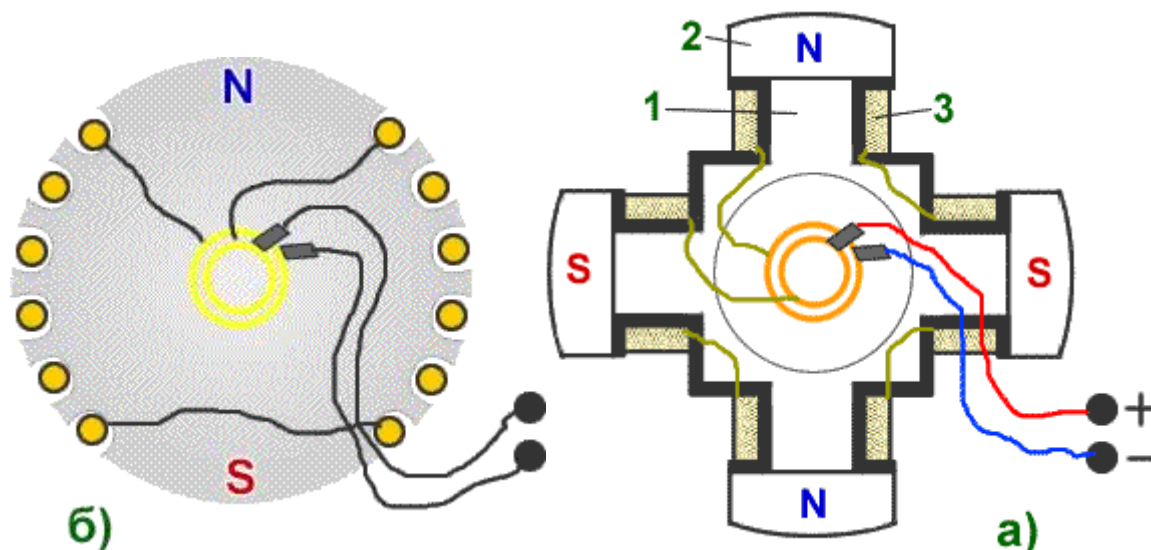
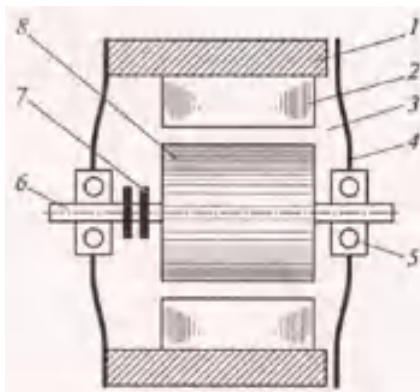


Рис.9. Ротор синхронної машини: а) з явно вираженими полюсами; б) з неявно вираженими полюсами.

1 – осердя; 2 – полюсний наконечник; 3 – котушка обмотки збудження.

5. Принцип роботи синхронного генератора



Конструктивно синхронні генератори бувають двох видів. У першому з них (рис.9,а) магнітні полюси можна помістити на статорі, а провідник на роторі і знімати з них за допомогою кілець і щіток змінний струм. Ту частину, яка створює магнітне поле, називають **індуктором**, а ту частину машини, де розташовується обмотка, в якій індукується е.р.с, називають **якорем**. Найбільш широке застосування одержали синхронні генератори, в яких полюси розташовані на роторі, а якір - на статорі (рис.9,б). За допомогою первинного двигуна ротор (індуктор) обертається. Магнітне поле обертається разом з ротором, тому швидкість обертання ротора дорівнює швидкості обертання магнітного поля (обертаються синхронно).

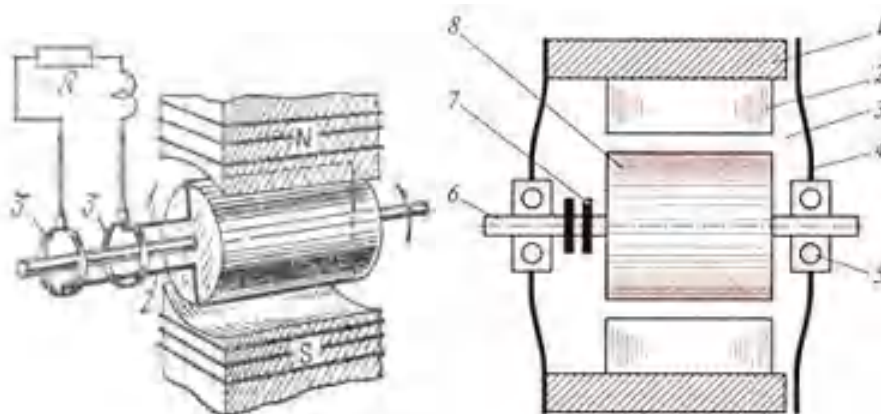


Рис.10. Принцип роботи синхронного генератора

При обертанні ротора магнітний потік полюсів перетинає статорну обмотку і наводить в ній **Е (е.р.с.)** за законом електромагнітної індукції:

$$E = 4,44f w kw \Phi$$

де **f** - частота змінного струму, Гц; **w** - кількість витків; **kw** - обмотковий коефіцієнт; **Φ** - магнітний потік.

Частота змінного струму синхронного генератора визначається за формулою **f**

$$f = pn/60$$

де **p** - число пар полюсів; **n** - швидкість обертання ротора, об / хв.

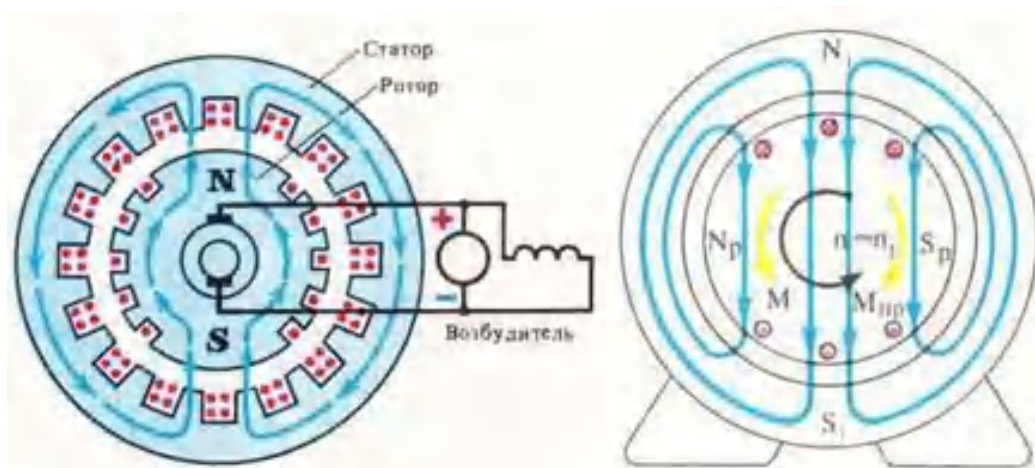


Рис.11. Режими роботи електричної машини: а) режим генератора; б) режим двигуна.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Число пар полюсів синхронного генератора 4. Визначити частоту обертання магнітного поля статора, якщо частота струму 50 Гц.

Рішення

Визначаємо частоту обертання магнітного поля статора:

$$n = f \cdot 60 / p = 50 \cdot 60 / 4 = 750 \text{ об / хв.}$$

Відповідь: $n = 750 \text{ об / хв.}$

Приклад 2. Яка кількість полюсів має бути у синхронного генератора з частотою 50 Гц, якщо його ротор обертається з частотою 500 об / хв.

Рішення

Визначаємо кількість пар полюсів:

$$p = f \cdot 60 / n = 50 \cdot 60 / 500 = 6 \text{ пар.}$$

Відповідь: $p = 6 \text{ пар.}$

Приклад 3. Генератор змінного струму має 10 пар полюсів і його ротор обертається з частотою 1200 об / хв. Скільки разів на секунду струм змінює свій напрямок?

Рішення

Визначаємо скільки разів на секунду струм змінює свій напрямок:

$$f / 2 = p \cdot n / 60 \cdot 2 = 10 \cdot 1200 / 60 \cdot 2 = 100 \text{ разів.}$$

Відповідь: $f / 2 = 100 \text{ разів.}$

6. Схеми підключення асинхронних двигунів

Асинхронний двигун - це двигун змінного струму, частота обертання ротора якого відрізняється від частоти обертання магнітного поля, яке створюється струмом обмотки статора. Асинхронний двигун перетворює електричну енергію в механічну. Фазні обмотки статора електродвигуна з'єднуються в зірку або трикутник (*залежно від напруги мережі!*). Якщо в паспорті електродвигуна вказано, що обмотки виконані на напругу 220/380 В, то при вмиканні його в мережу з лінійною напругою 220 В обмотки з'єднують в **трикутник**, а при вмиканні в мережу 380 В - в **зірку**.

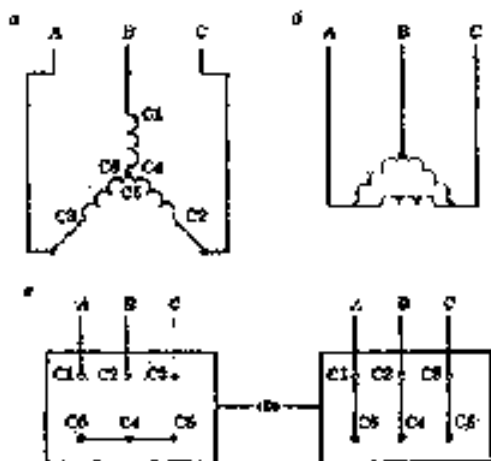


Рис.12. Схеми з'єднання обмоток статора трифазного асинхронного двигуна:
а) в зірку; б) в трикутник; в) в зірку і трикутник на клемному щитку електродвигуна.

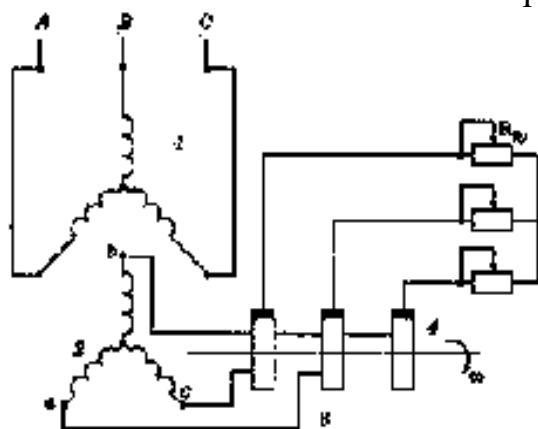


Рис.13. Схема підключення асинхронного електродвигуна з фазним ротором:
1) обмотка статора; 2) обмотка ротора; 3) контактні кільця; 4) щітки; R - резистори.

УВАГА! Для зміни напрямку обертання (**реверсу**) валу асинхронного двигуна необхідно змінити напрям обертання магнітного поля статора. Для цього досить **поміняти місцями два будь-яких провода**, що з'єднують обмотку статора з мережею живлення.

Співвідношення між лінійними і фазними струмами та напругами при різних видах з'єднання

Тема 6. Електромеханічний привод.

План

1. Структура сучасного електропривода промислового механізму
2. Галузі використання електропривода.
3. Електромеханічні пристрої
4. Електричний привод

1. Структура сучасного електропривода промислового механізму

2. Галузі використання електропривода.

Електропривод — високотехнологічна автоматизована електромеханічна система, до складу якої входять електричні, механічні, електронні вузли. **Сучасний електропривод складається з електричного двигуна, електронного**

перетворювача електричної енергії та системи автоматичного керування. За допомогою електроприводів приводяться до руху **майже всі механізми** на заводах та фабриках, транспортні засоби, побутова техніка. Трамваї та тролейбуси, потяги та літаки, верстати та підйомні крани, пароплави та автомобілі, вентилятори та кондиціонери, пральні машини та холодильники, принтери та годинники, сканери та дисководи обладнані електроприводами. Різноманітні електроприводи (від крихітки, який обертає стрілки годинника, до гіганта розміром з двоповерхівку, що рухає потужний прокатний стан) споживають разом понад 60% енергії, виробленої усіма електростанціями України. Без електроприводів неможливе сучасне автоматизоване виробництво.

Особливостями сучасного електропривода є:

- широке використання **напівпровідникових перетворювачів енергії** для регулювання швидкості електроприводів;
- застосування **мікропроцесорних контролерів** для реалізації задач керування електроприводами.



Мережа електропостачання є джерелом електричної енергії.

Перетворювач електричної енергії використовується для керування потоком електричної енергії, що поступає від мережі до двигуна. Керуючи електричною енергією, перетворювач дозволяє керувати швидкістю двигуна. Сучасні перетворювачі виготовляються на базі потужних напівпровідникових елементів. Найбільш поширеними різновидами перетворювачів енергії є перетворювачі частоти та випрямлячі.

Система автоматичного керування входить до складу перетворювача і являє собою мікропроцесорну систему, запрограмовану спеціальними законами стабілізації швидкості двигуна.

Двигун — це перетворювач електричної енергії в механічну. Окрім класичних двигунів, що обертаються, існують лінійні двигуни, рухлива частина яких рухається лінійно.

Редуктор використовується для зміни параметрів механічної енергії (наприклад, зменшення швидкості та підвищення моменту або для перетворення обертального руху на прямолінійний).

Виконавчий механізм — механізм, який безпосередньо виконує корисну роботу (підйом вантажу, рух транспорту, обертання вентилятора тощо).

Система автоматизації технологічного процесу — комп'ютеризований пристрій, який керує роботою виконавчого механізму. Керування відбувається шляхом розрахунку завдання на поточну швидкість. Завдання на швидкість подається на систему керування перетворювача електричної енергії.

Предметом діяльності інженера з автоматизованого електроприводу є керування електричними двигунами. На сучасному ринку праці до інженера з електроприводу висуваються вимоги:

- уміння налагоджувати цифрові електроприводи (насамперед [перетворювачі частоти](#), пристрої плавного пуску);
- здатність програмувати та налаштовувати сучасні засоби автоматизації ([програмовані логічні контролери](#), цифрові регулятори, технологічні датчики);
- володіння програмами автоматизованого проектування.

2. Галузі використання електропривода

Електромеханіка – розділ електротехніки, в якому розглядаються загальні принципи електромеханічного перетворення енергії та їхнє практичне застосування для проектування та експлуатації електромеханічних пристроїв.

3. Електромеханічні пристрої

Електромеханічні пристрої (ЕМП) конструктивно сполучають у собі механічні та електричні (електромагнітні) вузли. Їхнє функціонування базується на таких фізичних явищах, як електромагнітна індукція (поява електрорушійної сили та струму у провіднику, який рухається у магнітному полі), сила Лоренца (діє на провідник зі струмом, розташований у магнітному полі). Усі ці явища супроводжуються взаємодією електричних і магнітних полів та перетворенням енергії (механічної на електричну або навпаки).

Саме **перетворення енергії** є найбільш поширеною функцією ЕМП. На теплових, атомних, вітрових та гідроелектростанціях електрична енергія отримується з механічної енергії турбіни за допомогою електричних **генераторів**. Понад 60% електричної енергії, виробленої електростанціями України, знову перетворюється на механічну електричними [двигунами](#), які рухають машини та механізми у промисловості, на транспорті, у побуті. Недарма електричний двигун є найпоширенішим різновидом ЕМП. Їх кількість в Україні нараховується багатьма десятками мільйонів.

Ще однією, достатньо розповсюдженою функцією ЕМП є **комутація електричних кіл**. Для цього використовують т.зв. **електричні апарати**. Високовольтні повітряні, вакуумні та масляні вимикачі, контактори призначені для комутації силових кіл, електромеханічні реле – для комутації кіл з малими струмами (кіл керування).



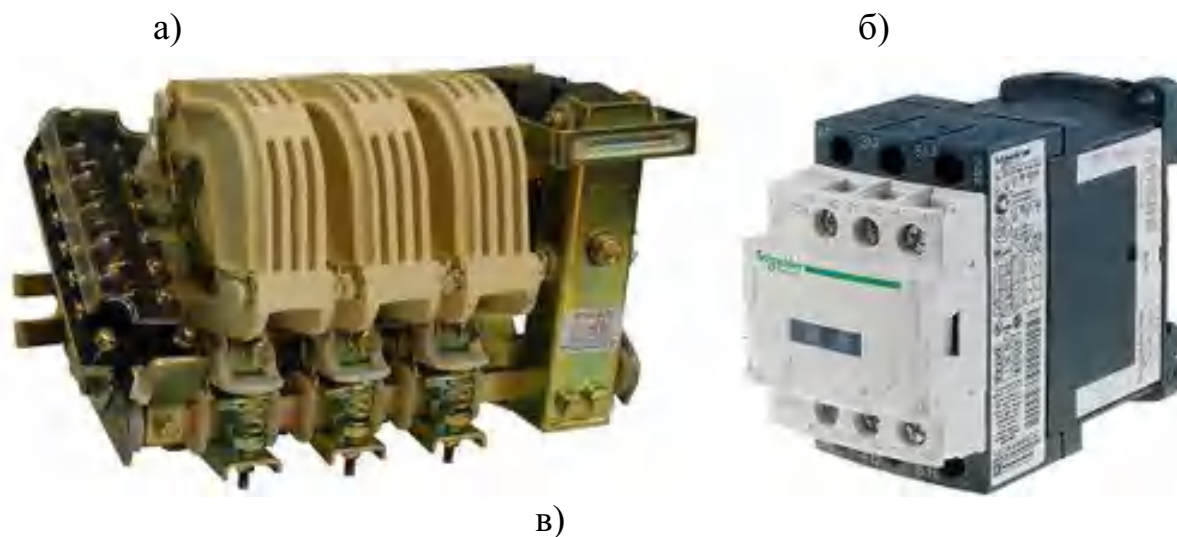


Рис. 1. Електричні апарати для комутації силових кіл (а – повітряний вимикач; б – масляний вимикач; в – контактори)



Рис. 2. Електромеханічні реле для систем автоматики

Менш поширені різноманітні пристрої, до складу яких входять **електромагніти** або соленоїди (електромагнітні гальма, муфти, електроциліндри та електроштовхачі, підйомні електромагніти тощо).



а)



б)



в)

Рис. 3. Електромагніти (а – підйомний електромагніт; б – електромагнітне гальмо; в – електромагнітна муфта)

Деякі різновиди датчиків також використовують електромеханічне перетворення енергії. Це насамперед **датчики швидкості та положення**, які перетворюють механічний рух на електричний сигнал, який використовується для автоматичного керування механізмами.

Не в останню чергу завдяки ЕМП (генераторам та двигунам) відбулася технічна революція у промисловості в середині ХІХ та на початку ХХ століття. Перші засоби автоматизації були також електромеханічними (реле). Хоча більшість електромеханічних пристроїв були винайдені давно, вони й зараз продовжують слугувати людині. Фізичні принципи їх функціонування зберігаються, проте удосконалюється конструкція, дизайн, покращуються масогабаритні показники та енергоефективність. На сьогодні електромеханічні пристрої є силовою основою сучасного матеріального виробництва, будучи основним засобом генерації електричної енергії та головним її споживачем.

3.Електромеханічні пристрої

Особливе місце серед електромеханічних пристроїв займає електричний привод. **Електропривод являє собою симбіоз електричного двигуна, електронного перетворювача енергії, системи автоматичного керування та механічної передачі.** Він є основним засобом приведення до руху машин та механізмів у металургії, машинобудуванні, хімічній, гірничій, обробній промисловості, на електрифікованому транспорті, в комунальному господарстві. У побуті нас оточує велика кількість електропобутових приладів з електроприводом (кондиціонери, вентилятори, насоси, кухонна техніка, пральні та швацькі машини, пиłosоси, газонокосарки, автоматичні ворота, електроінструмент). Мініатюрними електроприводами обладнана офісна техніка (принтери, сканери, дисководи). До складу сучасного електроприводу входять різноманітні електронні пристрої (перетворювачі частоти, випрямлячі, пристрої плавного пуску, мікроконтролери), тому технічний прогрес у цій сфері найшвидший порівняно з іншими підгалузями електромеханіки.



а)



б)



в)

Рис. 4. Електронні засоби сучасного електропривода (а – перетворювач частоти; б – пристрій плавного пуску; в – мікроконтролер)



Електричний двигун (електродвигун) є пристроєм для перетворення електричної енергії на механічну та приведення до руху машин і механізмів. Він є головним і обов'язковим (але не єдиним) елементом електроприводу.

Перші електричні двигуни були винайдені ще у першій половині XIX ст., а з кінця того ж століття почали набувати все більшого поширення. Сучасні промисловість, транспорт, комунальне господарство, побут неможливо уявити без електричних двигунів.

Переважна більшість електричних двигунів є двигунами обертального руху (рис. 1). Вони складаються з нерухомої частини (статора) та рухомої (ротора). Ротор починає обертатися після подачі живлення до обмоток двигуна. Проте для низки механізмів, які виконують поступальний або зворотно-поступальний рух (супорти та столи металорізальних верстатів, деякі транспортні засоби), з метою спрощення конструкції механічної частини електропривода іноді використовують лінійні двигуни. Рухома частина таких двигунів (вторинний елемент або бігун) здійснює лінійне переміщення (рис. 5).

Залежно від роду електричного струму, що використовують для живлення електричних двигунів, розрізняють двигуни постійного та змінного струму.



Рис. 5 Електричні двигуни обертального руху

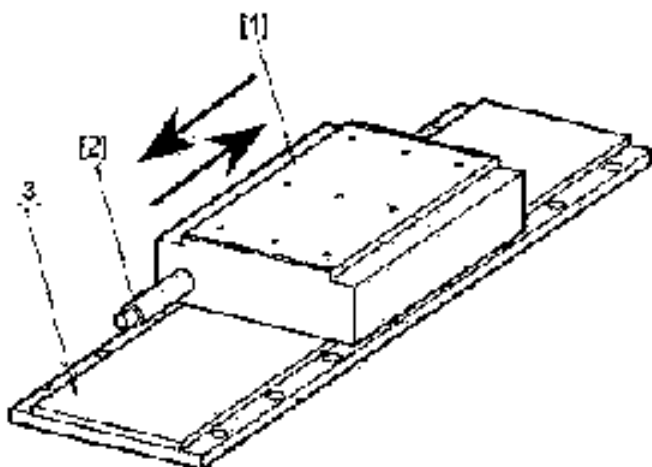


Рис. 6 Лінійний електричний двигун: 1 – статор, 2 – підведення живлення, 3 – бігун

Принцип дії будь-якого електричного двигуна базується на взаємодії магнітних полів. Якщо наблизити один магніт до іншого, то різнойменні їхні полюси будуть

притягуватися один до одного, а однойменні – відштовхуватися. У двигуні роль принаймні одного з магнітів грає котушка зі струмом (тобто електромагніт). Відомо, що протікання провідником електричного струму викликає появу магнітного поля довкола провідника (рис. 3). Це поле має коаксіальний характер, а напрям його магнітних силових ліній можна визначити за «правилом гвинта». Згідно з цим правилом, якщо гвинт закручувати у провідник так, щоб напрям поступального руху гвинта збігався з напрямом струму, то напрям обертання гвинта показуватиме напрям магнітних силових ліній поля (стрілки на рис.6).

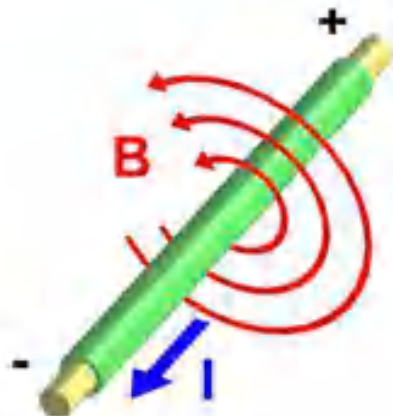


Рис. 7 Виникнення магнітного поля провідника зі струмом

На рис. 7 показаний поперечний переріз провідника. У середині перерізу умовно показаний напрям струму: хрест («хвіст» стрілки струму) – струм від глядача (рис. 4а), точка («вістря» стрілки струму) – струм на глядача (рис. 4б). З рис. 4в, г видно, що магнітне поле замкненої рамки (кільця) зі струмом подібне до магнітного поля постійного магніту (силові лінії виходять із північного полюса та входять до південного). Таким чином, рамка зі струмом являє собою елементарний електромагніт.

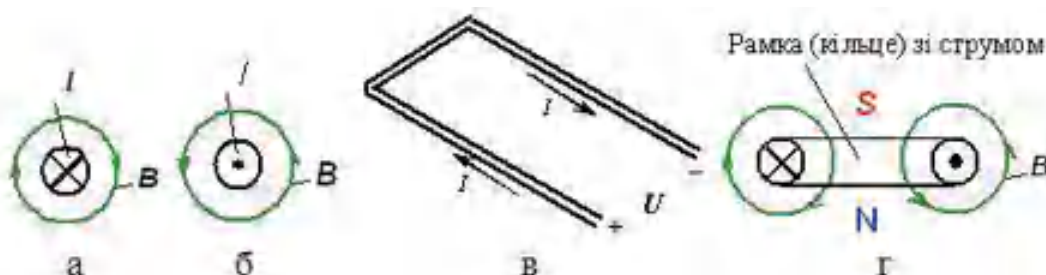


Рис. 8 Магнітні силові лінії провідників зі струмом: а – струм від глядача, б – струм на глядача, в – рамка зі струмом, г – силові ліній рамки (кільця) зі струмом

Електричні двигуни змінного струму

До двигунів змінного струму належать синхронні, крокові (різновид синхронних) та асинхронні двигуни. Їх об'єднує те, що їхніми обмотками протікають знакозмінні струми, а живляться вони від джерел знакозмінної напруги.

Статор електричних двигунів змінного струму являє собою осердя (магнітопровід) з листів електротехнічної сталі, у якому зроблено отвори (пази) для розміщення обмотки (фрагмент магнітопроводу статора подано на рис. 5). Обмотка складається з окремих секцій (котушок, рамок). У середині статора на підшипниках розташований ротор, спроможний вільно обертатися відносно своєї осі.



Рис. 9 Магнітопровід статора двигуна змінного струму

На рис. 6 схематично показано поперечний переріз статора та ротора. На протилежних боках статора у двох пазах розташовані провідники елементарної котушки обмотки. Ця котушка виглядає так, як на рис. 4в, і до неї можна подати напругу від стороннього джерела з тією чи іншою полярністю (як на рис. 4в). На роторі розміщений постійний магніт (полюси N_r та S_r). Якщо до обмотки статора подати постійний струм такого напрямку, як показано на рис. 6а, виникає магнітне поле статора з полюсами N_s та S_s . Ротор повертається за годинниковою стрілкою, аби сумістити протилежні полюси полів ротора та статора (остаточне положення ротора показано штриховою лінією). Якщо полярність струму статора протилежна (рис. 6б), полюси статора поміняються місцями, а ротор повертатиметься у протилежний бік.

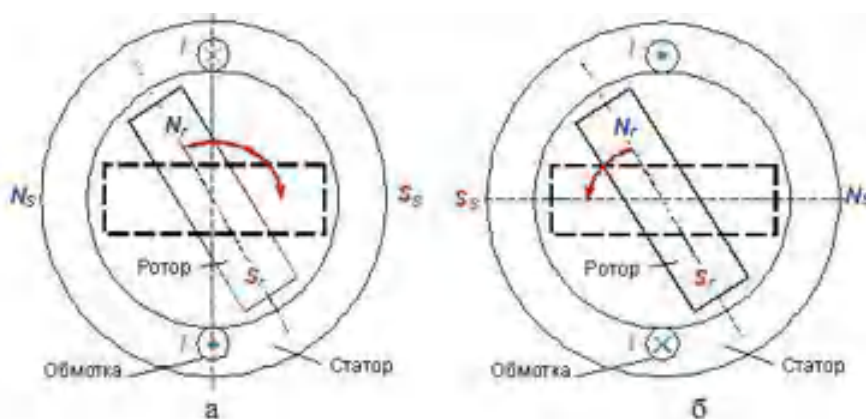


Рис. 10 Взаємодія магнітних полів статора та ротора

Аби забезпечити безперервне обертання ротора, на статорі розташовують кілька окремих обмоток, живлених від окремих джерел. На рис. 7 показаний поперечний переріз двигуна з трьома обмотками статора (червона А, синя В, зелена С). Подібний двигун називають трифазним, а його обмотки – фазними. Обмотки являють собою елементарні рамки з провідника (як на рис. 4в), зсунуті у просторі на 120 градусів одна від одної. На рис. 7 струм протікає лише обмотками зі значками точки та хрестика.

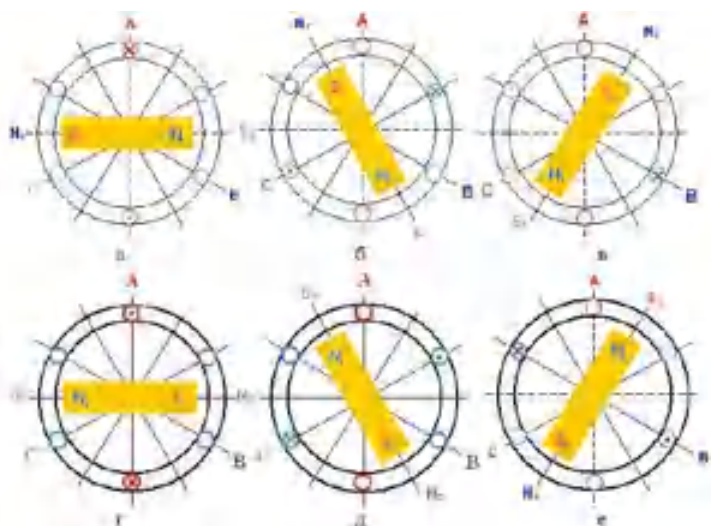


Рис. 11. Принцип дії синхронного двигуна

Якщо подати струм до обмотки А так, як показано на рис. 7а, магнітна вісь поля статора стане горизонтальною, а південний полюс поля ротора після його повороту суміститься з північним полюсом поля статора. Протікання струму обмоткою С призведе до повороту магнітної осі статора (а за ним – ротора) на 60 градусів за годинниковою стрілкою (рис. 7б). Згодом струм подається до обмотки В (рис. 7в). Після цього струм протікає обмотками А, С, В, але у протилежному напрямі (порівняйте рис. 7а та 7г, 7б та 7д, 7 в та 7е). Кожного разу магнітна вісь статора, а за нею – і ротор повертаються на наступні 60 градусів. Якщо після чергового перемикавання струму в обмотках продовжити протікання струму в останній обмотці, ротор лишиться нерухомим. Саме таким є принцип дії **крокового двигуна**. Такі двигуни використовують для дозованого повороту валу механізму на заданий кут (наприклад, в електромеханічних годинниках та принтерах). Змінити напрям обертання ротору можна, змінивши порядок підключення обмоток до позитивного полюсу джерела (А-С-В замість А-В-С).

Подаючи поперемінно струм до фазних обмоток (рис. 8), можна забезпечити безперервне обертання ротора. Зверніть увагу, що струми I_A , I_B , I_C фазних обмоток зсунуті у часі один від одного на третину періоду T . Змінюючи період перемикавання струму в обмотках, можна регулювати швидкість обертання ротора. Для зміни рушійного моменту двигуна змінюють величину струму обмоток статора або індукцію магнітного поля ротора (якщо на роторі замість постійних магнітів установлені обмотка збудження, тобто електромагніт).

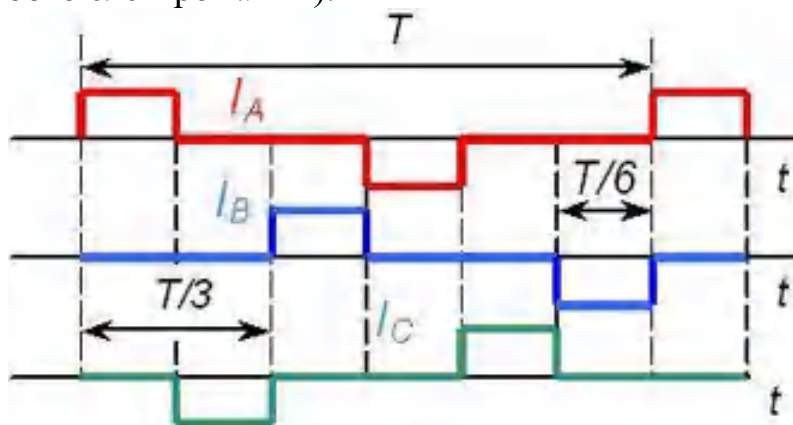


Рис. 12 Зміна у часі струмів обмоток статора крокового двигуна

У трифазному кроковому двигуні магнітне поле статора може займати у просторі лише 6 положень (див. рис. 7), а переміщується воно між ними стрибками. Внаслідок цього виникають пульсації рушійного моменту двигуна, а забезпечити рівномірне обертання ротора дуже складно. Якщо струми фазних обмоток змінювати не ступінчасто (як на рис. 8), а за законом синуса зі зсувом на третину періоду (рис. 9), поле статора обертатиметься плавно (так зване обертове магнітне поле). Ротор з часом наздожене поле статора і надалі обертатися синхронно з ним. Саме в такому режимі працюють **синхронні двигуни**.

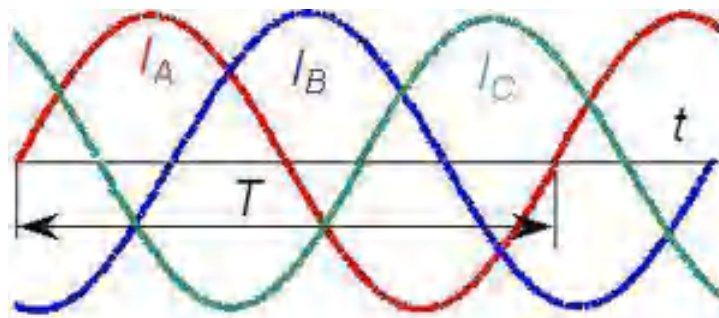


Рис. 13 Фазні струми синхронного двигуна

Асинхронний двигун має такий самий статор, як і синхронний, а обмотками статора також протікають синусоїдні струми (як на рис. 9). Проте конструкція ротора особлива (рис. 10). Ротор набрано з листів електротехнічної сталі (як і статор). У пазах ротора укладено стрижні (алюмінієві або мідні), які на торцях ротора замкнені за допомогою кілець. Якщо ротор обертається зі швидкістю, меншою за швидкість поля статора, в обмотці ротора полем статора наводиться електрорушійна сила, яка спричиняє протікання обмоткою ротора струмів. Струми викликають появу магнітного поля ротора, а взаємодія двох полів – створення рушійного моменту, який повертає ротор. Оскільки рушійний момент виникає лише тоді, коли швидкості ротора та поля статора неоднакові, ротор не може рухатися синхронно з полем статора (звідси і назва двигуна: асинхронний, тобто “несинхронний”). Завдяки простоті конструкції, дешевизні та надійності асинхронні двигуни набули найбільшого розповсюдження.

Конструкція асинхронного двигуна показана на рис. 11, 12.

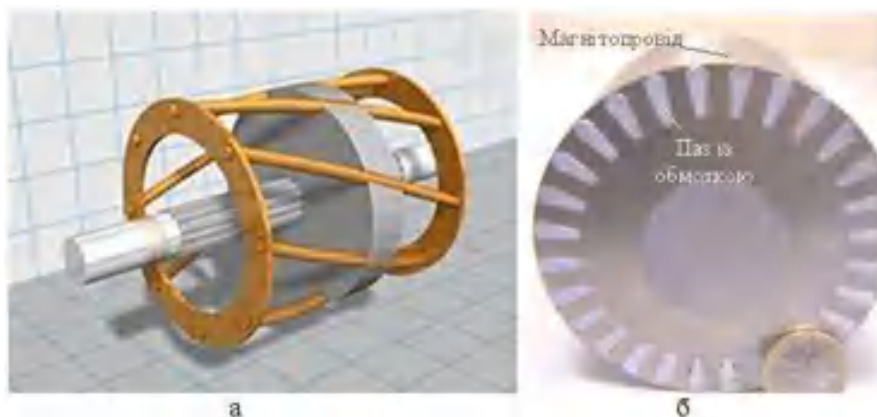


Рис. 14 Ротор асинхронного двигуна: а – короткозамкнена обмотка, б – поперечний переріз ротору

Двигун постійного струму

Двигун постійного струму, на відміну від двигунів змінного струму, живиться від джерела постійного струму. Магнітне поле статора створюється нерухомими постійними магнітами, а на роторі (інакше – якорі) розташована обмотка. Якір жорстко з'єднаний з валом і може обертатися довкола своєї осі. Таким чином, конструктивно двигун постійного струму є оберненою синхронною машиною.

Принцип дії двигуна постійного струму пояснює рис. 13. Поле статора створюють постійні магніти або електромагніти (обмотки збудження). На феромагнітному осерді якоря розміщена обмотка, яка складається з двох послідовно ввімкнених частин (їх з'єднує показаний пунктиром провідник). На якорі також розташовані ізолювані одна від одної колекторні пластини, до яких під'єднані кінці обмотки якоря. До колекторних пластин через нерухомі графітні щітки від джерела живлення подається електричний струм. Якщо верхню щітку підключити до позитивного полюсу джерела живлення, а нижню – до від'ємного, обмоткою якоря протікатиме струм I , позначений на рис. 13. За правилом гвинта лівий полюс якоря стане північним, правий – південним. Полюси якоря та статора відштовхуватимуться один від одного, викликаючи поворот якоря за годинниковою стрілкою. Якір, повертаючись, за інерцією “проскакує” положення “північний полюс навпроти південного”, і під щітками опиняються інші колекторні пластини. Напрямок струму в обмотці якоря змінюється на протилежний, полюси якоря міняються місцями, і обертання якоря продовжується. Для зміни напрямку обертання якоря слід змінити полярність напруги, що подана до щіток.

Конструкцію, подібну до зображеної на рис. 13, мають малопотужні двигуни (що використовуються, наприклад, у дитячих іграшках). В промислових двигунах для забезпечення плавності руху якір має багато окремих секцій обмотки, з'єднаних з окремими парами колекторних пластин (щось подібне до рис. 14). Під час обертання якоря через пару щіток до джерела підключається кожного разу наступна секція якоря, яка за даного положенні якоря має найбільший магнітний зв'язок з полем статора.

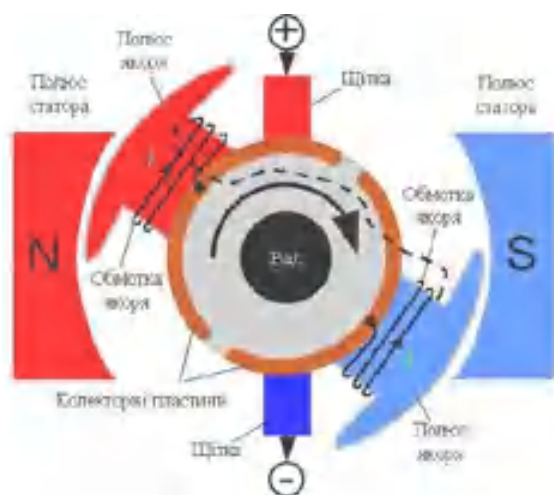


Рис. 15 До принципу дії двигуна постійного струму



Рис. 16 Якір двигуна постійного струму

4. Електричний привод

В електроприводі звичайно виникає задача автоматичного керування електричними двигунами. У найпростіших випадках достатньо лише забезпечити їхній запуск, зупинку, зміну напрямку обертання та захист від аварійних режимів. Подібні функції легко реалізуються за допомогою простих та відносно дешевих електромеханічних контакторів та реле. Проте часто є потреба в плавному регулюванні швидкості обертання та рушійного моменту. Тоді для живлення двигунів використовують керовані джерела живлення – напівпровідникові перетворювачі енергії ([керовані випрямлячі](#) для двигунів постійного струму та [перетворювачі частоти](#) для двигунів змінного струму) та достатньо складні системи автоматичного регулювання. Електроприводи, до складу яких, окрім двигуна, входять керовані перетворювачі енергії та системи автоматичного керування, здатні виконувати виробничу задачу за мінімальної участі людини. Вони отримали назву автоматизованих електроприводів.

Система керування, діагностування і захисту

Задачами даної системи є:

- ☐ керування силовими ключами інвертора та забезпечення потрібного порядку їх перемикання;
- ☐ керування струмом, моментом і швидкістю електродвигуна;
- ☐ контроль стану двигуна і перетворювача частоти та захист їх від аварійних режимів;
- ☐ обмін інформацією із зовнішнім світом (датчиками, програмованим логічним контролером, людиною).

Система побудована на кількох **мікропроцесорних контролерах**, кожен з яких виконує свої функції (керування ключами, спілкування із зовнішніми пристроями, відображення інформації).

Настроювання (програмування) перетворювача частоти складається з вибору потрібних значень змінних параметрів (темپ розгону, спосіб зупинки, рівні спрацьовування захистів тощо).

Параметри зібрані в меню, що чимось нагадують меню мобільного телефону. Настроювання можна здійснювати безпосередньо на перетворювачі за допомогою спеціального терміналу з кількома кнопками та невеличким дисплеєм. Можливе також створення файлу настроювань в офісі з наступним його завантаженням до перетворювача частоти з ноутбуку.

Окрім силових входів та виходів, через які здійснюють підключення живильної мережі та двигуна, є також керуючі входи/виходи. Завдяки їм перетворювач отримує

сигнали від зовнішніх датчиків, команди від програмованого логічного контролера (ПЛК), через них передає йому інформацію про свій поточний стан. Найбільш «просунуті» перетворювачі мають ПЛК у себе на борту і завдяки цьому здатні виконувати доволі складні функції автоматизації технологічного процесу.

У сучасних автоматизованих цехах широко використовуються промислові комунікаційні мережі, подібні до мережі Ethernet у комп'ютерних класах. Мережа з'єднує програмовані логічні контролери, панелі людино-машинного інтерфейсу, датчики, електроприводи у розгалужену систему автоматизації. Тому перетворювач частоти обов'язково має можливість підключатися до комунікаційної мережі.

Автоматизація

Рівень життя сучасної людини значною мірою визначається розвитком виробничих сил. Виробничі сили – це **засоби виробництва** (техніка, ресурси, енергія) та люди, які використовують ці засоби для виробництва продукції.

Досить безбідне існування (у матеріальному плані) сучасній людині забезпечила **науково-технічна революція**, яка почалась у середині минулого століття й призвела до докорінної зміни технічних засобів виробництва на основі **механізації та автоматизації**.

Механізація виробництва – це заміна ручних засобів праці (інструментів) машинами та механізмами. Механізація зробила людину сильною та спритною. Вона вивільнила людину від тяжкої та монотонної праці, значно підвищила її продуктивність. «Серцем» більшості механізмів є **двигун** – спочатку це була парова машина, пізніше електродвигун або двигун внутрішнього згоряння.

Проте жоден механізм чи навіть комплекс не зможе виготовити, наприклад, електронну мікросхему для комп'ютера або мобільного телефону чи складну деталь для літака з використанням лише ручного керування. Людина не має необхідної для цього точності та швидкості. І око людини (як вимірювальний прилад), і рука (як виконавчий орган) недосконалі. Тому другим етапом розвитку виробничих потужностей, не менш важливим ніж механізація, стала автоматизація виробництва.

Автоматизація виробництва – це широке застосування у виробничих процесах **автоматичного та автоматизованого** устаткування, у якому функції керування та контролю передані керуючим приладам та автоматичним пристроям (**автоматам**).

Слово «автомат» у перекладі з грецької значить «самодіючий». У Стародавній Греції так називалися механізми та пристрої, які могли самостійно, без видимої участі людини виконувати деякі прості дії. Перші автомати використовувались жерцями для демонстрації «чудес», що нібито створювалися божественною силою, *рис. 1*.

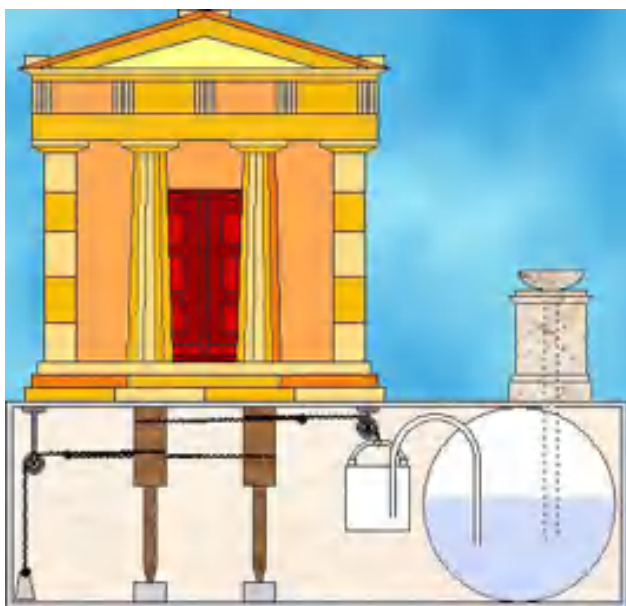


Рис. 18. Стародавній механізм автоматичного відчинення дверей храму при розведенні жертовного вогню

(При запаленні вогню під дією тепла повітря у сфері розширюється і витискає воду до підвішеної бочки. Вага бочки перевищує вагу противаги і ланцюговий привод відчиняє двері)

У подальшому автомати-іграшки з'явилися у будинках заможної знаті і використовувались для розваг (рис. 2, [відео](#)). У середні віки майстри-умільці неодноразово створювали механічних птахів, звірів, фантастичних тварин, що могли махати крилами, рухатися та ричати. Створювались також рухливі фігурки міфологічних створінь та людей.

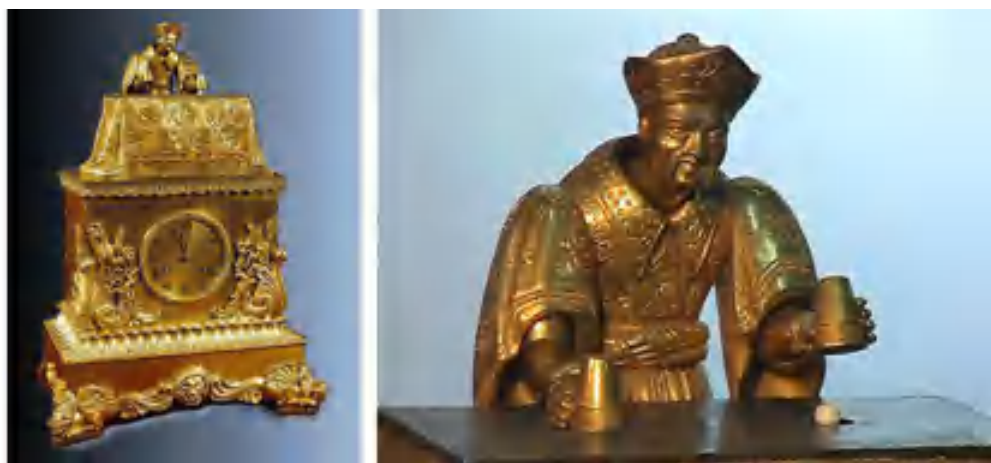


Рис. 19. Автомат механічний «Фокусник» Франція, Ж.Ф. Уден, 1840-1860 р. р.

(Комбінація з двох механічних автоматів в єдиному конструктивному виконанні: годинник кінематично зв'язаний з фігуркою східного чарівника (фокусника), який маніпулює склянками та кольоровими кульками. Кулачкова система керування, дві циклічні програми, пружинний привод)

Нині автомати знайшли широке застосування у промисловості, на транспорті та у побуті. Яку б функцію не виконував автомат, його робота визначається програмою – певною послідовністю дій, що попередньо задана людиною. Це – **програмний**

автомат. Програма роботи автомата може бути закладена у його конструкції, наприклад, у вигляді **кулачкового механізму**, у якому кулачок складної криволінійної форми при обертанні зрушує штовхач або коромисло. Штовхач чи коромисло «копіює» своїм рухом форму кулачка (рис. 3, [анімація](#)).

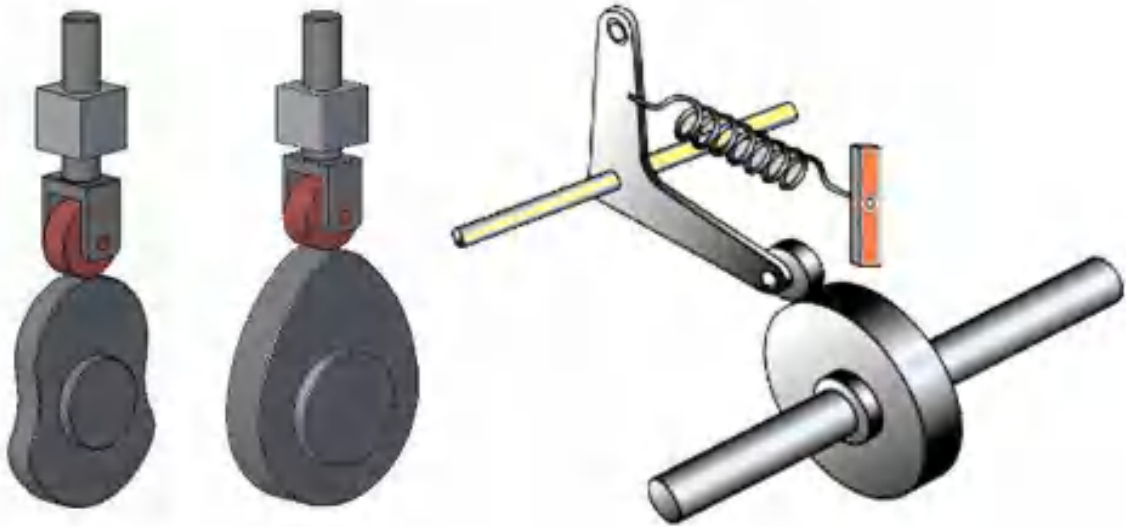


Рис. 20. Кулачковий механізм – основа механічного програмного автомата (При обертанні кулачок, який має форму ексцентрика, за допомогою штовхача або коромисла впливає на об'єкт керування)

У більш загальному випадку автомат реалізує складний **закон керування**, який може бути заданий програмою, математичною формулою, таблицею або іншим чином. При цьому автомат може виконувати функцію **стабілізації** (підтримування технологічного параметра на постійному рівні та компенсація шкідливих зовнішніх впливів) або **стеження** (зміна керованого технологічного параметра відповідно до якогось іншого параметра).

З найбільш відомих автоматичних систем можна згадати:

- **програмні системи:** ігровий автомат, робот-маніпулятор; верстат з числовим програмним керуванням, пральна машина-автомат;
- **системи стабілізації:** стабілізатор напруги живлення; інкубатор для штучного виведення пташенят із яєць (стабілізація температури); система підтримування рівня води у водонапірній башті; круїз-контроль для стабілізації швидкості автомобіля, автопілот літака, кондиціонер;
- **системи стеження:** привод сонячної батареї, який спрямовує панелі на сонце; привод радара, який відслідковує рух літака або іншої цілі.

Основною особливістю **системи автоматичного регулювання** є той факт, що вона виявляє різницю між бажаним рівнем технологічного параметру та реальним його значенням. Наприклад, відцентровий регулятор частоти обертання двигуна внутрішнього згоряння (регулятор Ватта) вимірює реальну частоту обертання вала та змінює подачу палива при відхиленні реальної частоти від бажаної (рис. 4).

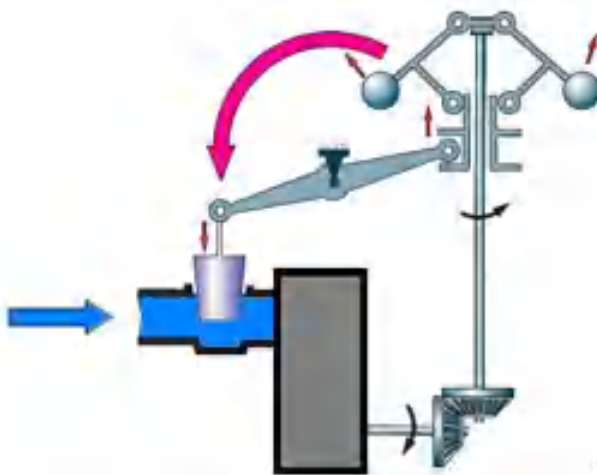


Рис. 21. Автоматичний регулятор частоти обертання двигуна

(При збільшенні частоти обертання вантажі, які обертаються, розходяться і опускають засувку, зменшуючи подачу палива. І навпаки, при зменшенні швидкості вантажі сходяться і підіймають засувку, підтримуючи при цьому частоту обертання на майже постійному рівні)

Для забезпечення можливості автоматичного регулювання необхідно реалізувати так званий **зворотний зв'язок**: подавати вихідну величину системи на її вхід. Наприклад, у системі регулювання рівня рідини в ємності поплавець, який контролює вихідну величину (а саме рівень дзеркала рідини) за допомогою коромисла діє на засувку, яка впливає на вхідну величину (подачу рідини до ємності), *рис. 5*. Аналогічно, у системі регулювання швидкості двигуна вимірник швидкості (вихідної величини) за допомогою дросельної засувки впливає на витрату палива (вхідну величину).

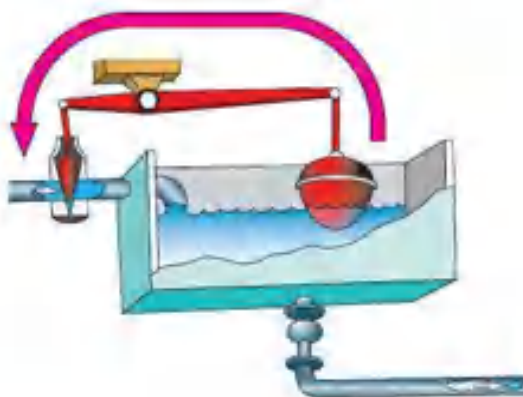


Рис. 22. Зворотний зв'язок в автоматичному регуляторі рівня рідини у ємності
(При зміні рівня рідини поплавець змінює положення вхідної засувки, регулюючи подачу рідини до ємності)

Якщо проаналізувати наведені вище приклади автоматів, то можна виявити спільні риси, характерні для більшості автоматичних систем. Ці спільні риси можна проілюструвати за допомогою **функціональної схеми**. У структурі типової автоматичної системи можна відзначити (*рис. 6*):

□ **об'єкт керування**: безпосередньо машина або процес, керування яким і є метою автоматизації;

□ **керуючий пристрій (регулятор)**: технічний засіб (частіше за все мікропроцесорний прилад), який впливає на керований об'єкт відповідно до закладеного закону керування;

□ **виконавчий орган**: проміжна ланка між керуючим пристроєм та об'єктом керування; призначена для виконання команд керуючого пристрою;

□ **здатчик**: маніпулятор (клавіатура, джойстик тощо) за допомогою якого оператор має можливість ввести до керуючого пристрою бажані значення керованої величини;

□ **датчик**: пристрій, який вимірює керовану величину і подає її у вигляді сигналів, що придатні для подальшої обробки і передачі до керуючого пристрою.

На *рис. 6* показані два варіанти систем автоматичного керування:

а) розімкнена (без зворотного зв'язку), яка нездатна реагувати на зміну дійсного значення керованої величини;

б) замкнена (зі зворотним зв'язком), у якій є можливість порівняти бажане та дійсне значення керованої величини та скоригувати поведінку системи.

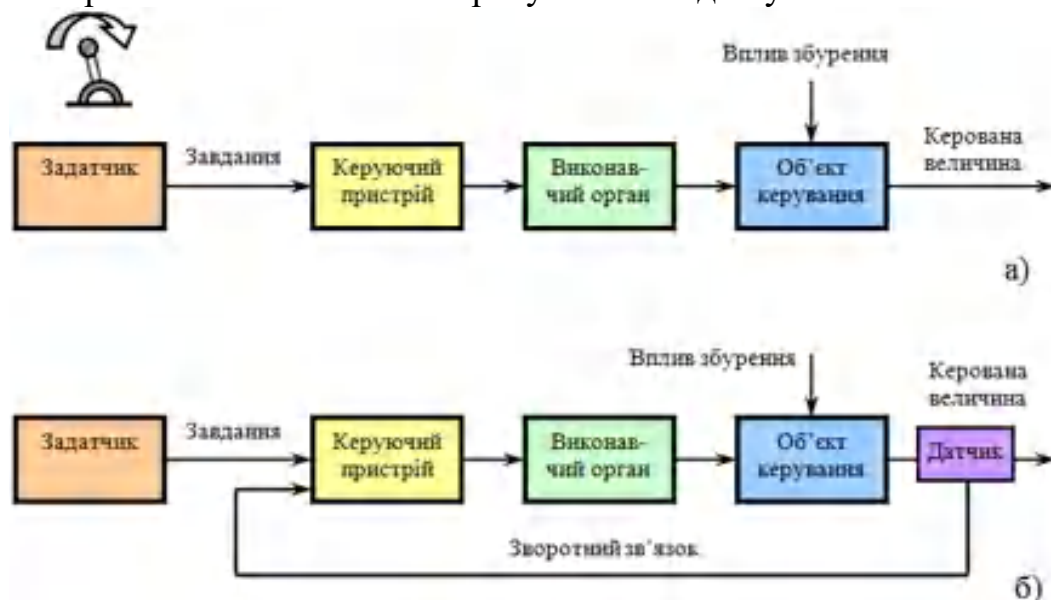


Рис. 23. Функціональні схеми автоматичних систем

(а – розімкнена система; б – замкнена система)

У наведеній вище системі автоматичного регулювання частоти обертів двигуна (*рис. 4*) об'єктом керування є двигун, а **керованою величиною** – частота обертання вала двигуна. Керуючим органом виступає засувка – зміна її положення безпосередньо впливає на витрату палива і частоту обертання. Пара двох зубчастих коліс, яка передає обертальний рух з вихідного валу двигуна на вал відцентрового регулятора, у нашому випадку є датчиком. Відцентровий регулятор виконує функції керуючого пристрою. І, нарешті, задатчиком є педаль або важіль акселератора (на рисунку не показана), яка за допомогою ще однієї засувки впливає на подачу палива до двигуна.

Основу сучасного промислового виробництва становлять різноманітні машини й механізми: верстати, преси, млини, насоси, конвеєри, крани, роботи-маніпулятори тощо. Для керування цими складними об'єктами (а також для керування комплексами машин) використовуються програмовані логічні контролери (скорочено – ПЛК).

Програмований логічний контролер – це спеціальний пристрій, реалізований на базі мікропроцесора і призначений для автоматизації машин і механізмів. **Фактично ПЛК** – це міні-комп'ютер у спеціальному конструктивному виконанні, який може застосовуватись у несприятливих умовах зовнішнього середовища (*рис. 7*).

Для створення програм для ПЛК використовуються спеціальні «інженерні» мови програмування, зрозумілі спеціалістам різного профілю: електрикам, механікам, технологам, операторам. До входів ПЛК приєднують задатчики (кнопки, клавіатури, джойстики) та датчики, а до виходів – виконавчі органи машин і механізмів (електроприводи, електроклапани, контактори, дросельні засувки тощо), *рис. 8*.

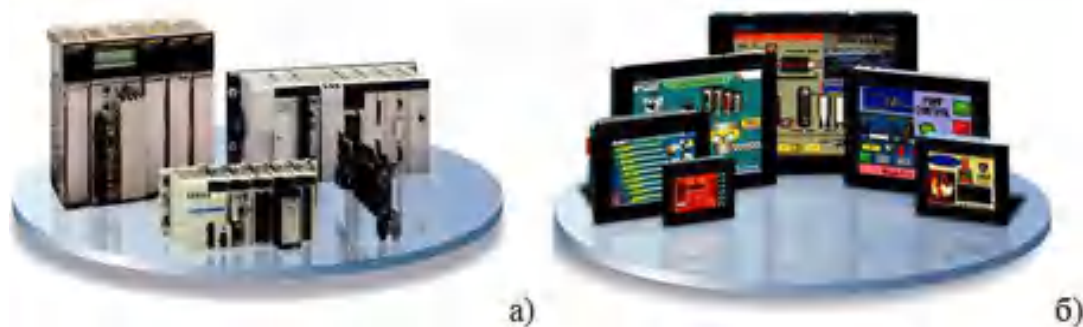


Рис. 24. Технічні засоби автоматизації
(а – програмовані логічні контролери; б – панелі візуалізації)

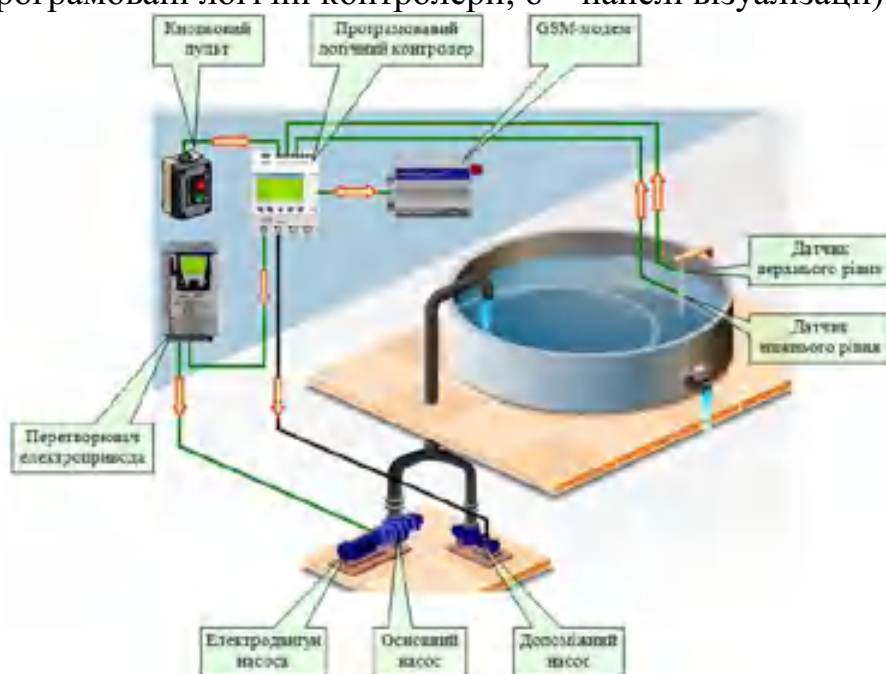


Рис. 25. Система автоматизації насосної станції за допомогою ПЛК Zelio Logic
(Оператор керує роботою станції за допомогою кнопкового пульта або мобільного телефону через SMS-повідомлення.

Для забезпечення мобільного зв'язку з контролером використовується GSM модем)

Для спрощення «спілкування» людини-оператора зі складними контролерами використовують **панелі візуалізації** – спеціалізовані touch-screen екрани, за допомогою яких можна вводити дані до контролера та зчитувати з нього необхідну інформацію. Також в деяких випадках для дистанційного керування обладнанням можна застосовувати мобільні телефони або смартфони.

Сучасний етап розвитку автоматизації характеризується: по-перше – розширенням сфери застосування автоматів (автоматика проникає до усіх сфер життя людини: медицини, побуту, масової культури, фінансів, природокористування), а по-друге – впровадженню принципово нових засобів автоматизації, що реалізують інтелектуальні методи керування (експертних систем, нейронних мереж, генетичних алгоритмів, систем нечіткої логіки, тощо).

Тема 7. Основи електробезпеки

План

1. Основні правила електробезпеки
- 2.. Організаційні та технічні заходи безпечного виконання робіт в електроустановках

1. Основні правила електробезпеки

Дія електричного струму на організм людини й тварини проявляється в складних і своєрідних формах. **Проходячи через організм, електричний струм робить хімічні, теплові й біологічні дії.** При хімічному впливі розкладається кров і інші органічні рідини організму. Теплова дія виражається в опіках окремих ділянок тіла. Біологічний вплив електроструму проявляється в подразненні й ушкодженні живих тканин організму, що супроводжується мимовільними судорожними скороченнями м'язів.

Електричний удар (шок) становить найбільшу небезпеку. При проходженні електричного струму через тіло людини ушкоджується весь організм, викликаючи повний або частковий **параліч** нервової системи, серця, органів дихання.

На результат враження організму електричним струмом впливає ряд факторів: **сила струму, опір тіла людини**, величина напруги, частота й рід струму, шлях струму, тривалість дії, а також індивідуальні особливості людського організму.

Сила струму впливає на результат враження. Можна виділити наступні приближені граничні значення струму:

1. **Відчутний струм (до 2мА)** – викликає при проходженні через організм подразнення;

2. **Струм, що не відпускає (10...25 мА)** – викликає при проходженні струму непереборні **судорожні скорочення** м'язів рук, у якій затиснутий провідник.

3. **Фібриляційний струм (понад 50 мА)** – викликає при проходженні через організм фібриляцію серця (безладне скорочення серцевого м'яза).

При враженні електричним струмом велике значення має опір людського тіла. Опір тіла R_t електричному струму змінюється в широких межах – від **100000 до 10000 Ом** і залежить від стану шкірного покриву (суха, волога, огрубіла, неушкоджена або ушкоджена шкіра), від площі й щільності контакту, а також від сили й частоти струму що проходить й тривалості його дії.

На результат ураження впливає **шлях струму в організмі**. Найбільшу небезпеку представляє шлях, **коли струм проходить від руки до ноги**, тому що він охоплює найбільш важливі органи людини (серце, легені).

У статистиці електротравматизму відомі випадки смертельного ураження, коли порівняно невеликий струм проходив через особливо уразливі точки на тілі людини: тильна **сторона руки, область скроні, хребет**, місця сплетіння нервових волокон і інших.

Результат ураження електрострумом у значній мірі визначається індивідуальними властивостями людини. Та сама величина струму, що протікає через людину, в одного може викликати лише слабе відчуття, а для іншого він може привести до скорочення м'язів. У тієї самої людини граничні значення струму міняються залежно від його фізичного й психічного стану. Стан сп'яніння зменшує електричний опір організму, а отже, і збільшує небезпеку ураження. **Найнебезпечніша дія робить струм на людей, що страждають деякими захворюваннями** (хвороби серця, органів внутрішньої секреції, туберкульозу, нервові захворювання). Тому обслуговування електроустановок доручається особам, що пройшли медичний огляд і спеціальне навчання.

На організм тварини електричний струм діє так само, як на організм людини. Досліди над тваринами показали, що небезпечна дія електричного струму тим менша, чим більша маса тварини. Струм величиною 100мА ніяких розладів дихання або серцевої діяльності в них не викликає. Однак, опір тіла тварини значно менший, ніж тіла людини. Опір тіла великої рогатої худоби між передніми й задніми ногами становить 400...600Ом, а при падінні тварини зменшується, до 50...100Ом залежно від вологості тіла.

Доведено, що навіть малі напруги, що постійно діють на тварин, є причиною зниження продуктивності. При величині напруги 4...8В молоковіддача зменшується на 20...40%.

Ураження людини електричним струмом можливе тільки в тому випадку, якщо він **торкається одночасно двох точок з різним електричним потенціалом. Величина струму**, що проходить через людину, залежить від особливостей електричної мережі й схеми можливого включення в неї людини. Найбільш типовими є дві схеми включення: між двома проводами (двофазний дотик) і між провідником або корпусом ушкодженого обладнання й землею (однофазний дотик).

На малюнку 1, а показане одночасний дотик до двох фаз трифазної мережі. При такому включенні людини в ланцюг струм I_l (А), що протікає через, його, буде:

$$I_l = \frac{U_l}{R_l} = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{R_l} \quad (1)$$

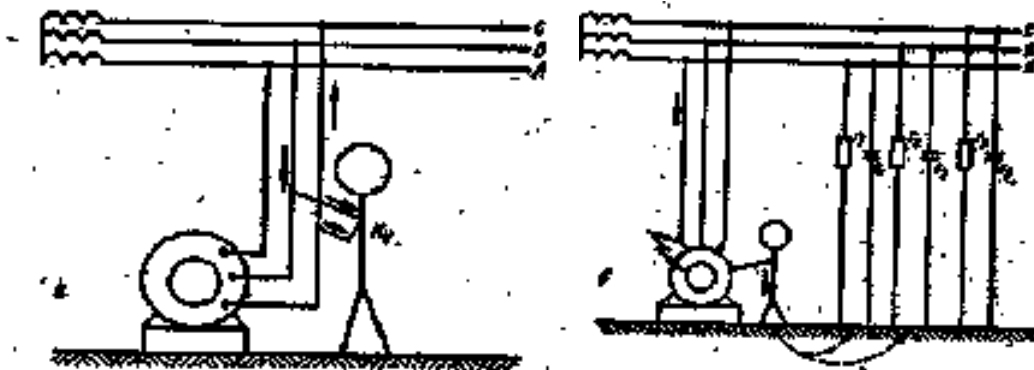
де U_l – лінійна напруга, В;

U_ϕ – фазну напругу, В;

R_l – опір тіла людини, Ом.

$$I_l = \frac{380}{1000} = 0.38, \text{ А}$$

Значно частіше відбувається однофазний дотик при замиканні фази на корпус (мал. 1, б, 2). У мережі з ізолюваною нейтраллю напругою до 1000В струм, що протікає через людину, повертається до джерела через опір ізоляції двох інших фаз і ємність (мал. 4.1, б).

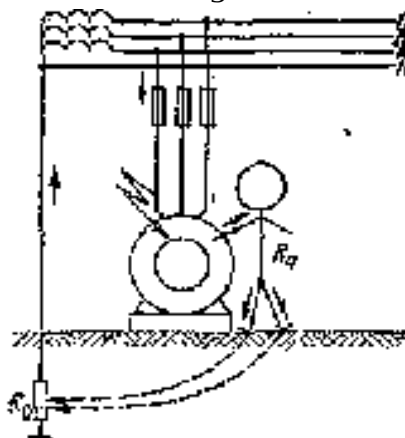


Мал. 1. Схеми двофазного (а) та однофазного (б) дотику до мережі ізолюваною нейтраллю.

У цьому випадку сила струму залежить не тільки від опору тіла людини, але й від опору ізоляції r_1, r_2, r_3 ємності фаз щодо землі c_1, c_2, c_3 . Для повітряних мереж невеликої довжини ємність проводів щодо землі мала, тобто $c_1 = c_2 = c_3 = 0$. Опір ізоляції проводів щодо землі можна прийняти рівним $r_1 = r_2 = r_3 = r$, тоді:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{л}} + \frac{r}{3}} \quad (2)$$

$$I_{\text{л}} = \frac{220}{1000 + \frac{500}{3}} = 0.19, \text{ A}$$



Мал. 2. Схема однофазного дотику до мережі із глухозаземленою нейтраллю.

Сила струму, що проходить через людину в мережах з ізолюваною нейтраллю, залежить від якості ізоляції в електричних установках: чим краща ізоляція, тим менша сила струму.

При схемі однофазного включення в мережу трифазного струму із глухо заземленою нейтраллю (мал. 2) шлях струму буде: фаза – корпус електроприладу – людина – заземлювач – нульовий провід, а його величина:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{л}} + R_0} \quad (3)$$

де R_0 – опір заземлення нейтралі, Ом.

$$I_{\text{л}} = \frac{220}{1000 + 4} = 0.21, \text{ A}$$

Знехтувавши опором R_0 як величиною, значно меншою $R_{\text{л}}$, одержимо:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{л}}} \quad (4)$$

$$I_{\text{л}} = \frac{220}{1000} = 0.22, \text{ A}$$

Із цієї рівності випливає, що людина, доторкнувшись до однієї фази мережі із глухо заземленою нейтраллю, попадає під повну фазну напругу.

У сільському господарстві в основному застосовуються мережі із глухо заземленою нейтраллю напругою до **1000 В**. Перевага їх полягає в тому, що вони дозволяють одержати дві робочі напруги – лінійну 380 В і фазну 220 В, а також не вимагають високих вимог до якості ізоляції проводів і можуть застосовуватися при великій розгалуженості ліній.

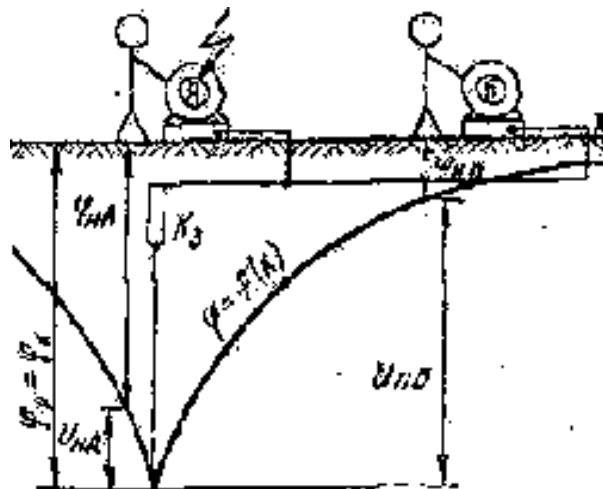
Для посилення гарантій безпеки всі особи, що обслуговують електроприладів, повинні **уникати ситуацій, при яких вони з'єднують своїм тілом корпус електроприладу із землею або з деталями, що мають контакт із землею.**

2. Організаційні та технічні заходи безпечного виконання робіт в електроустановках

Напруга дотику – це напруга між двома точками ланцюга струму, яких одночасно торкається людина. Вона може виникнути між корпусом електродвигуна або корпусом устаткування при **пробої ізоляції** проводів і точкою землі, де стоїть людина, або деталлю, з'єднаної із землею, на якій він перебуває. Уявлення про напругу дотику можна одержати зі схеми, зображеної на малюнку 3, де показані два корпуси споживача (А і Б), приєднаних до **одиначного заземлювача** R_z . Крива $\varphi = f(x)$ характеризує зміну потенціалу на поверхні землі поблизу заземлювача при замиканні фази на корпус електроспоживача. Якщо людина доторкнеться до будь-якого корпусу **електроспоживача А або Б**, то його рука придбає потенціал корпусу – $\varphi_r = \varphi_k$. Для випадків А і Б він буде однаковий і рівний потенціалу корпусу. Ноги, торкаючись землі, **придбають потенціал точок землі**. У результаті людина виявиться під дією різниці потенціалів. Ця величина й буде напругою дотику U_d . На корпусі електроспоживача А напруга дотику ніг $U_{HA} = \varphi_r - \varphi_{HA}$, а у Б відповідно $U_{HB} = \varphi_r - \varphi_{HB}$.

Для людини, що перебуває безпосередньо над заземлювачем, напруга дотику $\varphi_r = \varphi_H$ і $U_H = 0$, тому що потенціали рук і ніг тут однакові. У міру **віддалення від заземлювача напруга дотику зростає**. Для людини, що доторкнулася до корпусу електроспоживача Б, потенціал ніг φ_{HB} буде близький до нуля, і тоді напруга дотику $U_{HB} = U_\phi$.

Всі вищенаведені висновки були зроблені в припущенні, що опір основи, на якій стоїть людина, розтікання струму дорівнює нулю. У дійсності цей опір має деяке певне значення.



Мал. 3. Схема для визначення напруги дотику.

У загальному виді напруга дотику (U_d) у полі розтікання струму із заземлювача визначається по формулі:

$$U_{HB} = U_\phi \cdot b_1 \cdot b_2 \quad (5)$$

де b_1 – коефіцієнт напруги дотику;

b_2 – коефіцієнт, що враховує спад напруги в додаткових опорах ланцюга: людина – взуття – підлога.

$$U_{HB} = 220 \cdot 1 \cdot 0,76 = 167, \text{ В}$$

Коефіцієнт b_1 залежить від відстані між точкою землі, на якій стоїть людина, і заземлювачем. Якщо людина перебуває над заземлювачем, то $a_1 = 0$, якщо в положенні Б (на відстані більше 20 м від заземлювача), то $a_1 = 1$.

Коефіцієнт b_2 визначають по формулі:

$$\alpha_2 = \frac{R_l}{R_c} \quad (6)$$

$$R_c = R_l + R_{об} + R_n, \text{ Ом} \quad (7)$$

де R_c – сумарний опір ланцюга, Ом;

R_l – опір людини, Ом;

$R_{об}$ – опір взуття, Ом;

R_n – опір підлоги, Ом.

$$R_c = 1000 + 200 + 100 = 1300, \text{ Ом}$$

$$\alpha_2 = \frac{1000}{1300} = 0.76$$

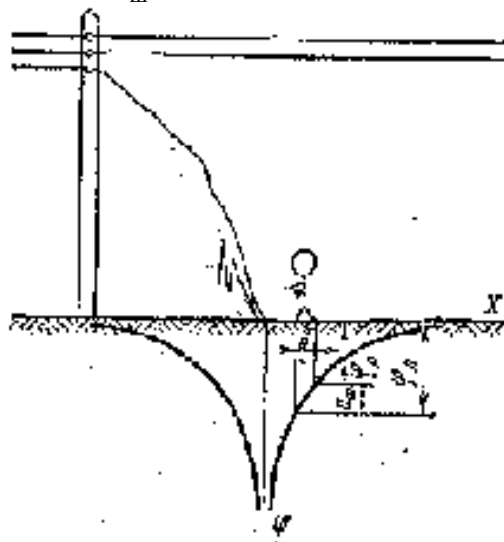
Людина може потрапити під дією струму не тільки при безпосередньому дотику до провідника або корпусу електрообладнання. Як відзначалося вище, при проходженні струму із заземлювача в землю **на поверхні землі виникає зона електричних потенціалів**, величина яких зменшується в міру віддалення від заземлювача. Подібне явище відбувається й при обриві проводу електролінії й **торканні його землі**. Якщо біля цього місця виявиться людина (або тварина), то він може знаходитись під дією різниці електричних потенціалів, у результаті чого по його тілу пройде електричний струм (мал. 4.3).

Напруга між двома точками землі з різними електричними потенціалами, що перебувають одна від одної на відстані кроку «б» (на яких одночасно стоїть людина), називається напругою кроку – $R_{ш}$. Зі схеми, зображеної на малюнку 3.14, видно, що

$$U_{ш} = \varphi_l - \varphi_p \quad (8)$$

де φ_l , φ_p – потенціали точок, на яких перебувають ліва й права ноги людини.

$$U_{ш} = 220 - 20 = 200 \text{ В}$$



Мал. 4 Схема утворення крокової напруги.

Чим більша **величина кроку** й **чим ближче людина перебуває до місця дотику дроту до землі**, **тим більша величина напруги кроку** й **більша небезпека поразки**.

Особливу небезпеку напруга кроку представляє для **сільськогосподарських тварин** і в першу чергу для великої рогатої худоби й коней, тому що в них відстань між передніми й задніми ногами значно більша, ніж відстань між ногами людини.

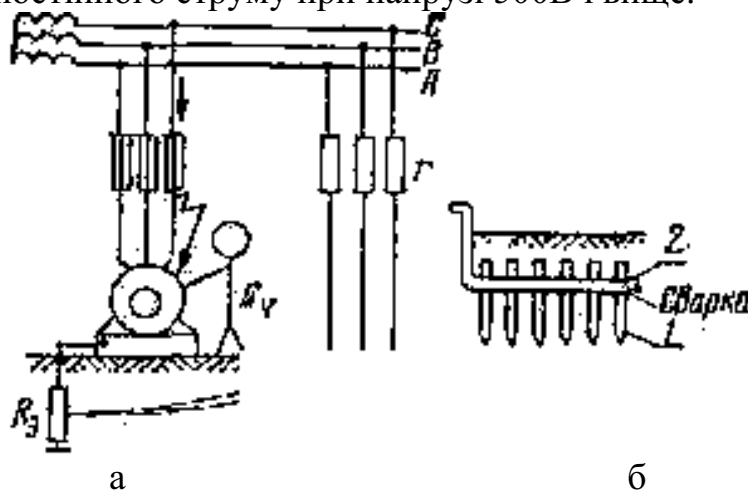
Людина що потрапила у зону крокової напруги повинна швидко поставити ноги вмісті і виходити з її необхідно короткими кроками або послідовною перестановкою

обох п'ят і носків, або стрибками на двох ногах. На відстані **20м від точки торкання проводу напруга кроку практично дорівнює нулю.**

Захисне заземлення

Найпоширенішою й надійною мірою захисту людей і тварин від враження електричним струмом є захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання із землею або його еквівалентом металевих неструмопровідних частин, які можуть бути під напругою. Принципова схема заземлення показана на малюнку 4.5. При замиканні фази С на корпус електроустановки електричний струм пройде в землю через заземлювач, **тому що опір людини $R_{\text{л}}$ значно більше, ніж опір заземлення $R_{\text{з}}$** , яке повинне бути не більше 10 Ом. Головне призначення заземлення – **понижити потенціал** на корпусі електроспоживача до безпечної величини.

Захисне заземлення застосовують в електроустановках напругою до 1000В мереж з ізолюваною нейтраллю, а вище 1000 В – з будь-яким режимом нейтралі. Заземленню підлягають: зовнішні установки при напрузі вище 36В змінного струму та 110В постійного струму, установки в особливо небезпечних приміщеннях, а також всі установки змінного й постійного струму при напрузі 500В і вище.



Мал. 5. Захисне заземлення:

а – принципова схема; б – заземлюючий пристрій; 1 – заземлювач; 2 – з'єднуюча смуга.

Не заземлюють установки, що працюють при **напрузі 36В** и нижче змінного струму й менше **110В постійного струму** у всіх випадках, за винятком вибухонебезпечних установок і вторинних обмоток зварювального трансформатора.

Заземлюючий пристрій (мал. 4.5) складається із заземлювача і з'єднувальної смуги 2. Розрізняють заземлювачі штучні, призначені винятково для цілей заземлення, і природні, та у землі металеві предмети іншого призначення. У якості штучних заземлювачів використовують сталеві труби й кутову сталь довжиною 2...3м і товщиною стінок не менш 3,5 мм. Вертикальні заземлювачі з'єднують у контур смугою зі сталі перерізом не менш 4Ч12 мм або круглим діаметром не менш 6мм за допомогою зварювання. У якості природних заземлювачів можна використати **прокладені в землі водопровідні труби; обсадні труби артезіанських колодязів, шахт; металеві конструкції й арматуру залізобетонних конструкцій будинків і будівель, що мають з'єднання із землею; свинцеві оболонки кабелів, прокладені в землі.** Приєднання обладнання, до магістралі заземлення здійснюється за допомогою окремих провідників.

Опір заземлювачів визначається розрахунковим шляхом або безпосереднім виміром на місці.

Опір розтікання струму $R_c(\text{Ом})$ одиночного стрижневого заземлювача визначають по формулі:

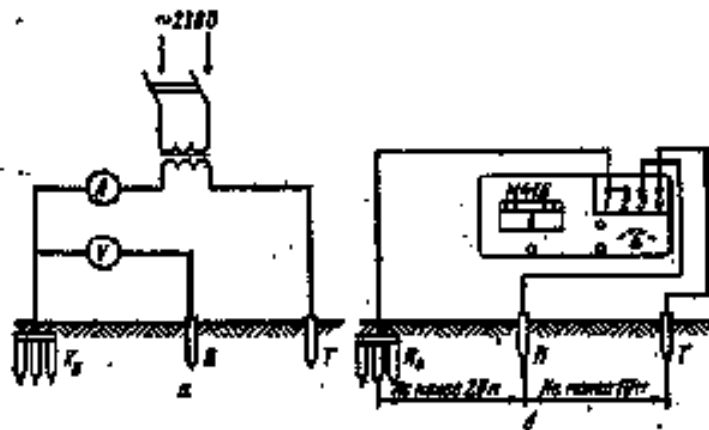
$$R_c = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \lg \frac{4h+1}{4h-1} \right) \quad (9)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, $\text{Ом} \cdot \text{м}$;

l, d – довжина й діаметр заземлювача, м;

h – глибина закладення труби, м.

$$R_c = 0,366 \frac{100}{2,5} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,5}{0,16} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 0,7 + 1}{4 \cdot 0,7 - 1} \right) = 52,6, \text{ Ом}$$



Мал. 6. Схеми виміру опору заземлення:

а – методом амперметр – вольтметр; б – мегомметром М-416.

Необхідне число заземлювачів n дорівнює:

$$n = \frac{R_c K_c}{R_n \eta_e} \quad (10)$$

де K_c – коефіцієнт сезонності;

R_n – нормативний опір заземлення;

η_e – коефіцієнт використання (екранування) заземлювачів.

1) ґрунт вологий:

$$n = \frac{52,6 \cdot 3,8}{4 \cdot 100} = 0,5 \approx 1$$

2) ґрунт середньої вологості:

$$n = \frac{52,6 \cdot 3,0}{4 \cdot 100} = 0,39 \approx 1$$

3) ґрунт сухий:

$$n = \frac{52,6 \cdot 2,3}{4 \cdot 100} = 0,30 \approx 1$$

Контроль заземлення здійснюється оглядом і виміром опору заземлювачів. Зовнішній огляд повинен здійснюватися не рідше одного разу в шість місяців, а в приміщеннях з підвищеною небезпекою й особливо небезпечних один раз у три місяці. Перевірка опору заземлення проводиться не рідше одного разу в рік, а також після капітального ремонту й тривалої перерви в роботі установки.

Вимір опору розтіканню струму може бути проведено різними способами. Найбільш поширені вимірювання за допомогою амперметра - вольтметра й спеціальних приладів заземлення (М-416, М-1103 і інші).

На малюнку 4.6 зображені схеми виміру опорів заземлення. Перед виміром у землю забивають на глибину 0,8...0,7 м два додаткових стрижні; Т – допоміжний заземлювач і П – зонд. Щоб їхнього поля розтікання не накладалися, вони повинні розташовуватися один від одного і від вимірюваного контуру на відстані не менш 20м.

В проєкті в основному проведений розрахунок кількості заземлювачів які знаходяться в ґрунті середньої вологості. Необхідна кількість заземлювачів – 1, яких достатньо для забезпечення надійності заземлення.

Тема 8. Завдання електротехнології

План

- 1.Застосування електричної дії у виробництві
- 2.Використання біологічної дії електричного струму в сільсько- господарському виробництві
- 3.Способи перетворення електричної енергії в теплову
4. Оцінка динаміки електронагрівання

1. Застосування електричної дії у виробництві

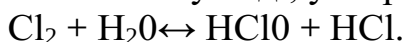
Технологічне

застосування фізико-хімічної дії струму в сільсько- господарському виробництві базується в основному на наступних процесах і методах, що вивчаються фізичною хімією: електролізі, електрокоагуляції, електроосмосі, електродіалізі.

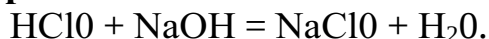
Електроліз - це сукупність **окислювально-відновних** процесів, що відбуваються **на електродах**, занурених у електроліт, при проходженні через нього **постійного електричного струму**. Основні напрями застосування електролізу - отримання **різних речовин і нанесення покриттів**.

Отримання дезинфікуючого розчину. На тваринницьких фермах і комплексах воду, молочний посуд, доїльне та інше технологічне обладнання для знезараження обробляють хлоровмісними розчинами, які можуть бути отримані шляхом електролізу водного розчину кухонної солі. Для цього використовують **установку ЕДР-0,1, що містить ємність, в яку поміщений електролізний апарат.**

Перед початком роботи в ємність установки заливають 20 л 5 % -ного розчину **кухонної солі** (1 кг солі на 20 л води). Після цього на електроди електролізного апарату подають постійну напругу 24 В від випрямляча ВСА- 6К (первинна напруга змінного струму 220 В). Через водний розчин кухонної солі NaCl проходить струм, зумовлений переміщенням іонів Na^+ і H^+ до катода, а іонів Cl^- і OH^- до аноду. На катоді в результаті відновлення іонів H^+ виділяється газоподібний водень, а на аноді в результаті окислення іонів Cl^- - **газоподібний хлор**. Іони Na^+ , з'єднуючись з іонами OH^- , утворюють їдкий натр **NaOH**; хлор, розчиняючись у воді, утворює хлорноватисту і соляну кислоти:



Хлорнуватиста кислота взаємодіє з їдким натром і утворюється гіпохлорит натрію **NaOCl**:



Хлорнуватиста кислота і гіпохлорит натрію, будучи сильними окислювачами, зумовлюють дезинфікуючу дію розчину.

Дезінфікуючий розчин готують 1,5...2 г. На отримання 1 кг активного хлору витрачається 8...10 кг кухонної солі і 5,5...7 кВт·год електроенергії. Потужність, споживана установкою, становить 350...600 Вт.

Порівняно з використанням готових реагентів (рідкого хлору, хлорного вапна, гіпохлориту кальцію) знезараження за допомогою електролітичного гіпохлорита натрію, одержуваного на місці, дозволяє уникнути труднощів і витрат, пов'язаних з транспортуванням та зберіганням токсичних речовин.

Нанесення гальванічного покриття в ремонтному виробництві. Для відновлення зношених деталей, а також для захисту від корозії відновлюваних і нових деталей призначені гальванічні покриття.

Процес нанесення гальванічних покриттів заснований на явищі електролізу і здійснюється у ванні, заповненій електролітом. Основний компонент електроліту - це з'єднання того металу, який повинен бути нанесений на деталь. У ванну занурюють електроди (анооди) і відновлювані деталі (катоди). При подачі на електроди постійної напруги (2...48 В) позитивно заряджені іони металу осідають на поверхні деталі.

З гальванічних процесів в ремонтному виробництві найбільш поширене хромування і залізнювання. Густина струму при цих процесах становить кілька тисяч ампер на квадратний метр.

Переваги відновлення зношених деталей гальванічними покриттями перед наплавленням полягають в наступному: можливість отримання покриття заданої товщини і одночасне відновлення великої кількості деталей; відсутність термічного або механічного впливу на відновлювану деталь; хороша керованість процесом.

Електрокоагуляція - метод очищення водної системи від зважених найдрібніших частинок домішок шляхом введення в неї коагулянтів (хімічних речовин, що забезпечують випад зважених часток в осад). Суть методу, заснованого на отриманні коагулянтів за допомогою електролізу, полягає в анодному розчиненні металу (зазвичай алюмінію або заліза) у водному середовищі з подальшим утворенням відповідного гідроксиду $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ або $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$. Пластинки гідроксиду, практично нерозчинного у воді, своєю поверхнею поглинають зважені частинки і разом з ними випадають в осад.

Електрокоагуляцію застосовують для очищення природних і стічних вод. У електрокоагулятор алюмінієві або залізні пластини-електроди збирають в пакети з міжелектродною відстанню 10...12 мм. Оптимальна густина струму 10...40 А/м². Переваги електрокоагуляції перед традиційною реагентною коагуляцією: економія реагенту, простота обслуговування, можливість повної автоматизації.

Комплексне очищення та знезараження питної води на пасовищах, фермах і в селищах, при добовому споживанні близько 10 м³, може здійснюватися в електро-хімічній установці УВ-0Д. Установка включає в себе фільтр-електролізер для електрокоагуляції тонкодисперсних, в тому числі бактеріальних, забруднень; гіпохлоритний електролізер для знезараження води; срібний електролізер для консервування води. Вода після обробки іонами срібла

зберігає свої властивості більше місяця. Споживана потужність установки 2,5 кВт.

Електроосмос - це рух рідини через капіляр або пористу діафрагму при накладенні зовнішнього електричного поля. Сутність даного явища, відкритого в 1807 р російським хіміком Ф. Ф. Рейссом, можна пояснити наступним чином. На кордоні контакту двох фаз (твердої і рідкої) за рахунок перерозподілу електричних зарядів утворюється так званий подвійний електричний шар. Його можна уявити у вигляді конденсатора, відстань між обкладинками якого становить лише кілька *молекулярних шарів*. Одна з обкладок такого конденсатора - це заряди на поверхні твердого тіла, інша - заряди в рідині. Якщо вздовж кордону контакту докласти різницю електричних потенціалів від зовнішнього джерела, то заряджений шар рідини під дією зовнішнього поля буде прагнути переміститися в бік протилежного (порівняно зі знаком заряду цього шару) полюса джерела. За рахунок внутрішнього тертя рух зарядженого шару передається сусіднім верствам незарядженої рідини. В результаті виникає рух рідини під дією електричного поля відносно твердої фази.

Електродіаліз - перенесення іонів під дією електричного поля через іоноселективні мембрани. Дані мембрани, виготовлені зі спеціальних іонообмінних матеріалів, містять високу концентрацію нерухомих (фіксованих) іонів, хімічно пов'язаних з каркасом мембрани, і тому пропускають іони лише одного знаку заряду. Основна область застосування електродіалізу - опріснення води.

Сутність електродіалізу розглянемо на прикладі найпростішого електродіалізатора з трьома камерами (рис. 12.1).

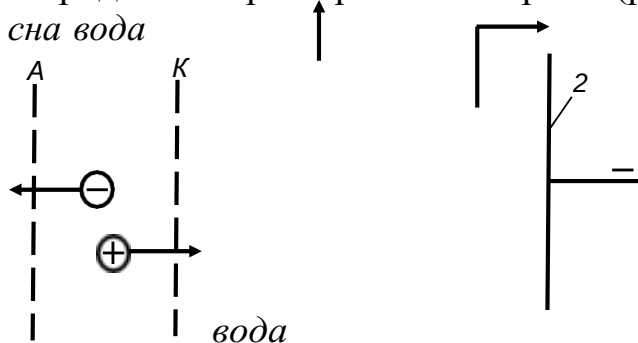


Рис. 1. Схема трикамерного електродіалізатора:

1 - анод; 2 - катод; А - аніонітова мембрана; К - катіонітова мембрана

Середня камера відділена від бічних іоноселективними мембранами А і К. У середню камеру подається вихідна опріснювана вода. У бічних камерах розташовані електроди - анод 1 і катод 2, до яких підведена постійна електрична напруга. Катіони (+) розчинених солей, що знаходяться в опріснюваній воді, рухаються під дією електричного поля в напрямку катода, а аніони (-) рухаються в напрямку анода. Катіонітова мембрана К в електричному полі проникна лише для катіонів, аніонітова мембрана А - лише для аніонів. Тому солоняка вода в середній камері опріснюється. В анодній камері промивна вода підкислюється, в катодній - підлужується.

В умовах сільськогосподарського виробництва, особливо на пасовищах, електродіалізні установки використовують для опріснення води (табл. 1).

Табл. 1 Основні техніко-економічні дані деяких електродіалізних установок сільськогосподарського призначення

Тип установок	Продуктивність, м ³ /г	Вміст солей у воді, г/л		Питома затрата електроенергії, кВт·г/м ³
		вихідній	прісній	
ЕОУ-НППМ-12	0,5	4	0,85	1,5
СЕХО-2	0,15	10	1	7
ЕОСХ-2М	3,5	7	1	2,3

Розсолення і зназараження ґрунтів. При розсоленні з верхнього шару ґрунту видаляють надлишок шкідливих солей, що пригнічують розвиток культурних рослин і знижують врожайність останніх або роблять їх виростання взагалі неможливим.

Найпоширеніший метод розсолення ґрунтів - їх промивка прісною водою. Залежно від вмісту токсичних солей капітальні промивки тривають *1...2 роки і на 1 га потрібно 5...30 тис. м³ прісної води.*

Інтенсивність розсолення ґрунту можна підвищити, пропускаючи через нього постійний електричний струм певної густини. При цьому за рахунок електроосмосу підвищується фільтраційна здатність засоленого ґрунту, а в результаті електролізу змінюється рН середовища, що збільшує розчинність солей. Крім того, під дією електричного поля істотно підвищується вологопровідність ґрунту. Ці та інші чинники посилюють витіснення розчинених токсичних солей з верхнього шару ґрунту в нижні шари, звідки ці солі відводяться дренажною системою.

Багаторічні експерименти в лабораторних і польових умовах показали, що при використанні для розсолення ґрунтів постійного електричного струму істотно скорочується період меліорації (у кілька разів), зменшується витрата прісної води (приблизно в 2 рази) і прискорюється господарське освоєння ґрунтів.

У польових умовах електромеліорацію проводять наступним чином. Поле, яке підлягає розсоленню, попередньо готують до промивки, використовуючи звичайну технологію. Потім на виділених ділянках (чеках) монтують електроди (анод і катод), в якості яких найчастіше застосовують металеві труби або стрижні діаметром 35...70 мм. Глибина закладки катодів (3...5 м) зазвичай більше, ніж анодів (0,6...1,8 м). Це пояснюється бажанням хоча б частково поєднати напрямок електроосмотичного потоку води, що йде до катода, з вертикальним напрямком гідравлічної фільтрації, зумовленої дією сили тяжіння. При вертикальному розташуванні електродів аноди і катоди часто розміщують рядами. Відстань між однойменними електродами в ряду становить зазвичай 10...20 м, між рядом катодів і рядом анодів - 20...110 м.

Після заповнення чеків водою, лінії однойменних електродів підключають до випрямного пристрою. Необхідна напруга постійного струму становить десятки вольт, густина струму в ґрунті - 1...10 А/м², витрата електроенергії - 5...20 тис. кВт·год на 1 га.

Після того як розсолення закінчено і поле підсохло, демонтують електричну схему, витягують з ґрунту електроди і готують поле до посіву.

У парниках і теплицях необхідно періодично проводити стерилізацію ґрунту. Ґрунт стерилізують на глибину 0,25м у теплицях і 0,12...0,15м – у парниках. Застосовують електродний спосіб електронагрівання ґрунту. Для цього використовують стаціонарні або пересувні установки, які є системою електродів зі сталених пластин, розташованих на відстані 0,2...0,25м один від одного. Досліди показали, що фітопатогенні гриби в ґрунті гинуть при температурі 55...65°C.

2. Використання біологічної дії електричного струму в сільсько-господарському виробництві

Боротьба з бур'янами. При досить великій густині струму його дія на рослину стає пригнічуючою, що може бути використано для боротьби з бур'янами. Загальним для багатьох із запропонованих технічних рішень є використання мобільних пристроїв на базі трактора, від валу відбору потужності якого приводиться в обертання електричний генератор, підключений до первинної обмотки підвищувального трансформатора. Виводи вторинної обмотки останнього з'єднують з електродами: навісними, що переміщуються над поверхнею ґрунту, і (або) заземленими, що переміщуються в товщі ґрунту або по його поверхні. Електричний струм проходить через ґрунт і кореневу систему рослин.

При використанні для боротьби з бур'янами трифазного змінного струму промислової частоти в якості навісних електродів застосовують пластини і стрижні з шириною захвату 50...55 см, заземлених - катки діаметром 10 см і масою 6,6 кг. Встановлені оптимальні умови обробки, з точки зору затрат електроенергії та ефективності винищення бур'янів: напруга між електродами - 2...5 кВ, швидкість переміщення електродної системи - 1...4 км/год, термін обробки - до досягнення бур'янами фази старіння при висушеному верхньому шарі ґрунту (при цьому питомий електричний опір рослинної тканини мінімальний, а ґрунту - максимальний). При питомих затратах електроенергії 20...90 кВт·год/га засміченість оброблюваних ділянок знижувалася на 80...90 %.

Електроплазмоліз рослинної сировини. Плазмоліз - відшарування протопласта клітини від її оболонки, що супроводжується стисненням протоплазми. У деяких межах цей процес є зворотним, проте при досить сильному впливі первинні властивості протоплазми не відновлюються, і клітина гине. Після загибелі клітини рідина, біологічно пов'язана з нею, виходить до міжклітинної зони.

Плазмоліз може бути досягнутий механічними, термічними, електричними та іншими методами. *Електроплазмоліз* - створення в клітці плазмолізу шляхом впливу на неї електричного струму.

Для електроплазмолізу використовують змінний струм промислової і підвищеної частоти і імпульси струму постійної полярності. Постійний струм не знаходить практичного застосування через можливість розкладання продукту.

Електроплазмоліз рослинної сировини здійснюється в електроплазмолізаторах. Найбільш поширеним конструктивним типом електроплазмолізатора є валковий. Він являє собою два встановлених з деяким зазором металевих валка-електрода, які змонтовані горизонтально на станині і обертаються в підшипниках назустріч один одному. Електроплазмоліз

застосовують в харчовій промисловості для збільшення виходу соку при пресуванні рослинної сировини (плодів, ягід та ін.). Перспективним є застосування електроплазмолізу, як інтенсифікуючого фактора, при заготівлі сухих кормів.

Відомо, що сушіння трави супроводжується втратою поживних речовин, що містяться в ній. Наприклад, при заготівлі сіна способом природного сушіння трави у полі втрачається 25...50% поживних речовин. Щоб зменшити ці втрати, необхідно прискорювати сушіння.

Швидкість сушіння рослин у великій мірі визначається формою зв'язку вологи з матеріалом. Живі клітини чинять опір висушуванню, так як у них значна частина вологи біологічно пов'язана в протоплазмі. Якщо яким-небудь шляхом зруйнувати клітину, то біологічно пов'язана в ній волога переходить у вільну вологу, яку надалі можна легко випарувати. Встановлено, що швидкість сушіння «неживої» трави (зволоженого сіна) в середньому на 30% більша швидкості сушіння свіжої трави тієї ж початкової вологості. Отже, одним із шляхів прискорення сушіння є припинення життєдіяльності рослин до початку сушіння, для чого може бути використаний електроплазмоліз.

Для інтенсифікації природного сушіння трави у полі доцільно поєднати електроплазмоліз на змінному струмі зі скошуванням і плющенням трави.

В установці (рис. 2) трава, скошена самохідним агрегатом, подається на транспортер, стрічка якого виконана з ізоляційного матеріалу. Трава надходить під заземлений ролик 2, потім під копіюючий 4, після чого проходить під електродом 6 і піддається серії іскрових розрядів. Напруга від генератора імпульсів прикладається між електродом розрядника і землею.

Іскра пробиває зовнішній шар стебла рослин. Оскільки електричний опір стрічки набагато більший опору рослин, імпульс струму провідності проходить по рослині і через ролик 2 йде в землю. Струм руйнує живі клітини рослини, причому найбільші пошкодження спостерігаються в серцевині стебла, що дуже важливо для вологовіддачі трави при сушінні, оскільки вологу з внутрішніх шарів рослини видаляти важче, ніж з поверхні. Пошкоджені клітини вже не здатні утримувати пов'язану вологу, яка переходить у вільну і проникає в міжклітинники.

Після іскрової обробки трава надходить на плющення гладкими вальцями 11 при тиску 0,15 МПа. В результаті плющення стебла утворюються поздовжні тріщини, через які видаляється вільна волога, що виділилася всередині стебла.

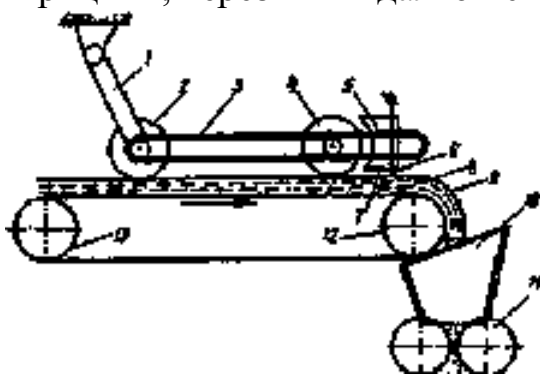


Рис. 2. Схема установки для спільної електроіскрової і механічної обробки трави перед сушінням:

1 - тяга; 2 - заземлений ролик; 3 - ізолююча тяга; 4 - копіюючий ролик; 5 - ізоляційний корпус; 6 - електрод розрядника; 7 - отвір; 8 ізоляційна конвеєрна стрічка; 9 - оброблювана трава; 10 - бункер; 11 - плющильні вальці; 12 і 13 - барабани транспортера

Розроблено дослідні зразки електроплазмолізатора-косарки на базі косарки-плющилки КПВ-3,0. Джерелом живлення вальців електроплазмолізатора служить бензоелектричний агрегат в комплекті з підвищувальним трансформатором. Напруженість електричного поля в зоні обробки досягає 60...75 кВ/м. Порівняльні випробування показали, що при використанні електроплазмолізатора тривалість природного сушіння трави зменшується в 1,3...2 рази, а вміст каротину в ній при кінцевій вологості 18 % на 50 % вищий, ніж при використанні лише косарки КПВ-3,0.

Електроплазмоліз ефективно застосовувати для інтенсифікації та штучного сушіння кормових трав: загальні витрати енергії на весь технологічний процес сушіння знижуються на 10...40 %, продуктивність сушильного агрегату збільшується на 16...50 %.

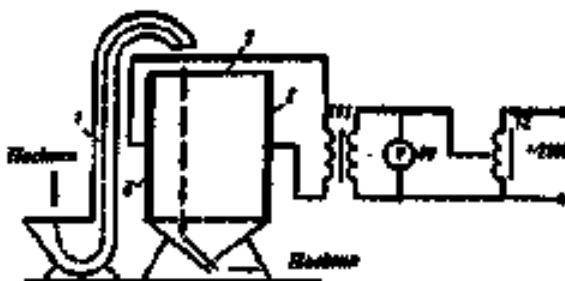
Витрата електроенергії при електроплазмолізі трави становить 1,7...2,1 кВт·год на 1 т початкової маси.

Обробка вологих кормових матеріалів. Обробка вологих кормових матеріалів підвищує ефективність їх використання. Електрообробку подрібненої і зволоженої 2% содово-сольовим розчином кальцинованої соди і кухонної солі соломи проводять в електродних камерах струмом низької частоти протягом 6...8хв при густині струму $(0,1...0,3) \cdot 10^4 \text{ А/м}^2$. У результаті обробки вміст кормових одиниць підвищується в 1,5...2 рази, і в стільки ж разів зменшується бактерицидна забрудненість.

Обробка електричним струмом фуражного зерна підвищує його перетравлюваність і засвоюваність на 10...15%. За допомогою електричного струму можна запарювати картоплю, обробляти харчові відходи, кормосуміші тощо.

Електрична обробка насіння. Передпосівну обробку насіння проводять для активізації в ньому фізико-хімічних реакцій, що сприяє інтенсивному засвоєнню зародком насінини живильних речовин із ґрунту. При цьому прискорюється проростання насіння, зростає інтенсивність фотосинтезу, а в несприятливих умовах рослини стають стійкішими і дають підвищені врожаї. Поряд з агротехнічними методами поліпшення посівних якостей насіння пропонуються електротехнологічні способи: обробка іонними потоками в полі коронного розряду, ультрафіолетовими та інфрачервоними променями, мікрохвильовими електричними полями. Один з найбільш простих та ефективних методів передпосівної обробки насіння – дія на нього електричного поля промислової частоти.

Установка для передпосівної обробки насіння складається з приймального бункера, з якого зерно за допомогою ковшового елеватора подається в робочу



камеру 2 (рис. 3).

Рис. 3. Схема установки для передпосівної обробки насіння:

1 – завантажувальний пристрій; 2 – робоча камера; 3 – електроди

Зерно в ній рухається під дією сили тяжіння, а його вихід і тривалість обробки регулюють, змінюючи продуктивність вивантажувального пристрою. Робоча камера – це система ізольованих один від одного металевих електродів 3, на які подається живлення від трансформатора *ТВ1*, який забезпечує напруженість електричного поля в робочій камері 1...4 кВ/см.

Установка проста в обслуговуванні, витрати електроенергії не перевищують 0,2кВт·год/т. За даними ВІЕСГ під час обробки насіння зернових культур в електричному полі промислової частоти напруженістю 2...4кВ/см і експозицією 10...120с урожайність зернових культур підвищується на 10...20%.

Електромагнітна обробка матеріалів в АПК

Вплив магнітного поля на живі організми вивчено ще недостатньо. Однак у сільському господарстві магнітне поле застосовують для очищення насіння проса та багаторічних трав від бур'янів, видалення залізних предметів з кормів та шлунку великої рогатої худоби, для магнітної обробки води тощо. У перерахованих вище процесах використовують електромагніти та постійні магніти. Постійні магніти прості за конструкцією, дешеві, для них не потрібно джерел живлення. Однак їх магнітне поле з часом зменшується, а регулювання магнітної індукції пов'язане з великими труднощами. Цих недоліків позбавлені електромагніти.

Магнітне очищення насіння. Для очищення насіння проса та багаторічних трав від бур'янів використовують машину ЕМС-1А (електромагнітний сепаратор). Насіння перед очищенням змішують з магнітним порошком. До гладенької поверхні насіння культурних рослин порошок не пристає, а шорстка поверхня насіння бур'янів добре утримує порошок. Оброблене магнітним порошком насіння надходить на поверхню барабана, що обертається. Барабан виготовлений з неферромагнітного матеріалу (латуні). В середині барабана вміщено електромагніт, який займає приблизно половину його внутрішньої поверхні. Насіння бур'янів затримується на поверхні барабана і поступає у бункер, розташований під барабаном. Насіння культурних рослин зісковзують з барабана значно раніше і потрапляють в інший бункер.

На рис. 4 показано схему магнітної сепарації насіння за структурою поверхні, яка складається з попередньої підготовки насіння і пропускання його над магнітним барабаном.

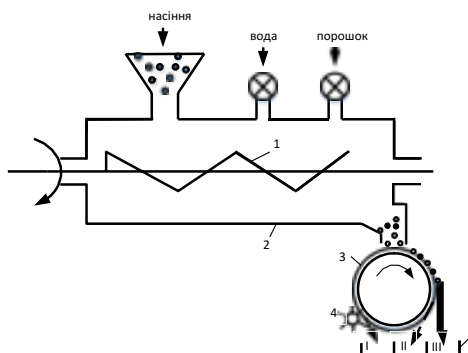


Рис. 4. Схема магнітної сепарації зерна:

1 – шнек; 2 – змішувальна камера; 3 – магнітний барабан; 4 – щітка; 5 – класифікатор.

Магнітне очищення кормів від залізних предметів. У концентровані та інші види кормів можуть потрапляти залізні предмети (цвяхи, гайки тощо). Тому корми доводиться очищати від металевих предметів. Суть такого очищення полягає в тому, що насипані тонким шаром корми переміщують під полюсами електромагнітів або постійних магнітів. При цьому металеві предмети притягуються до полюсів магнітів і таким способом відокремлюються від корму.

Видалення залізних предметів зі шлунку великої рогатої худоби. Поїдаючи корм, корови часто проковтують дрібні металеві частини. Потрапивши в шлунок, металеві предмети можуть поранити оболонку шлунку і спричинити хворобу.

Для видалення металевих предметів зі шлунку коровам періодично вводять через рот і стравохід сильний електромагніт, виготовлений у вигляді стержня. Металеві предмети притягуються до намагніченого стержня і разом з ним їх витягують зі шлунку.

Магнітна обробка води. Під час роботи електричних котлів на їх внутрішніх стінках відкладається накип. Для зменшення відкладання накипу застосовують магнітну обробку води. Для цього воду з невеликою швидкістю пропускають через апарат (рис. 12.5), в якому чергується полярність магнітного поля.

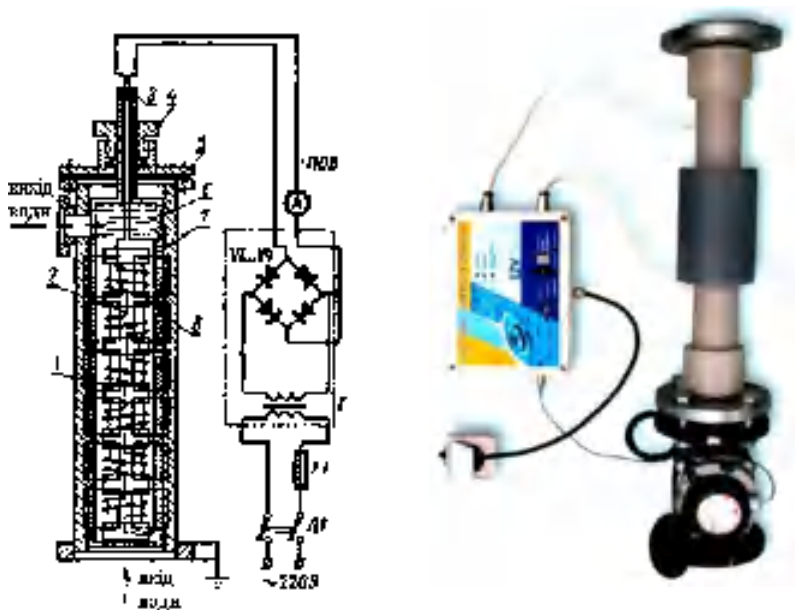


Рис. 12.5. Апарат для магнітної обробки води:

1 – керн; 2 – котушка електромагніту; 3 – пробка; 4 – штуцер; 5 – кришка; 6 – трансформаторне масло; 7 – корпус; 8 – латунний кожух

У корпусі 7 апарата розміщена котушка електромагніту 2, з кільцевими пазами, в яких розташовані секції. Котушка закрыта кожухом 8, заповненим трансформаторним маслом. Вода протікає через зазор між кожухом і корпусом знизу вгору. Зазор не повинен перевищувати 10мм, бо при збільшенні зазору сильно зростає опір магнітного поля. Температура води має становити 60...70°C.

Фізичну суть магнітної обробки води спрощено можна пояснити наступним чином. При пропусканні води через магнітне поле, полярність якого змінюється, у воді утворюються центри кристалізації солей. Тому при нагріванні такої води солі кристалізуються і випадають на дно котла. У необробленій у магнітному полі воді таких центрів кристалізації немає, тому створюються сприятливі умови для кристалізації солей на стінках котла.

Обробляти в магнітному полі воду слід безпосередньо перед подаванням її в котел, бо утворені центри кристалізації нестійкі і поступово розпадаються.

Загальна жорсткість оброблюваної води не повинна перевищувати 12...14 мг·екв/л, а вміст солі – 1100 мг/л. Із зростанням жорсткості води ефективність магнітної обробки значно зменшується. Швидкість води має становити 0,4...1 м/с, напруженість магнітного поля 120...150 кА/м.

Вода, оброблена в магнітному полі, має й інші корисні властивості. При поливанні такою водою підвищується енергія проростання та урожайність цукрового буряку, рису, гороху, овочів.

3. Способи перетворення електричної енергії в теплову

Аналіз структури енергетичного балансу сільського господарства засвідчує, що на теплові процеси припадає більше 60% всієї спожитої ним енергії. Під час вибору раціональних способів забезпечення сільськогосподарських підприємств тепловою енергією необхідно враховувати специфічні особливості сільського господарства, зокрема, велику територіальну розпорошеність споживачів, невелику щільність теплового навантаження, сезонний фактор споживання теплоти та інші фактори.

Використання електроенергії для теплових процесів поряд з технічними перевагами, порівняно з традиційними паливними джерелами нагрівання, дає значний економічний ефект. Електронагрівальні установки характеризуються простотою обслуговування, високим рівнем автоматизації, вони краще задовольняють зоотехнічним вимогам і легко узгоджуються з відповідним сільськогосподарським устаткуванням.

Крім того, використання у сільському господарстві електронагрівних установок дає значний технологічний ефект, який проявляється у кращому збереженні молодняку, підвищенні продуктивності тварин та економії кормів за рахунок підтримання оптимального температурного режиму в приміщеннях.

Впровадження систем електротеплопостачання включає в себе також ефект соціального плану, оскільки воно значно покращує умови праці і побуту, наближає умови роботи сільськогосподарських робітників до праці в індустріальному виробництві, а побут сільського населення до рівня життя в місті, піднімає привабливість і ефективність праці багатьох сільськогосподарських спеціальностей, призводить до значного скорочення кількості паливних котелень та кількості обслуговуючого їх персоналу. Електрифікація теплових процесів виключає можливість забруднення навколишнього середовища твердими і газоподібними продуктами згорання. Тому при остаточному виборі енергоносія необхідно приймати до уваги як соціальний, так і екологічний ефекти. До того ж

системи електротеплопостачання дозволяють максимально наблизити джерело теплової енергії до місця.

До процесів, в яких технологія виробництва вимагає застосування електричних джерел теплової енергії, належать: інкубація яєць, обігрівання молодняку тварин і птиці, одержання пари та гарячої води для технологічних потреб, теплова обробка кормів, обігрівання ґрунту в тепличних господарствах, підігрівання повітря у системах вентиляції, охолодження сільськогосподарської продукції для збільшення строку зберігання, електрозварювання тощо.

З фізичної точки зору електричний нагрів відбувається в результаті поглинання речовиною, що нагрівається, електромагнітної енергії.

Під впливом електромагнітного поля вільні або пов'язані заряди речовини здійснюють різного виду переміщення. При цьому заряди стикаються з нейтральними частинками або зарядами протилежного знаку і віддають їм частину свого, придбаного в електромагнітному полі, запасу кінетичної енергії. В результаті тепловий рух частинок речовини посилюється, що проявляється в підвищенні температури речовини.

Будь-яка електронагрівальна установка (ЕНУ) має нагрівник, що безпосередньо перетворює електричну енергію в теплову, корпус, теплоізолюючі та інші допоміжні елементи та пристрої, об'єднані в єдиній конструкції для забезпечення певного технологічного процесу.

Класифікація ЕНУ.

За особливостями нагрівання розрізняють ЕНУ прямого та непрямого нагрівання. ЕНУ прямого нагрівання перетворюють електричну енергію в теплову безпосередньо в самій речовині, що нагрівається. ЕНУ непрямого нагріву - поза нею, а теплота для нагрівання речовини передається теплопровідністю, конвекцією, випромінюванням або їх комбінацією. Через менші теплові втрати ЕНУ прямого нагрівання мають більші значення теплового коефіцієнта корисної дії (ККД). Проте вони можуть бути використані для нагрівання не всіх речовин, на відміну від універсальних ЕНУ непрямого нагрівання.

За характером нагрівання ЕНУ бувають періодичної і безперервної дії. У ЕНУ періодичної дії послідовно чергуються операції завантаження матеріалу, що нагрівається, його нагрівання і вивантаження. У ЕНУ безперервної дії матеріал, що нагрівається, безперервно проходить через установку і за час руху від входу до виходу нагрівається від початкової до кінцевої температури. Якщо матеріал, що нагрівається, є рідиною, то установки періодичної дії називають непроточними, а установки безперервної дії - проточними.

За режимом електроспоживання розрізняють ЕНУ, що працюють за вільним і за примусовим (режимним) графіком. ЕНУ, які працюють за режимним графіком, обладнують пристроями акумулювання теплоти.

За температурою нагрівання ЕНУ поділяють на низькотемпературні (до 600 °C), середньотемпературні (від 600 до 1250 °C) і високотемпературні (понад 1250 °C). Середньотемпературні і високотемпературні ЕНУ називають часто електротермічними установками (ЕУ). У сільськогосподарському виробництві переважно використовують низькотемпературні ЕНУ.

За технологічним використанням виділяють універсальні і спеціальні ЕНУ. Універсальні ЕНУ використовують для різних технологічних процесів, найчастіше це установки непрямого нагрівання (електроводонагрівачі, електрокалорифери).

Спеціальні ЕНУ призначені для конкретних технологічних процесів (обігрівання парників, пастеризація молока, сушіння зерна тощо) і мають відповідне виконання.

Дуже важливою є класифікація ЕНУ за способом електронагрівання. Якщо в якості провідника використовують безпосередньо саму

речовину, що нагрівається, то має місце пряме електронагрівання опором, яке називають електроконтактним (рис. 1.1, а) при нагріванні струмопровідних твердих речовин (провідників першого роду) і електродним (рис. 1.1, б) при нагріванні струмопровідних рідких речовин (провідників другого роду). Існує також спосіб електронагріву в електроліті - комбінація електродного нагріву і нагріву газорідного шару навколо деталі, в якому виділяється основна частка теплоти. Схема, що ілюструє такий спосіб нагріву, показана на рис. 1.1, в. Речовина нагрівається за рахунок теплоти, одержуваної в окремому нагрівальному елементі «ЕН» опором при протіканні струму I . Спосіб отримав назву непрямого або елементного електронагріву опором.

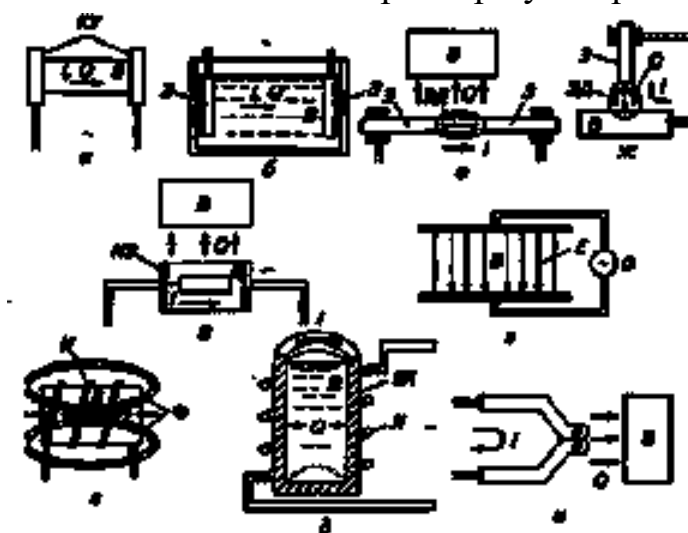


Рис. 1.1. Схеми основних способів перетворення електричної енергії в теплову:

а — опором електроконтактний; б — опором електродний; в — опором непрямого нагріву; г, д — індуктивного прямого та непрямого нагріву; е, ж — електро - дугового непрямого і прямого нагрівання; з — діелектричний; и — термоелектричний; В — речовина; КУ — контактний пристрій; Е — електрод; ЕД — електрична дуга; НЕ — нагрівальний елемент; І — індуктор; ЕК — металевий посуд.

ЕНУ прямого і непрямого електронагрівання опором широко поширені в сільськогосподарському виробництві для цілей електрообігріву та електроопалення різних виробничих і побутових приміщень, нагрівання технологічної та питної води, термообробки кормів і сушіння різної сільськогосподарської продукції тощо. ЕНУ застосовують у вигляді різноманітних

електроводонагрівачів, електрокалориферів, електричних теплих панелей, килимків, грілок, манежів, електропечей опору та ін.

Електронагрів опором полягає у тому, що при протіканні струму по провіднику в ньому виділяється теплота Q , Дж, яка визначається законом Джоуля—Ленца:

$$Q = I^2 R r \quad (1.1)$$

де I - діюче значення струму в провіднику, А; R — активний опір провідника, Ом; r - тривалість нагрівання, с.

Потужність, яка при цьому розвивається, Вт:

$$P = Q/r = I^2 R \quad (1.2)$$

Оскільки $I = P/U$, де U — напруга, В, то $R = U^2/P$. Оскільки для розрахунку привизначенні електричного опору установок, оскільки для зручніше найчастіше використовують значення P і U .

Дугове електронагрівання. Його здійснюють при перетворенні електричної енергії в теплову за допомогою електричної дуги, що представляє собою високотемпературну електропровідну плазму. Електрична дуга горить між двома електродами, до яких підводять напругу від джерела живлення (рис. 1.1, е). При прямому електродуговому нагріванні одним із електродів є речовина, що нагрівається, наприклад плавлений метал (рис. 1.1, ж). Електродугове нагрівання використовують в основному для плавлення і високотемпературного різання металів та їх зварювання. ЕНУ дугового нагрівання виконують у вигляді різних електродугових плавильних печей, зварювальних трансформаторів та перетворювачів, силових блоків випрямлячів та тиристорів, установок плазмового нагріву та ін., які широко використовують на ремонтних підприємствах і в майстернях при монтажі всіляких металоконструкцій та ремонті сільськогосподарської техніки.

Індукційне електронагрівання. Його здійснюють змінним магнітним полем шляхом розміщення струмопровідної речовини, зокрема металевої заготовки (рис. 1.1, г), всередину котушки, що називається індуктором, по якій протікає змінний струм. Цей струм створює змінний магнітний потік Φ , який відповідно до закону електромагнітної індукції наводить (індукує) в струмопровідній речовині (металевій заготовці) ЕРС $e = d\Phi/dt$. Під дією індукованої ЕРС в заготовці виникають вихрові струми (струми Фуко), що нагрівають її відповідно до закону Джоуля—Ленца [див. (1.1)]. Схема рис. 1.1, г ілюструє прямий індукційний нагрів, при якому індуктор утворює як би первинну обмотку трансформатора із закороченою вторинною обмоткою у вигляді нагрітої заготовки.

Для індукційного нагрівання не електропровідних або рідких речовин використовують непрямий індукційний нагрів (рис. 1.1, д). У цьому випадку речовину нагрівають у металевій циліндричній посудині ЕК, яка в свою чергу розігрівається індукованими в ній струмами, що викликаються змінним потоком від розміщеного на посудині індуктора I .

У залежності від цілей нагрівання, розміру тіл і властивостей речовини, для індукційного нагрівання застосовують установки із струмами низької (до 50 Гц), промислової (50 Гц), середньої (до 10 кГц) і високої (понад 10 кГц) частоти. Використовують також індукційні пристрої промислової частоти з багато витковим індуктором в феромагнітній трубі та водонагрівач-трансформатор, вторинна обмотка якого виконана із сталевих труб, замкнутих накоротко, для нагріву проточної води.

Установки індукційного нагрівання широко використовують для індукційного плавлення і нагрівання металів, непрямого електронагрівання рідких, газоподібних і сипучих речовин, а також ґрунтів, підлоги і стін різних будівель, в тому числі сільськогосподарського призначення.

Діелектричне електронагрівання. Його здійснюють змінним електричним полем і використовують для нагрівання речовин, що мають властивості діелектриків і напівпровідників. Робоча камера установки діелектричного нагрівання (рис. 1.1, з) є своєрідним конденсатором, що підключається до високочастотного джерела змінної напруги, між обкладинками якого розміщують речовину для нагрівання. Під дією високочастотного змінного електричного поля E , що утворюється між обкладинками конденсатора, відбувається періодична знако-перемінна поляризація іонів і полярних молекул речовини. В результаті періодичного подолання ними міжмолекулярного тертя і сил інерції в речовині B виділяється теплова енергія.

Перевага діелектричного нагрівання полягає в тому, що перетворення підведеної електричної енергії в теплову відбувається безпосередньо всередині тіла, що нагрівається, і одночасно по всьому його об'єму. Це визначає незалежність швидкості нагрівання від розмірів і теплопровідності тіла, що нагрівається. Останнє особливо важливо для матеріалів з низькою теплопровідністю. Крім того, градієнти температури, вологості і тиску при сушінні діють з внутрішніх частин до поверхні тіла, що сприятливо позначається на видаленні вологи.

В харчових технологіях діелектричне нагрівання у формі СВЧ- нагрівання використовують для варіння, сушіння, розморожування, розігрівання та інших видів теплової обробки продуктів. У сільському господарстві воно може бути використане для сушіння насіння, зерна, чаю, тютюну, фруктів, пастеризації і стерилізації молока і молочних продуктів, фруктових і ягідних соків, консервної продукції, дезінсекції насіння і шовковичних коконів, боротьби з бур'янами, вулканізації гуми, лікування тварин та ін.

Термоелектричне нагрівання. Воно засноване на ефекті Пельтьє і є непрямим (рис. 1.1, в). Сутність його полягає у тому, що при протіканні постійного електричного струму через перехід (спай) напівпровідникових матеріалів додатково до теплоти Джоуля—Ленца на p - n переході відбувається виділення теплоти при прямому напрямку протікання струму від p -елементу до n -елементу, і навпаки, при зворотному протіканні струму відбувається поглинання теплоти (охолодження). Таким чином, в термоелектричній батареї чергуються гарячі спаї, на яких виділяється теплота, і холодні, на яких відбувається охолодження.

Термоелектричне нагрівання та охолодження використовують в термоелектричних холодильниках, у яких холодні спаї батареї розташовані в холодильній камері, а гарячі - зовні.

Електронне нагрівання. Воно засноване на виділенні теплоти при бомбардуванні тіла, яке нагрівається в вакуумі, потоком електронів, що виділяються катодом і пришвидшуються досить великою напругою. Основні технологічні особливості електронного нагрівання - висока концентрація

потужності, можливість плавного регулювання. Недоліки - необхідність у високому вакуумі, небезпека через рентгенівське випромінювання.

Іонне нагрівання. Воно засноване на виділенні теплоти в тілі, що нагрівається, потоком іонів, утворених електричним зарядом у вакуумі. Іонне нагрівання використовують у процесах хіміко-термічної обробки металів.

Лазерне нагрівання. При лазерному нагріванні використовують енергію потужного концентрованого світлового променя. Технологічні особливості та властивості лазерного нагрівання багато в чому збігаються з властивостями електронного нагрівання. Переваги - лазерне нагрівання не супроводжується рентгенівським випромінюванням, вартість установок менша, вони простіші в обслуговуванні.

4.Оцінка динаміки електронагрівання

При нагріванні якого-небудь тіла (речовини) прагнуть скоротити час досягнення необхідної температури. Для цього проводять розрахунки, вважаючи, що процеси нагрівання з режимами теплопередачі в кінцевому підсумку стаціонарні.

Процеси нагрівання, пов'язані з перенесенням теплоти і особливостями зміни теплоємності і фазового стану матеріалів, за своєю природою динамічні і протікають у часі за певними законами. Це відноситься насамперед до установок періодичної дії, а також до перехідних режимів установок безперервної дії, що мають значну теплову інерцію.

Розглянемо найпростіший випадок нестационарного процесу — нагрівання матеріалу однорідного та ізотропного тіла об'ємом V з питомою теплоємністю C , густиною ρ і масою $m=V\rho$. Нехай всередині матеріалу є джерело теплоти постійної потужності P , а вся зовнішня поверхня тіла площею F має контакт з навколишнім середовищем і віддає йому теплоту.

Позначимо перевищення температури матеріалу T_m над температурою навколишнього середовища T_c через $\theta = T_m - T_c = \Delta T$. Прийmemo, що температура T_m в будь-який момент часу однакова у всіх точках об'єму тіла; питома теплоємність матеріалу C , отже його повна теплоємність $= V \rho C$, а також коефіцієнт тепловіддачі не залежать від перевищення температури θ .

Тема 9. Омічний електронагрів в технологіях виробництва

План

- 1.Тепловий розрахунок електронагрівних установок
- 2.Електричний розрахунок нагрівних елементів

1.Тепловий розрахунок електронагрівних установок

Головна задача теплового розрахунку — визначити потужність електронагрівної установки, її теплового к.к.д. та оптимальних геометричних розмірів, а також найвигіднішу товщину теплової ізоляції.

Встановлена (приєднана) потужність, кВт, електронагрівної установки:

$$P = \kappa \cdot P_{\text{порт}},$$

де κ_3 - коефіцієнт запасу, який враховує старіння теплової ізоляції, яке призводить до збільшення теплових втрат, а також старіння матеріалу нагрівного елемента, що призводить до підвищення його питомого електричного опору, і можливе пониження його напруги живлення ($\kappa_3 = 1,1 \dots 1,2$);

$P_{\text{потр}}$ – споживча потужність, кВт.

$P_{\text{потр}} = P_{\text{кор}} + P_{\text{дод}} + P_{\text{огор}} + P_{\text{втрат}} + P_e$

де $P_{\text{кор}}$ – корисна потужність, кВт;

$P_{\text{дод}}$ - потужність, затрачена на нагрів допоміжних пристроїв (тари, транспортуючих засобів), кВт;

$P_{\text{огор}}$ - потужність, використана на нагрів огорожуючих конструкцій установки, кВт;

$P_{\text{втрат}}$ - потужність, необхідна для компенсації теплових втрат через огорожуючі конструкції установки в зовнішнє середовище, кВт;

P_e - електрична потужність, яка втрачається у колах управління, кВт.

Для сільськогосподарських низькотемпературних установок з невеликою частотою вмикання $P_{\text{дод}}$ та $P_{\text{огор}}$ складають малу частину спожитої потужності, і їх часто не враховують.

Корисна потужність, кВт,

$$P_{\text{кор}} = \frac{cm(\Theta_K - \Theta_n) + qm}{3600t},$$

де c - питома теплоємність матеріалу який нагрівається, кДж/ (кг с);

m - маса матеріалу який нагрівається, кг;

Θ_K та Θ_n – відповідно температура матеріалу в кінці та на початку нагріву, °С;
кДж/кг;

q - питома теплота фазового перетворення матеріалу, який нагрівається,
 t - час нагріву, год.

Потужність $P_{\text{втрат}}$ дорівнює тепловому потоку $\Phi_{\text{втрат}}$, який втрачається через огорожуючі конструкції установки в зовнішнє середовище.

Тепловий потік, кВт,

$$\Phi_{\text{пот}} = \frac{\Theta_{\text{вн}} - \Theta_{\text{зов}}}{RT} 10^{-3}$$

де $\Theta_{\text{вн}}$ та

$\Theta_{\text{зов}}$

- температура в середині та зовні установки, °С;

R_T – повний термічний опір огорожуючих конструкцій установки, °С/Вт.

Повний термічний опір, °С/Вт, плоскої стінки (включаючи контактні опори):
одношарової

$$R_{Tnc} = R_{K_{вн}} + R_{T_{ст}} + R_{K_{зов}} = \frac{1}{\alpha_{вн} A_{вн}} + \frac{h}{\lambda A_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{зов} A_{зов}}$$

Багатошарової

$$R_{Tnc} = \frac{1}{\alpha_1 A_1} + \frac{h_1}{\lambda A} + \frac{h_2}{\alpha_2 A_2}$$

λA

$$+ \dots + \frac{h_n}{\lambda} + \frac{1}{\dots}$$

 A α A

$$\frac{A_{\text{вн}}}{A_{\text{зов}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{сп1}}} + \frac{2}{\alpha_{\text{сп2}}} + \dots + \frac{1}{\alpha_{\text{спn}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}}}$$

Тут h – товщина стінки, м;

$\alpha_{\text{вн}}$ та $\alpha_{\text{зов}}$ – коефіцієнти теплообміну на внутрішній та зовнішній сторонах стінки, Вт/(м²·°C);

$A_{\text{вн}}$ та $A_{\text{зов}}$ – площа внутрішньої та зовнішньої стінки, м²;

λ – теплопровідність матеріалу стінки, Вт/(м·°C);

$A_{\text{ср}} = \sqrt{A_{\text{вн}} A_{\text{зов}}}$ – середня розрахункова площа стінки (при нерівних площі

внутрішньої та зовнішньої поверхонь, м².

Повний термічний опір, °C/Вт, циліндричної стінки:

одношарової

$$R_{\text{Тцс}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}} \pi d_{\text{вн}} H} + \frac{1}{2\pi \lambda H} \ln \frac{d_{\text{зов}}}{d_{\text{вн}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}} \pi d_{\text{зов}} H}$$

багатошарової

$$R_{\text{Тцс}} = \frac{1}{\pi H} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_1}{d_{\text{вн}}} + \dots + \frac{1}{2\lambda_n} \ln \frac{d_n}{d_{n-1}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} \right)$$

Тут $d_{\text{вн}}$ та $d_{\text{зов}}$ – внутрішній та зовнішній діаметр стінки, м;

H – висота стінки, м;

n – число шарів стінки.

Температура, °C, на межах шарів багатошарової стінки

$$\Theta_{\text{гр. ш}} = \Theta_{\text{вн}} - \Phi_{\text{пот}} \sum R_T,$$

де $\sum R_T$ – сума термічних опорів по напрямленню теплового потоку $\Phi_{\text{пот}}$ до розглянутої межі шарів.

Наприклад, температура, °C, на межі шарів двохшарової стінки

$$\Theta_{\text{аі. ш}} = \Theta_{\text{аі}} - \frac{\dot{Q}_{\text{ш}}}{\lambda A} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{аі}}} + \frac{h_1}{\lambda} \right).$$

Тепловий потік, кВт, який віддається нагрітою поверхнею у зовнішнє середовище:

$$\Phi = \alpha(\Theta_{\text{пов}} - \Theta_{\text{зов}})A \cdot 10^{-3},$$

- відповідно температура поверхні, яка віддає теплоту та зовнішнього середовища, °С;

де $\Theta_{\text{пов}}$ та $\Theta_{\text{зов}}$

A – площа поверхні, яка віддає тепло, м².

Потік випромінювання, Вт, "чорного тіла" (закон Стефана-Больцмана)

$\Phi_s = c_s (T/100)^4 \cdot A$,

Тут $c_s = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – стала Стефана-Больцмана;

T – абсолютна температура тіла, К.

Потік випромінювання, Вт, реальних ("сірих") тіл

$\Phi = \epsilon \Phi_s = \epsilon c_s (T/100)^4 A$,

де ϵ - коефіцієнт випромінювання тіла.

Тепловий потік, Вт, променевого теплообміну між двома тілами 1 і 2, одне (2) з яких охоплює друге (1)

$$\Phi_{1,2} = \frac{c_s A_1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

Тепловий к.к.д. нагрівної установки:

для установок безперервної дії

$$\eta_t = Q_{\text{кор}} / (Q_{\text{кор}} + P_{\text{втрат}}) = P_{\text{кор}} / (P_{\text{кор}} + P_{\text{втрат}})$$

для установок періодичної дії

$$\eta_t = Q_{\text{кор}} / (Q_{\text{кор}} + Q_{\text{огор}} + P_{\text{втрат}} t),$$

де $Q_{\text{кор}}$ – корисна теплота, яка використовується на нагрів матеріалу, кДж;

$Q_{\text{огор}}$ – теплота, яка затрачається на нагрів огорожуючих конструкцій установки, кДж;

$P_{\text{втрат}}$ – потужність втрат, кВт;

t - час роботи установки, с.

Потрібна потужність, кВт, може бути також визначена:

по тепловому η_t і електричному η_e к.к.д. установки

$$P_{\text{потр}} = P_{\text{кор}} / (\eta_t \eta_e);$$

по питомій енергоємності $E_{\text{пит}}$, кВт·год/кг, процесу і продуктивності Q , кг/год, установки

$$P_{\text{потр}} = E_{\text{пит}} Q;$$

по коефіцієнту теплопередачі в зовнішнє середовище

$$P_{\text{потр}} = kA(\Theta_{\text{вн}} - \Theta_{\text{зов}})$$

де $k = 1/R_T$ – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·°С);

A - площа тепловіддаючої поверхні, м².

Оптимальні геометричні розміри установки визначають з умови мінімальної поверхні тепловіддачі при заданому об'ємі. Для установки циліндричної форми ця умова виконується, якщо діаметр D циліндра рівний його висоті H .

Оптимальна товщина, м, теплової ізоляції з умови мінімуму питомих приведених затрат (якщо знехтувати малим термічним опором металевої стінки)

$$\sigma_{I=1} = \sqrt{\frac{t_r S_e \lambda_i (\Theta_{\text{вн}} - \Theta_{\text{зов}})}{10 S_i (P_a + E_n)}} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} \right) \lambda_i$$

де t_r - кількість годин роботи установки на протязі року;

S_e - вартість 1 кВт·год електроенергії, грн/(кВт·год);

λ_i - теплопровідність матеріалу теплової ізоляції, Вт/(м²·°C);

S_i - вартість 1 м³ теплової ізоляції, грн/м³;

P_a - річні відрахування на амортизацію, %;

$E_n = 15\%$ - нормативний коефіцієнт економічної ефективності.

2. Електричний розрахунок нагрівних елементів

Електричний розрахунок нагрівних елементів включає в себе розробку схем їх з'єднань з врахуванням вимог до регулювання потужності установки, вибір напруги живлення та визначення геометричних розмірів робочих опорів.

Нагрівачі розраховують по питомій поверхневій потужності (питомому поверхневому тепловому потоку) або по робочому струму.

Розрахунок по питомій поверхневій потужності заснований на спільному вирішенні двох рівнянь:

$$P = P_{\text{пит}} \cdot A = P_{\text{пит}} \Pi l$$

та

$$P = U^2 / R = U^2 \phi * S / (\rho l),$$

де P – потужність нагрівача, Вт;

$P_{\text{пит}}$ – питома поверхнева потужність нагрівача, Вт/м²

A – площа поверхні нагрівача, м²;

Π – периметр розрізу нагрівача, м;

l – довжина нагрівача, м;

U_{ϕ} – фазна напруга, прикладена до нагрівача, В;

R – електричний опір нагрівача, Ом;

S – площа перерізу нагрівача, м²;

ρ_{Θ} – питомий електричний опір нагрівача, Ом·м, при робочій температурі Θ .

Для нагрівачів, виконаних з заготовки круглого перетину (дріт, прутки), $\Pi = \pi d$, $S = \pi d^2 / 4$ (d – діаметр перерізу нагрівача, м). В цьому випадку загальний розв'язок рівнянь дає вираз для діаметра, м,

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \rho_{\Theta} P^2}{\pi^2 U_{\phi}^2 p_{\text{пит}}}}$$

та довжини, м, нагрівача

$$l = \sqrt[3]{\frac{P U_{\phi}^2}{4 \pi \rho_{\Theta} p_{\text{пит}}^2}}$$

В тих випадках коли, тепловий потік передається випромінюванням, максимально допустиму питому поверхневу потужність, Вт/м², ідеального

нагрівача (теплові втрати дорівнюють нулю) визначають на основі закону Стефана-Больцмана.

$$p_{\text{пит ід}} = c_{\text{пр}} [(T_{\text{н}}/100)^4 - (T_{\text{нт}}/100)^4],$$

де $c_{\text{пр}} = 5,7 / \left(\frac{1}{\epsilon_{\text{нт}}} + \frac{1}{\epsilon_{\text{н}}} - 1 \right)$ – приведений коефіцієнт випромінювання

ідеального нагрівача, Вт/(м²·К⁴). Тут $\epsilon_{\text{н}}$ і $\epsilon_{\text{нт}}$ – відносні коефіцієнти випромінювання відповідно нагрівача і нагрітого тіла; ці значення приведені в літературі [1];

$T_{\text{н}}$ і $T_{\text{нт}}$ – температура відповідно нагрівача і нагрітого тіла, К.

Гранично допустима питома поверхнева потужність реального нагрівача, працюючого при тій ж температурі, що й ідеальний, відображається наступною залежністю:

$$p_{\text{пит}} = p_{\text{пит ід}} a_{\text{еф}} a_{\text{к}}$$

$a_{\text{с}}$ $a_{\text{р}}$, де $a_{\text{еф}}$, $a_{\text{к}}$, $a_{\text{с}}$, $a_{\text{р}}$ – поправочні коефіцієнти.

Коефіцієнт $a_{\text{еф}}$ характеризує ефективність випромінювання даної системи нагрівача. Для дротяної спіралі, розміщеної на поличці або керамічній трубці, $a_{\text{еф}}$ приймають рівним 0,32.

Коефіцієнт кроку $a_{\text{к}}$ враховує залежність $p_{\text{нум}}$ від відносної виткової відстані h/d (рис. 1).

Коефіцієнт $a_{\text{с}}$ визначає вплив на $p_{\text{пит}}$ приведенного коефіцієнта випромінювання реального нагрівача (рис. 2).

$$c_{\text{пр}} = 5,7 / \left[\left(\frac{1}{\epsilon_{\text{н.т}}} + \frac{A_{\text{н.т.}}}{A_{\text{ст}}} \left(\frac{1}{\epsilon_{\text{н}}} - 1 \right) \right) \right]$$

де $A_{\text{н.т}}$ – площа теплоприймаючої поверхні нагріваного тіла, м²;

$A_{\text{ст}}$ – площа поверхні стін установки, зайнятих нагрівачами, м².

При $A_{\text{н.т.}}/A_{\text{ст}} < 0,3$ поправки на розмір нагрітого тіла $a_{\text{р}}$ і приведений коефіцієнт випромінювання $a_{\text{с}}$ не вводять.

Геометричні розміри спіралі визначають за наступними формулами:

крок $h = (3,2 \dots 4,8) d$;

діаметр $D = (6 \dots 10) d$

число витків $w = \frac{1}{\sqrt{h^2 + (\pi D)^2}}$

довжина $L = n w$.

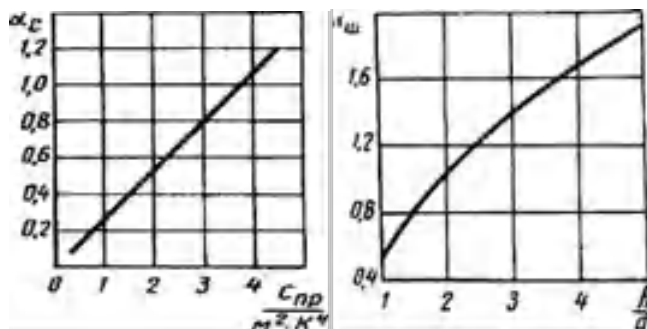


Рис. 1. Залежність коефіцієнту $a_{\text{к}}$ від відношення h/d для дротового спірального електронагрівача.

Рис. 2. Залежність коефіцієнту α_s від приведенного коефіцієнту $\alpha_{пр}$ випромінювання.

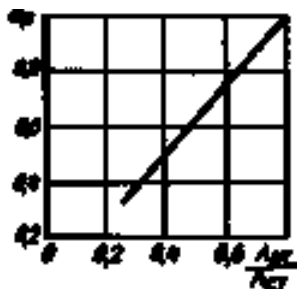


Рис. 3. Залежність коефіцієнту $\alpha_{пр}$ від відношення $A_{пр}/A_{ст}$.

Тема 10. Роль наукових досліджень в розвитку ефективних електротехнологій

План

1. Вивчення дії концентрованих видів енергії на біологічні об'єкти
2. Джерела електричного струму рослинного походження

1. Вивчення дії концентрованих видів енергії на біологічні об'єкти

До переліку перспективних технологій включені напрямки: матеріали для мікро та наноелектроніки; прецизійні та нанометричні технології обробки, складання та контролю; мікросистемна техніка; елементна основа мікroeлектроніки; нанoeлектроніка та квантові комп'ютери; базові, військові та спеціальні технології.

В даний час в сільському господарстві досліджується вплив **електромагнітних випромінювань на біологічні об'єкти** тваринного та рослинного походження, використання озону для стимулювання та дезінфекції насіннєвого матеріалу, знезараження гнійних стоків та інше

Ще на початку XX століття В.І.Вернадський наголошував на важливості вивчення впливу електромагнітних хвиль на біосферу: «Довкола нас, у нас самих, усюди і скрізь, без перерви, вічно змінюючись, збігаючись і зіштовхуючись, йдуть випромінювання різної довжини хвилі – від хвиль, довжина яких обчислюється десятимільйонними частками міліметра до довгих, що вимірюються кілометрами».

Широко відомі чотири типи різних взаємодій, з допомогою яких описуються все фізичні явища. Найбільш відомими з цих чотирьох типів **сил є гравітаційні та електромагнітні сили, які завдяки своїй дальній дії** безпосередньо проявляються у навколишньому світі. Електромагнітні взаємодії електронів усередині атомів і молекул зумовлюють усі відомі хімічні та фізичні властивості звичайних твердих тіл, рідин та газів та, крім того, лежать в основі всіх процесів, що відбуваються в живих організмах.

Експериментальні дані свідчать про підвищення **біологічної активності** під час використання електромагнітних полів (ЕМП) у всіх частотних діапазонах. При відносно *високих* рівнях опромінюючого ЕМП сучасна теорія **визнає тепловий механізм** на організми біологічного походження.

При *низькому* рівні електромагнітних випромінювань, наприклад, для радіочастот вище 300 мГц, і менше 1 мВт/см² прийнято говорити про **нетепловий або інформаційний характер впливу на об'єкт**. Механізми дії неінтенсивних полів,

(наприклад, електромагнітного випромінювання природного поля Землі, сучасної електронної апаратури), вивчені над повною мірою, а водночас більшість біологічних об'єктів виявляють **досить високу чутливість до них**. Одним з таких об'єктів є **сперма тварин та ембріони яєць**, де тепловий характер впливу ЕМП не прийнятний, наприклад, при штучному заплідненні. На перше місце тут висувуються питання збереження життєздатності сперми тварин, отриманих від високопродуктивних бугаїв при їх консервації, зберіганні та заплідненні самок,

Вона дозволить перенести велику кількість виробничих процесів у сільському господарстві на енергозберігаючі нанoeлектротехнології з використанням електромагнітних полів різних частот від 0 до 1022 Гц.

По-перше, весь світ (у тому числі тваринний та рослинний) розвивався та функціонує у **взаємодії зовнішніх та внутрішніх електромагнітних полів**.

По-друге, встановлено, що **клітини та окремі органи** тварин, мікроорганізмів і рослин мають електричні заряди та власні **електромагнітні поля (біопотенціали)**. Ці гіпотези не визнавалися фізиками ще чверть століття тому. Біологічні об'єкти приймають і випромінюють в навколишній простір електромагнітні поля в **дуже широкому частотному діапазоні**. При цьому параметри полів випромінювання та електричні потенціали залежать від фізіологічного стану клітини, органу та організму в цілому.

По-третє, наукою і практикою доведено наявність **інформаційних зв'язків** між органами і клітинами живого організму, а й окремими індивідуумами на несвідомому рівні потужністю кілька електрон-вольт.

По-четверте, найефективніші біологічні електромагнітні взаємодії низькоенергетичної ($10^{-12} \dots 10^{-2}$ Вт/см²) та інформаційного (менше 10^{-12} Вт/см²) рівнів виявляються **на резонансних частотах при збігу або кратності** зовнішнього та власного електромагнітного поля живої клітини. У цьому випадку спостерігається **найбільша чутливість** біологічного об'єкта та найменші витрати енергії при взаємодії у високочастотному та надвисокочастотному діапазонах [

Вивченню процесів електромагнітного впливу на системи біологічного походження та математичному моделюванню конструкцій електромагнітних пристроїв присвятили багато своїх робіт зарубіжні та вітчизняні вчені. Відомі **пристрої для підвищення схожості** насіння, обробки їх у період тривалого зберігання, стимулювання активності сперми тварин та ембріонів птахів у репродуктивний цикл та інші.

Використання нанoeлектротехнології дозволяє:

стимулювати розвиток живих організмів, що збільшує кількість та покращує якість продукції без розширення площ та збільшення поголів'я тварин та птиці,

захистити рослини та тварин від бур'янів, шкідників та хвороб, зберігши тим самим кінцеву продукцію.

Експериментальні дослідження підтверджують, що широке використання електромагнітних полів у технологічних процесах сільськогосподарського та промислового виробництва для передачі радіотелевізійної інформації, в т.ч. стільникового зв'язку, масова комп'ютеризація в медицині та у побуті створюють значні перешкоди.

Це змінює електромагнітний фон Землі, що негативно позначається на стані біосфери. Екологічні нормативи електротехнічних пристроїв, радіопередаючої апаратури, діагностичних та лікувально-терапевтичних приладів та інших

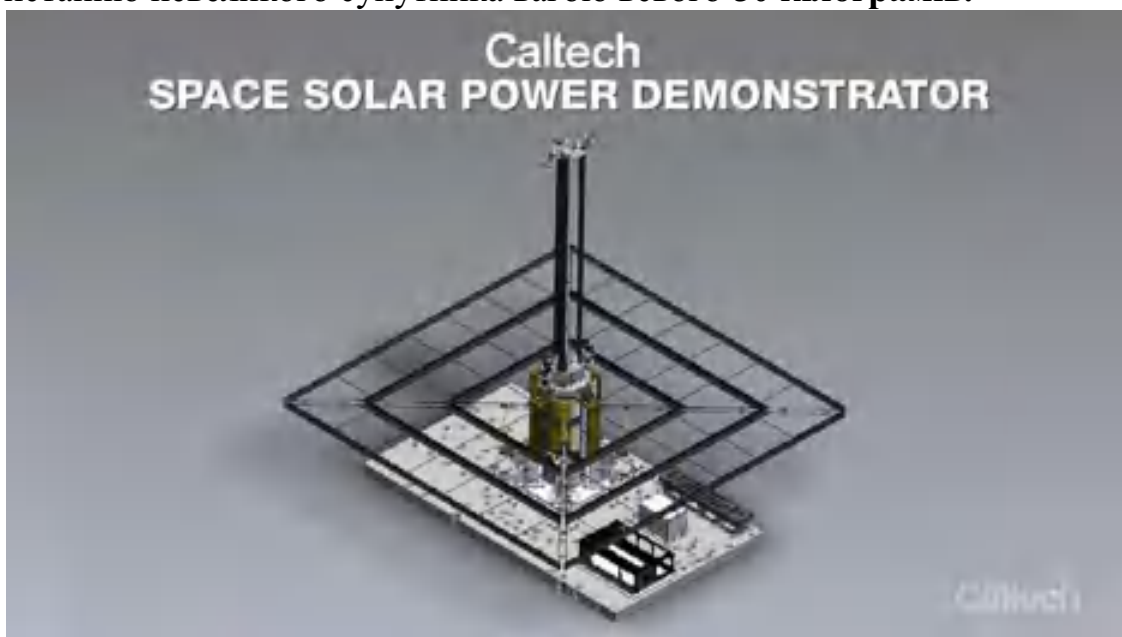
випромінювачів ЕМП розроблялися з умов, що слабкі випромінювання ЕМП не впливають на людину, а про **тварин та рослини не йшлося взагалі**. Сучасні дослідження вчених довели, що біологічні системи тваринного та рослинного походження **помітно реагують на зміну електромагнітного фону** природного та штучного характеру. Багато біосистем виробили власне сприйняття інформації про стан навколишнього середовища

Застосування енергії електромагнітного поля різної частоти суттєво доповнює **можливості електротехнологій при проектуванні**, виготовленні та експлуатації подібних пристроїв. Так, наприклад, одержуване **збільшення врожаю** після передпосівних обробок насіння в **магнітному полі** становить у середньому за різними джерелами, від 10 до 22% залежно від виду сільськогосподарських культур. Економічний ефект від впровадження досить високий через невеликі енергетичні витрати (потужність багатьох установок до 1кВт), простих і надійних в експлуатації технічних конструкцій.

2. Джерела електричного струму рослинного походження

Вченим із США вперше в історії вдалося передати енергію із космосу на Землю

Вченим із Сполучених Штатів Америки вдалося здійснити історичний прорив, передавши енергію з космосу на Землю. Цей успіх був досягнутий завдяки використанню невеликого супутника вагою всього **50 кілограмів**.



В той час, коли Японія планує випробувати передачу енергії з космосу на Землю у 2025 році, вчені з Каліфорнійського технологічного інституту виявилися несподівано вперед і оголосили про вдалу реалізацію такого експерименту.

З кінця січня в орбіту було відправлено експериментальну систему збирання сонячної енергії під назвою Space Solar Power Demonstrator (SSPD-1), яка мала масу всього 50 кілограмів. Цей пристрій збирав енергію за допомогою **сонячних панелей і передавав її на Землю у вигляді мікрохвильового випромінювання**. На жаль, деталей про потужність експерименту вчені поки не розголошують.

Зазначено, що автори проєкту приділяють багато уваги своїм легким і **гнучким мікрохвильовим передавачам**, які стали справжньою новизною у цій галузі. Застосовуючи конструктивну і деструктивну інтерференцію між окремими передавачами, група передавачів енергії здатна регулювати фокус та напрямок

випромінюваної енергії без рухомих частин. Використання точних елементів керування синхронізацією в масиві передавачів дозволяє динамічно фокусувати потужність у визначеному місці за допомогою когерентного додавання електромагнітних хвиль. Це дозволяє передавати більшу частину енергії у необхідне місце і уникати розсіювання. <https://newsyou.info/2023/06/yaponiya-planuye-stvoriti-promin-sonyachno%d1%97-energi%d1%97-na-zemlyu>

Японія планує створити промінь сонячної енергії на Землю

Сонце згодом згорить і розшириться, забравши з собою нашу сонячну систему. Але перш ніж це станеться, Японія та JAXA, космічна адміністрація країни, хочуть знайти спосіб вирвати енергію з Сонця та використовувати її тут, на Землі. Відповідь може з'явитися вже в 2025 році, коли Японія планує створити промінь сонячної енергії на Землю. Про це повідомляє t4.com.ua

Сонячна енергія виявилася дуже надійним джерелом відновлюваної енергії. Єдиним недоліком є хмарне покриття, нічний час та інші елементи, через які сонячному обладнанню важче поглинати так необхідне сонячне світло для перетворення в електрику. Але що, якби ви могли позбутися всіх цих проблем? Що, якби ви могли випромінювати енергію сонця прямо з космосу, не турбуючись про все це?

Згідно з повідомленнями Nikkei, японське державно-приватне партнерство спробує передати сонячну енергію з космосу вже у 2025 році – лише через два роки. Проект очолює Наокі Шиохара, професор Кіотського університету, який працює над програмою, заснованою на сонячній енергії з 2009 року.

Під час спроби команда розгортає невеликі супутники на орбіті, а потім **випромінює енергію з тих масивів**, які розташовані на землі. У разі успіху можливість випромінювання необмеженої енергії (або, принаймні, необмеженої протягом наступних кількох сотень мільярдів років) буде доступною для нас.

Це інтригуюча ідея, яка певною мірою була запропонована з кінця 1960-х років. Але створити систему, яка зможе належним чином використовувати сонячну енергію, а потім надійно передавати її на Землю, важко. З моменту першої пропозиції в 1968 році кілька країн, включаючи США та Китай, намагалися створити подібні системи, але жодна з них навіть близько не наблизилася.

Велика проблема тут не просто довести, що ви можете це зробити. За даними Engadget, виробництво масиву, який може генерувати 1 гігават енергії (потужність одного ядерного реактора), коштуватиме понад 7 мільярдів доларів, що робить ці плани випромінювання сонячної енергії з космосу більше науковою фантастикою, ніж реальністю. Тим не менш, це захоплююча ідея.

Вчені вперше змусили мікроби синтезувати амінокислоту за допомогою електрики

Деякі види бактерій використовують електрику для отримання, наприклад, **алкоголю**. Були навіть спроби комерціалізувати цей процес. Але ось його біологія залишалася нез'ясованою. Тепер групі німецьких дослідників вперше вдалося експериментально підтвердити, що бактерії використовують **водень, який утворюється в ході електролізу для синтезу органічних речовин**.

У невеликих лабораторних біореакторах вчені змогли відстежити електросинтез бактерій / ©Ronja Munch / Leibniz-HKI

https://vidverto.io/?utm_source=vidverto.io_branding&&utm_medium=newsyou.info

Під час мікробного електросинтезу (МЕС) мікроорганізми, що піддаються впливу електрики, зв'язують вуглекислий газ, перетворюючи його в різні речовини, такі як спирти та органічні кислоти. Ця перспективна “зелена” технологія, що дозволяє перетворювати атмосферний вуглекислий газ в паливо, відома більше десяти років. Але біологічна сторона питання залишалася невідомою, що ускладнювало комерціалізацію процесу.

І ось група дослідників з декількох наукових центрів Німеччини домоглася прориву в цьому питанні. Дослідники не тільки змогли довести, як саме бактерії переносять одержувані від електричного струму електрони, а й уточнити спектр вироблених таким способом органічних речовин, а також оптимізувати процес для максимально можливого виходу. Результати дослідження опубліковані в журналі Green Chemistry.

Під час МЕС електрику і вуглекислий газ подаються в живильний розчин, де містяться бактерії, і деякий час вчені вважали, що для зв'язування газу мікроорганізми вловлюють електрони безпосередньо. Однак при подачі електрики в водний розчин відбувається ще один процес — електроліз, розщеплення молекул води на водень і кисень.

Щоб перевірити, як наявність водню в системі впливає на електросинтез, вчені налаштували лабораторні біореактори таким чином, щоб враховувати всі параметри розчину в процесі МЕС. Це дозволило довести, що чим **більше водню було доступно бактеріям Clostridium ljungdahlii**, тим **більше речовин вони** могли синтезувати в одиницю часу. Якщо ж водню в суміші було недостатньо (наприклад, сила струму була занадто мала для електролізу води), бактерії різко знижували інтенсивність електросинтезу.

Оптимізувавши напругу і концентрацію бактерій в розчині, вчені змогли збільшити вихід корисного продукту електросинтезу — **ацетату**, а також виявити в розчині аміносполуки, які раніше методом МЕС не отримували. Конкретно мова про **амінокислоті гліцині і первинний спирт етаноламін**, більш цінних, ніж етанол або ацетат, що виходили за допомогою цих бактерій раніше. Оскільки аміносполуки широко застосовуються в хімічній промисловості, це відкриття може допомогти зробити технологію мем комерційно життєздатною.

Про бактерії, що генерують електрику



Бактерії, що генерують електрику

Багато видів **кишкових бактерій здатні виробляти електрику**. Таку функцію було помічено вченими з США і Швеції в 2018 році у бактерій **Enterococcus faecalis**, **Listeria monocytogenes** і лактобактерій.

Про цю особливість лістерії (яка потрапляє в організм людини з їжею і викликає серйозні захворювання), клостридії (збудника газової гангрені) і деяких штамів лікарняних інфекцій виробляти струм за певних умов (**наприклад, при нестачі кисню**) повідомляє Nature. Подібними властивостями володіють і корисні бактерії – наприклад, лактобактерії, які використовують при виробництві йогуртів і сирів.

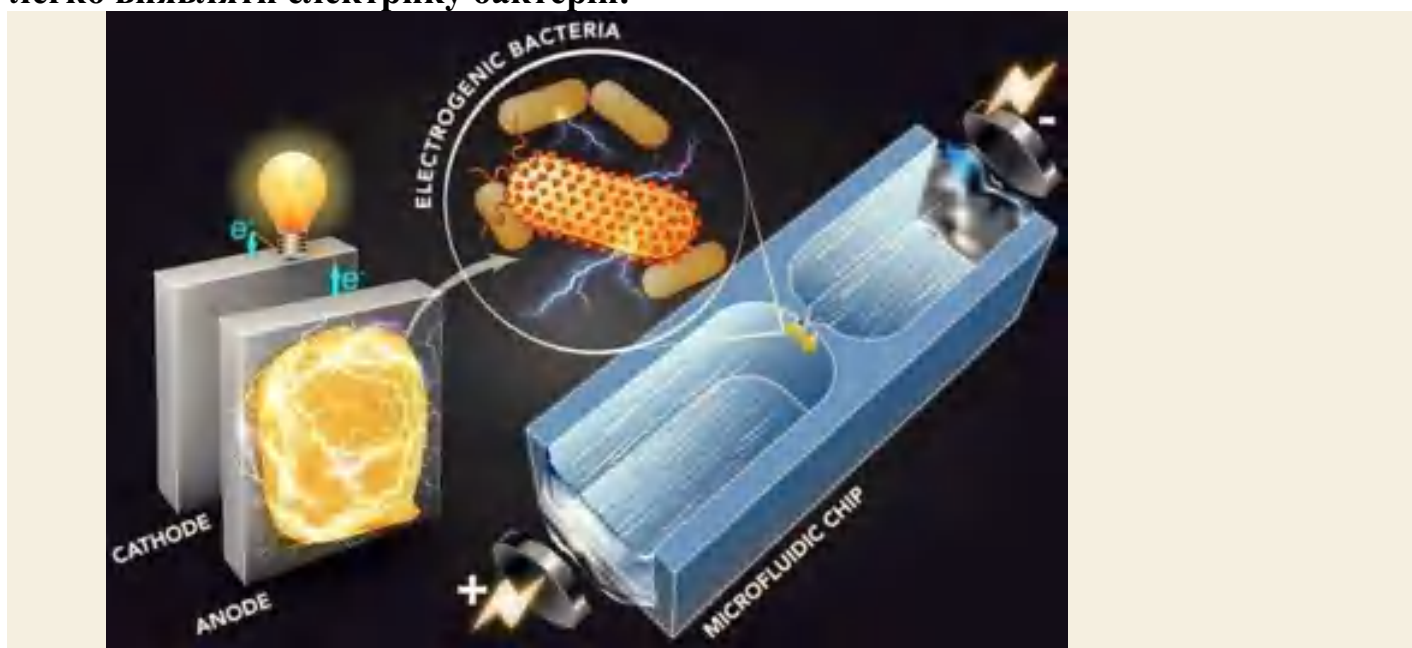
Виробництво електрики є частиною метаболізму таких бактерій. Клітинам людського тіла для підтримки своєї життєдіяльності потрібен кисень. Але одноклітинні бактерії, що живуть в середовищі з низьким вмістом цього цілющого газу, такої можливості не мають. Їм, щоб активувати рух електронів, потрібні інші хімічні речовини.

Такі «електричні» мікроорганізми живуть лише в **умовах, багатих мінералами і з малою кількістю кисню**, таких як шахти або русла водоймищ і навіть всередині живих організмів. Тому вони обрали для себе особливу форму дихання. В їхніх клітинах генеруються електрони, які переносяться в зовнішнє середовище завдяки процесу, який називають позаклітинним перенесенням електронів (ППЕ).

Бактерії, що живуть в шахтах і озерах, **вміють «дихати» залізом і марганцем**. Оскільки ці мінерали знаходяться поза клітиною, електронам доводиться пройти кілька етапів, щоб досягти їх, і для цього процесу потрібен внутрішній струм.

Автори дослідження вважають, що відкриття нових властивостей бактерій допоможе зрозуміти, як вони діють на наш організм. Тепер дослідники планують **використовувати таку форму життя для формування паливного елемента, що генерує електрику**. Вчені з'ясували, що кишкові бактерії здатні виробляти приблизно стільки ж електрики, як і ті, що використовують мінеральний обмін – близько 500 мікроампер. Науковці відзначили, що штучно вирощені таким чином бактерії можна використовувати як «живі батарейки», але цю технологію належить ще відпрацювати.

Раніше для виявлення таких бактерій потрібно було вирощувати великі партії клітин і руйнувати їх для вивчення білків, але дослідники з Массачусетського технологічного інституту тепер використовують **мікрорідинний чіп МІТ, здатний легко виявляти електрику бактерій**.



Мікрорідинний чіп МІТ

Спеціальний чіп МІТ нагадує пісочний годинник і **проводить бактерії через канал з електричним полем**. У ньому виникає явище, відоме як електрофорез, коли

частинки зупиняються і відштовхуються в залежності від наявності або відсутності електрохімічної активності. Таким чином, вчені доволі легко можуть розділити звичайні бактерії від тих, які вміють виробляти електрику.

Доцент кафедри МІТ по машинобудуванню Каллен Буї поділився: «Недавні дослідження виявили можливість **існування набагато більшого спектру бактерій, які виробляють електрику**. Це може бути не просто невелика жменька мікробів, а щось більше. І створений інструмент може бути набагато більш важливим для науки, ніж здається».

Дослідники змогли інтегрувати два види живих організмів і одну технологію для виробництва струму.



Гриб з графеном і бактеріями виробляє електроенергію / American Chemical Society

Вчені створили біонічний гриб, який генерує електрику. Для цього вони використали певні бактерії і графенові нанострічки, які простягаються від шапки до ніжки.

Про це пише [Newsweek](#), додаючи, що технологія однак **не генерує** достатньо електрики, щоб живити будь-який електричний пристрій. Але експеримент продемонстрував, як можна генерувати електрику біологічного походження.

Для своєї розробки команда вчених Технологічного інституту Стівенса в Нью-Джерсі використала **звичайні печериці** з супермаркету, які покрили нанострічками з графену. Потім на стрічки за допомогою 3D-принтера нанесли «біологічне чорнило» з ціанобактеріями, які здатні виробляти електрику під дією Сонця, але не можуть довго жити на штучних поверхнях.

Щоб вирішити цю проблему, вчений Судіп Джоші вирішив, що середовищем для бактерій можуть стати гриби. І це вирішує проблему, яка не дозволяла до цього часу використовувати їх для генерації електрики. Гриби з супермаркету вкрили стрічками графену для того, щоб створити мережу електродів для взаємодії з бактеріями. Таким чином, під дією світла мікроорганізми, занесені в гриби через «біологічне чорнило», почали виділяти електричний струм. «Світло на грибах активує механізм фотосинтезу ціанобактерій, в ході якого генеруються біологічного походження електрони», - пояснив Джоші.

Електричний струм може збільшити врожайність овочів



Урожай овочів чи тих же фруктів можна збільшити без використання пестицидів і добрив. До такого висновку прийшли **китайські вчені**, які змусили рослини швидше рости, задіявши електричний струм, пишуть [Agropages](https://agropages.com).

Вчені провели свій експеримент на салаті. У ньому було задіяно 3600 га теплиць, розташованих в різних точках країни — від пустелі Гобі Сіньцзян до розвинених прибережних районів. Це зробило дослідження наймасштабнішим у світі. Профінансував його китайський уряд.

Проект тривав майже три десятиліття. Дослідники врахували результати, отримані на різного складу ґрунті, в різних кліматичних умовах і при різних технологіях виробництва.

Як виявилося, електричний струм збільшував врожайність салату на **20-30%**. При цьому використання пестицидів скоротилося на 70-100%, а добрив — на 20%.

Зелень росла під оголеним дротом, розташованим на висоті 3 метри над землею, і розтягнутим від одного краю теплиці до іншого. Дроти генерували заряд до **50 тис. вольт**.

Науковці стверджують, що така високочастотна напруга вбиває **бактерії і віруси**, що передають хвороби в повітрі або ґрунті. Вона також пригнічує поверхневий натяг води на листках, прискорюючи випаровування.

Усередині самих рослин збільшується перенесення заряджених частинок, таких як **бікарбонат і іони кальцію**, прискорюються **метаболічні активності**.

При цьому професор Лю Биньцзян, урядовий науковий співробітник та провідний член проекту, зазначив, що електричний струм, що протікає через дроти, набагато нижчий за робоче навантаження на смартфон.

«Це абсолютно не шкодить рослинам або людям, що стоять поблизу», — сказав він.

До слова, після дослідження площа під електрифікованими фермами в Китаї почала зростати божевільними темпами — на 1000-1300 га щороку.

Тема 11. Використання статичного електричного поля в рослинництві та тваринництві

План

1. Коронний розряд в повітрі. Сепарація насінневого матеріалу
2. Обробка електростатичним полем посівного матеріалу
3. Інноваційні методи знищення бур'янів

1. Коронний розряд в повітрі. Сепарація насінневого матеріалу

*Важливою проблемою в сучасних технологіях виробництва сільгосппродукції є передпосівна підготовка насіння. Внаслідок низької якості посівного матеріалу польова схожість насіння більшості агрокультур складає **60-75%**. Для досягнення*

необхідної густоти рослин збільшують норму висіву, що призводить до додаткових витрат дорогого насіннєвого матеріалу.



Вирішує задачу передпосівної підготовки насіння створений в Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН (ННЦ «ІМЕСГ») експериментальний зразок **електростатичного сепаратора для очистки і сортування** насіння сільгоспкультур в електричному полі високої напруги.

Електричне поле сепаратора **стимулює насіння** до проростання, а також частково **знезаражує** його поверхню. Агрегат застосовують у сховищах і на відкритих майданчиках безпосередньо **перед протруюванням** насіння. Сепарація й очистка насіннєвої суміші відбувається в електричному полі за фізико-механічними (питома вага, розміри, стан поверхні тощо) та електричними (діелектрична проникливість, електропровідність) властивостями насінин. Так відбирається **найбільш повноцінне насіння** та відділяється насіння **важковідокремлюваних бур'янів** і зернових домішків, які іншими способами вилучити неможливо.

Дослідженнями, проведеними в ННЦ «ІМЕСГ», встановлено, що відібране насіння має на **10-15% вищу енергію до проростання та до 5%** більшу масу 1000 штук насінин. Що сприяє збільшенню врожайності культур. Так, приріст урожаю пшениці після підготовки посівного матеріалу на сепараторі складав **2,1-10 ц/га**. При нормі висіву 2,4 ц/га сепаратор за один день роботи забезпечує посівним матеріалом площу, еквівалентну **100** гектарам. Сепаратор вибраковує до **30% насіння** та зернових домішків, які можуть бути використані на фуражні потреби.

Встановлено, що передпосівна підготовка насіння ярого ячменю забезпечила підвищення для сорту **Південний та сорту Едем** енергію проростання на 5,6% та 4,5%, кількості рослин через місяць після висіву - на 12,8% і 47%, висоти рослин - на 3,5% і 20%, кількість колосків - на 4,2% і 18% та врожайності відповідно на 31,5% і 24%.

Досить ефективним є використання сепаратора на етапі передпосівної підготовки вихідного матеріалу з подальшою обробкою насіння основної фракції біологічним препаратом. За результатами досліджень в ДП ДГ «Оленівське» ННЦ «ІМЕСГ» урожайність ярого ячменю сорту Едем, насіння якого було підготовлене на електросепараторі та оброблене біопрепаратом Планриз, підвищилась на 23,8% по відношенню до насіння, яке обробили тільки біопрепаратом без електрообробки.

Рис. 1. Посівні та врожайні показники насіння сортів ярого ячменю Південний-Еліта () та Едем – перша репродукція () по відношенню до контролю після їх електросепарації : 1 - маса 1000 насінин; 2 - енергія проростання насіння; 3, 4 - кількість рослин та висота надземної частини через місяць після висіву; 5, 6 - висота рослин та маса паростків через місяць після висіву; 7- кількість колосків на рослинах; 8- урожайність

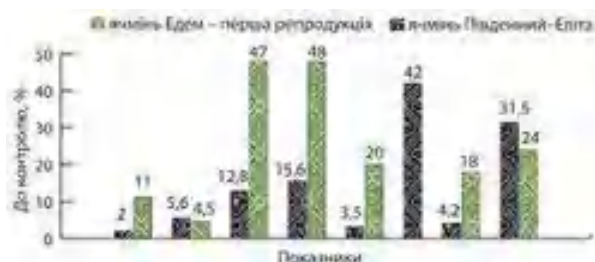


Рис. 2. Розвиток рослин ярого ячменю сорту Едем на 40-й день вегетації:

1 – насіння ячменю, оброблене Планризом та відсепароване в електричному полі; 2 – насіння, оброблене Планризом; 3 – контроль

Проведеними в ННЦ «ІМЕСГ» дослідженнями встановлено: використання електросепаратора в процесах передпосівної підготовки зернових культур підвищує їх урожайність на 12-30%, енергію проростання та схожість - на 4-16,6%, масу 1000 насінин основної фракції - на 4-10%. Сепаратор може використовуватися у насінницьких господарствах, де при очищенні та сепаруванні насіннєвого матеріалу застосовують потокові зерноочисні лінії промислового виробництва, до яких входять завантажувальні пристрої, машини попереднього очищення, складні зерноочисні машини, а також транспортери, норії і бункери.

У процесі розподілу зернових матеріалів в основну фракцію відбирається до 70% насіння з поліпшеними посівними якостями та врожайними властивостями. Економічна ефективність від застосування електросепаратора в процесах передпосівної підготовки становить 123,5 грн./га, а термін окупності - 0,9 року.

2. Обробка електростатичним полем посівного матеріалу

Урожайність сільськогосподарських культур в значній мірі залежить від посівних якостей насіння. Перед фахівцями та вченими стоїть найважливіше завдання - збільшення виробництва продукції рослинництва, в тому числі сої.

Соя - найважливіша білково-олійна культура світового значення. Завдяки багатому і різноманітному хімічному складом соя широко використовується як продовольча, кормова і технічна культура. Її насіння містять в середньому 37-42% білка, 19-22% олії і до 30% вуглеводів; вегетативна маса, зібрана в фазу наливу бобів, багата білками (16-18%), вуглеводами і вітамінами. За амінокислотним складом протеїн сої близький до білка курячих яєць, а масло відноситься до легкозасвоюваних і містить жирні кислоти, що не виробляються організмом тварин і людини .

Велике агротехнічне значення сої, насамперед як азотофіксуючої культури. При інокуляції нітрагіном (ризоторфіном) в умовах оптимальної вологості вона накопичує в ґрунті значну кількість (40-60 кг/га) азоту і тому є добрим попередником зернових й інших не бобових сільськогосподарських культур.

Висока економічна ефективність обробітку сої: кожен гектар її посіву при врожаї **20-25 ц/га** дає **500-700 грн.** чистого прибутку. Соя найбільш дешевий і повсюдно доступне джерело високоякісного протеїну.

1.1. Використання фізичних факторів для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур

Фахівці сільськогосподарського виробництва та вчені шукають способи і засоби для підвищення і відновлення посівних якостей насіння, втрачених в результаті незадовільного зберігання або вирощування, травмування при механічній обробці, а також хвороб і шкідників насіння сільськогосподарських культур.

Для передпосівної обробки насіння використовують гамма-промені. Низкою вчених вивчалася дозова залежність реакції рослин сої на передпосівне **γ -опромінення насіння**. Ними відзначено, що у проростає насіння сої γ - опромінення викликає збільшення довжини первинних корінців на 20-30% порівняно з контрольними насінням. Це викликано тим, що у-опромінення насіння рослин обумовлює стимуляцію ростових процесів і плодоутворення. Також для передпосівної обробки застосовують **ультразвук, інфразвук, ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання, рентгенівські промені, фотоактивацію, магнітні поля (постійні та змінні), електричні поля (електростатичне, поле коронного розряду), обробку озоном**. Найбільш поширеними електрофізичними способами до теперішнього часу є **електромагнітні поля**.

Дія фізичних факторів заснована на тому, що більша частина фізіологічних процесів, що відбуваються в живому організмі, супроводжується **електромагнітними явищами**. Постійна складова електромагнітних коливань в рослинному організмі - біоелектричні потенціали, які регенеруються в процесі життєдіяльності і відображають його фізіологічний стан.

Відзначається, що в комплексі заходів, спрямованих на підвищення врожайності сільськогосподарських культур, важливе значення має передпосівне стимулювання насіння електричними полями, що забезпечує кращий вихід їх зі стану спокою. Обробка насіння пшениці Харківська-46, Саратовська-36, Башкирська-та інших сортів **електричним полем коронного розряду напруженістю $(4,5...5) \cdot 10^5$ В/м протягом 1,5...2 с за 14...20 днів до посіву призвело до підвищенням врожайності на 6...28%** в різні роки проведення експерименту.

Відомо, що для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур, застосовують поле негативного коронного розряду (ПНКР), відповідне напруженості електричного поля в діапазоні [40].

Іншим способом, що надає **м'яку стимулюючу дію** на насіння сільськогосподарських культур, є вплив малими постійними або змінними електричними полями, в результаті якого прискорюється проростання насіння і подальший розвиток рослин у період вегетації, підвищується стійкість рослин до хвороб.

На думку ряду вчених, найбільш доступним, менш дорогим, а головне, високоефективним прийомом пришвидшення проростання насіння є їх електромагнітна стимуляція. З її допомогою можна добитися позитивного результату за досить короткий проміжок часу і на великих обсягах насіння. Така обробка сприяє підвищенню водопоглинаючої здатності коренів, інтенсивності дихання вже на початкових етапах росту і розвитку рослин, що сприяє формуванню більш потужних рослин, успішно конкуруючих не тільки з бур'янами, а й з хворобами та шкідниками.

У результаті обробки змінним магнітним полем на установці «Протон» насіння зернових і овочевих культур цвітіння у рослин настало в більш ранні терміни, а також спостерігалось збільшення маси плодів [31]. Помічено, що під дією електростатичного

стимуляції відбувалася інтенсифікація процесів, що забезпечують більш активне зростання, розвиток рослин і збільшення врожаю. Особливо добре це видно на тих насінні, які мали низькі посівні якості.

Передпосівний вплив градієнтним магнітним полем (ГрМП) вивчалася на насінні жита сорту Чулпан, пшениці сортів Одеська напівкарликова, Одеська-51, Виток, Партизанка; ячмінь сортів Росава та Оксамит. Після такої обробки енергія проростання насіння збільшувалася на 4...21%, лабораторна схожість - на 3...19%, польова схожість - на 12...16%, Кущистість - на 12...22%.

У вивченій нами літературі підкреслюється і той факт, що використання фізичного методу в передпосівній обробки насіння зернових культур відповідає вимогам екологізації рослинництва, що в даний час важливо.

В висвітлені результати досліджень з підвищення врожайності с.-г. культур шляхом впливу магнітного поля на поливну воду. Помічено, що ефект від кожного поливу омагніченою водою підсумовується. Виявилося, що магнітну воду особливо доцільно використовувати для поливу овочів, вирощуваних у закритому ґрунті, - це дозволяє не тільки підвищити врожай, а й дещо знизити температуру в теплицях. Випробування показали, що полив соняшнику та сої омагніченою водою підвищує врожайність насіння на 13%.

Незважаючи на те, що багато авторів говорять про позитивний вплив магнітного поля, остаточне думку з цього питання ще не склалося. Магнітне поле, володіючи, як вважає більшість дослідників, якостями стимулятора ростових процесів, практично не впливає на ураженість шкідниками та хворобами, в той час як посівні якості квасолі сильно знижуються через зараженості насіння. Однак є численні дані про бактерицидних і інсектицидних властивостях озону і про вплив його на насіння.

1.2. Технічні засоби для реалізації способів передпосівної обробки насіння

В вітчизняній і світовій практиці передпосівної обробки насіння використовуються значна кількість різних пристроїв. Частина з них в даний час морально застаріла, частина є лише модернізацією раніше за створених. Розглянемо деякі пристрої, які, як нам здається, дають досить повну картину вживаних в практиці передпосівної обробки технічних засобів.

В роботі описується пристрій для обробки посівного матеріалу, що містить бункер 1, транспортер 2, джерело магнітного поля 3 - розміщені з проміжком один відносно одного постійні магніти з полярністю, що чергується, розташовані таким чином, що одні з полюсів кожного магніта спрямований на транспортер, приймач посівного матеріалу 4 (рис. 1.1).

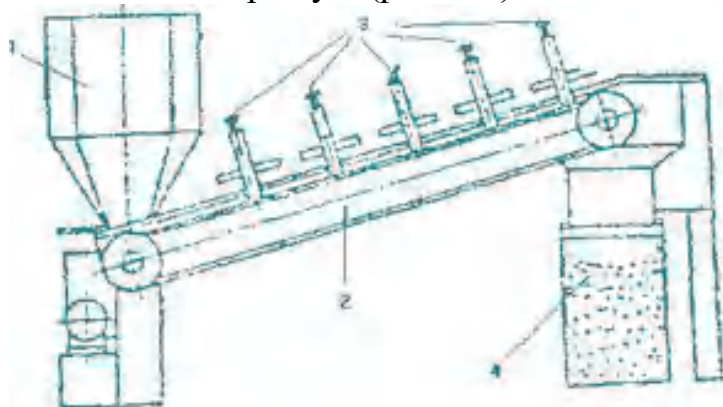
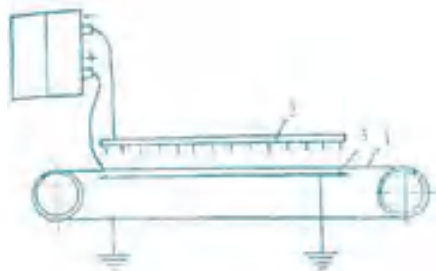


Рис. 3. Пристрій для обробки посівного матеріалу [2].

Насіння з бункера 1 потрапляють на транспортер 2, проходячи по транспортеру піддаються дії магнітного поля (4), що змінюється, потрапляють в приймач 4.

В роботі представлена установка для передпосівної обробки насіння в електричному полі коронного розряду (рис. 1.2).



4. Установка для передпосівної обробки насіння у електричному полі [

Установка складається з корпусу, механізму завантаження, транспортерної стрічки 1, бункери завантаження і системи електроустаткування. Над транспортерною стрічкою 1 розташований негативний електрод 2 що складається з блоків голок, розташованих в шаховому порядку. Під транспортерною стрічкою розташований позитивний електрод 3, виконаний у вигляді плоскої пластини. Заземлена металізована робоча поверхня транспортерної стрічки є бар'єрним електродом. При включенні установки між електродами 2 і 3 виникає постійне електричне поле коронного розряду. Насіння, проходячи між електродами, піддається інтенсивній дії електронів, іонів і ультрафіолетового опромінення, створюваних електричним полем коронного розряду.

У роботі описаний пристрій для обробки насіння в електричному полі

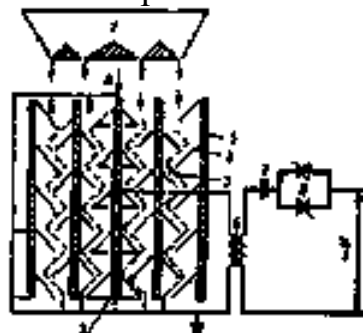


Рис. 5. Пристрій для обробки насіння в електричному полі .

Пристрій складається з розподільника насіння 1 з центральним 2, проміжними 3 і крайніми 4 електродами, які закріплені на діелектричних пластинах 5. Висока напруга з трансформатора, що підвищує, би подається на центральний електрод 2 і крайні електроди 4. Насіння, потрапляючи в зону між останніми і проміжними електродами, обробляються полем коронного розряду. Проміжні електроди коронують за рахунок електричної індукції, а потенціал від центрального електроду знижується і на підставах, бічних поверхнях робочої камери досягає нульового значення. Усі електроди закріплені на діелектричних пластинах поярусного.

Відомий пристрій для обробки насіння, в кому насіння одночасно піддається дії електромагнітного поля і озону (рис. 1.4).

Пристрій складається з корпусу 1, виконаного з діамагнітного матеріалу у вигляді усіченого конуса, зовнішня сторона якого оточена обмоткою 2, службовці для створення електромагнітного поля і поєднаної до джерела постійного струму 3. У нижній частині корпусу є отвір 4, що служить для підведення іонізованого повітря з

високою концентрацією озону, який виробляється в озонаторі 5. Згори корпус забезпечений кришкою 6 з отвором для виходу повітря, знизу - кришкою 7. Перед початком обробки кришка 7 закривається, і зерно поступає в камеру, де спочатку обробляється електромагнітним полем, а потім озоном.

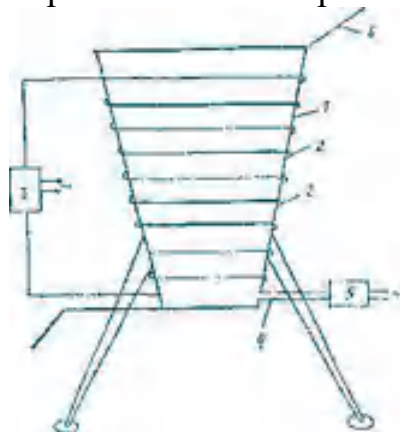


Рис. 6 Пристрій для обробки насіння електромагнітним полем і озоном.

У публікації запропонований пристрій для передпосівної обробки насіння, в якому насіння спочатку обробляється в слабкому електромагнітному полі обмотки 5 (рис. 6), подаються у феромагнітний трубопровід 2, який піддається вібрації і індукційному нагріву від індуктора 4 виконаного у вигляді феромагнітного стержня. Нагрів насіння здійснюється від трубопроводу 2 і шнека, що нагрівається від стержня, по якому протікає змінний струм. Змінний електричний струм, що проходить по обмотці 5, створює у бункері 1 слабе електромагнітне поле. Температура для нагріву насіння визначається індукційним розігріванням трубопроводу 2 і прямим нагрівом феромагнітного стержня 4 з наступною теплопередачею шнеку 3, що дозволяє рівномірно нагрівати насіння.

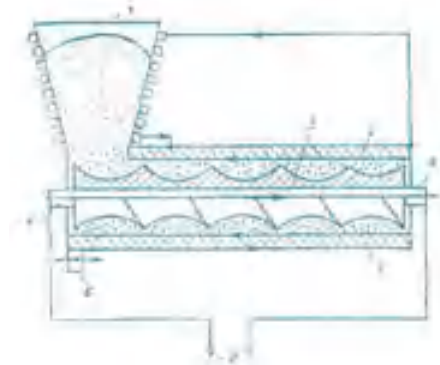
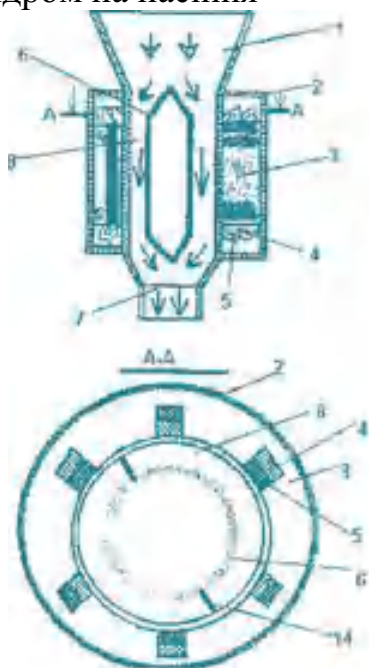


Рис.7. Пристрій для передпосівної обробки насіння в електромагнітному полі і індукційним нагрівом .

На рис. 7 представлено пристрій для передпосівної обробки насіння в електромагнітному полі. Пристрій складається з бункера 1, камери обробки 8 з індуктором 3 у вигляді статора електричної машини трифазного струму, усередині якого встановлений феромагнітний циліндр би, і вихідного патрубку 7. Трифазна мережа, однонапівперіодний випрямляч і обмотки індуктора створюють однонапряжене магнітне поле, що обертається, спрямоване перпендикулярно феромагнітному циліндру. Швидкість обертання поля визначається параметрами мережі і конструкцією обмоток. Насіння через бункер поступає в камеру обробки і

через вихідний патрубок в сховищі. При русі між індуктором і феромагнітним циліндром на насіння



діє однонаправлене магнітне поле, що обертається.

Рис.8. Пристрій для передпосівної обробки насіння у електромагнітному полі.

Залежно від параметрів оброблюваного насіння регулюючим пристроєм задається необхідна напруга, що змінює струм в обмотках і відповідно величину електромагнітного поля.

На рис. 1.7 представлений пристрій для комплексної обробки насіння електромагнітним полем і акустичною хвилею звукового діапазону [12].

Пристрій складається з корпусу 1, виконаного з діамагнітного матеріалу, зовнішня сторона якого оточена обмоткою 2, службовці для створення електромагнітного поля усередині котушки і підключеною до джерела постійного струму 3. По довжині корпусу, на різних рівнях у верхній і нижній частинах розміщені випромінювачі звукових коливань 4 (електродинамічні гучномовці), підключені до звукових генераторів 5.

Насіння, що поступає з бункера 6, проходячи усередині корпусу, піддаються дії двох фізичних чинників - енергії електромагнітних коливань і енергії акустичної хвилі (пружних коливань) звукового спектру частот 20 Гц -20кГц.

На рис. 1.9 зображена схема пристрою для комплексної обробки насіння в електромагнітному полі і акустичній хвилі ультразвукового діапазону.

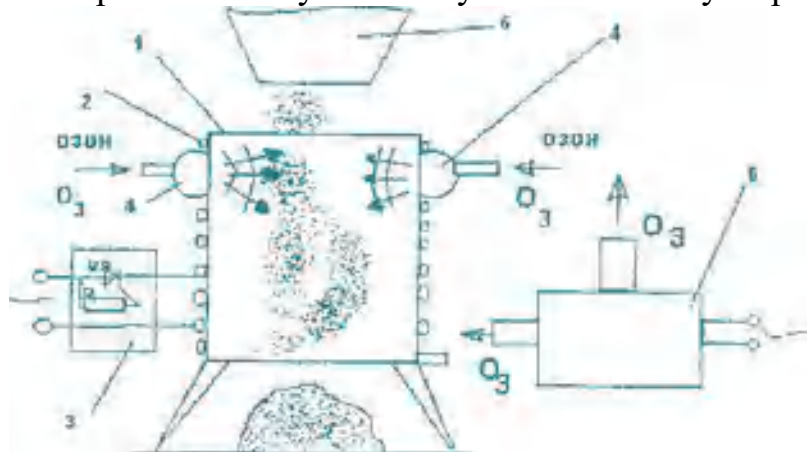
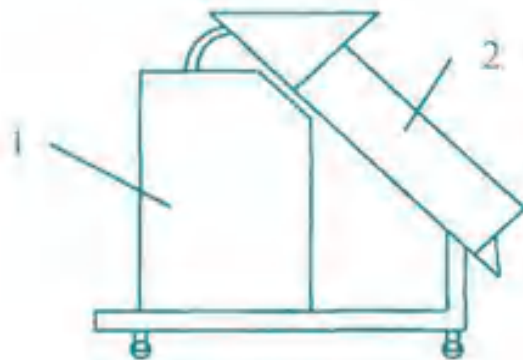


Рис. 1.9. Пристрій для комплексної обробки насіння в електромагнітному полі і акустичній хвилі ультразвукового діапазону.

Установка складається з корпусу 1, виконаного з діамантнічного матеріалу, на якому розміщена обмотка 2, під'єднана до джерела імпульсного струму 3, у верхній частині корпусу розміщені дві ультразвукові статичні сирени 4, на які під тиском 3...4 атм. подається озон від озонатора 6. Частота коливань озонного струменя може змінюватися від декількох кГц до десятків кГц залежно від конкретної культури насіння. Насіння з бункера у вільному падінні проходить усередині корпусу, піддаючись дії імпульсного електромагнітного поля і озону. Враховуючи, що щільність озону більше щільності повітря, сирени розташовують у верхній частині корпусу, що дозволяє обробляти насіння озоном за усім обсягом корпусу. Під дією озону насіння додатково обертається, не піддававшись механічним ушкодженням, внаслідок чого ефективність обробки може зрости.

У роботі представлена установка для обробки насіння зернових культур лазером, що складається з механічної камери, камери підсвічування



У і рами (рис. 1.10).

Рис. 1.10. Пристрій для обробки посівного матеріалу променем лазера

У механічній камері 1 розташовані оптична панель із закріпленим гелій-неоновим лазером дефлектором, що здійснює розгортку променя, в камері підсвічування 2 знаходяться бункер для прийому зерна, лоток для потоку зерна, дозатор, лоток для прийому зерна, лампи підсвічування і відбивачі. Уся конструкція закріплена на рухливій рамі. Зерно зсипається по площині, встановленою під кутом 40°, що забезпечує швидкість зсипання зерна приблизно 2,5 м/с, ширина лотка 600 мм, товщина шару регулюється в межах від 30 до 70 залежно від виду посівного матеріалу.

Проте описані вище пристрої мають ряд недоліків, такі як низька пропускна спроможність, великі масогабаритні розміри, велика металоємність, нерівномірність обробки посівного матеріалу, трудність підбору оптимальних параметрів обробки, що утрудняють їх широке застосування.

3. Інноваційні методи знищення бур'янів

Захист сільськогосподарських полів від бур'яну – один з найважливіших етапів у землеробстві. Хімічні засоби захисту рослин у боротьбі проти бур'янів завоювали популярність завдяки легкому застосуванню, економічній ефективності та швидкому досягненню необхідного результату. Але попри позитивні якості вони створюють загрозу екологічній безпеці довкілля та можуть негативно впливати на здоров'я людини. Така ситуація призвела до пошуку альтернативних, безпечних для природи й живих організмів нехімічних методів боротьби з бур'янами. Один з них заснований на використанні електричної енергії.

Концепція застосування електрики для знищення небажаних трав'янистих рослин з'явилась ще наприкінці XIX сторіччя. На початку 1890-х років у США були зареєстровані декілька патентів у цій галузі, а з 1970-х років електрична енергія застосовується для дезінфекції ґрунту та очищення земельних угідь шляхом впливу як на непроросле насіння бур'янів, так і на пророслі рослини.

Системи, які застосовуються для обробки рослин електричним струмом поділяються на два типи. Принцип роботи перших ґрунтується на дії іскрового розряду. Знищення бур'янів, проріджування посівів, прискорення дозрівання досягається шляхом застосування короткочасних (1–3 мкс) високовольтних (25–60 кВ) імпульсів.

Пристрої другої групи працюють за рахунок безпосереднього контакту електрода (15 кВ), підключеного до джерела високої напруги (54 кВт). Їх використовують для обрізання й висушування бадилля коренеплодів, а також для видалення бур'янів і проріджування посадок культур. Пристрої і першої, і другої групи ушкоджують рослинну тканину силою струму: ударною хвилею розряду в імпульсних системах та швидким нагріванням електрода в системах безперервного контакту.

Хоча електричний метод видалення бур'янів має безперечні переваги стосовно збереження екології, його практичне застосування обмежується низкою факторів.



1. Безпосередній контакт електричного зонда з будь-якою рослиною призводить до її пошкодження або знищення незалежно від того, чи є вона культурою чи бур'яном. Тому подальше вдосконалення методу спрямоване на створення таких умов, за яких руйнівна дія електричного струму не поширюватиметься на сільськогосподарські рослини.

2. Якщо електричне обладнання встановлене на трактор, то якість виконання робіт значною мірою залежить від ступеня вирівнювання поверхні оброблюваних площ, а також відсутності сторонніх предметів, сміття тощо. Чим краще підготовлені поля, тим ефективнішими будуть результати видалення бур'янів електричним методом.

3. Застосування електричного способу результативне лише за умови безпосереднього контакту зонда з рослинами, тобто вони мають досягти певної висоти, щоб цей метод був дієвим. На початкових етапах розвитку бур'янів, а також для низкорослих рослин використання електрики для їх знищення не дасть потрібного результату.

4. До того ж, попередній пункт вказує й на обмежений період застосування електричного обладнання, а саме можливість видалення бур'янів тільки після досягнення ними певної висоти. Це унеможливорює контроль за бур'янами на ранніх

етапах розвитку культур, тобто коли бур'яни складають значну конкуренцію сільськогосподарським посівам.

5. У разі значного засмічення полів бур'янами застосування електричного методу також неможливе, оскільки це обладнання не здатне впоратись зі значними обсягами, і таке ненормоване навантаження призведе до короткого замикання.

6. Для знищення різних бур'янів потрібна й різна сила електричного впливу, а модифікація установки на даному етапі ще не здатна забезпечити таке регулювання.

7. Під час застосування електричного методу в боротьбі з бур'янами найважливішою залишається проблема гарантованої, повної безпеки для основних працівників і помічників при роботі з високовольтним електричним обладнанням, оскільки існує, хоч і незначною мірою, загроза їхньому здоров'ю внаслідок ураження електричним струмом.

8. Застосування *електричного методу знищення бур'янів на значних територіях є недоцільним через його низьку рентабельність.*



RootWave (Великобританія) – одна з провідних компаній, яка проектує та створює обладнання для знищення бур'янів у сільському господарстві, засноване на електричному методі. Її останній проект у цьому напрямку – пристрій для знищення стійких бур'янів на зернових культурах. Переміщення та керування цим обладнанням здійснюється за допомогою трактора, що дозволяє обробляти значні площі сільськогосподарських угідь. Його випробування ще тривають і демонструють перспективні результати. Головним пріоритетом у розробці пристрою для встановлення на тракторах є безпека оператора.

Серед інноваційних методів знищення бур'янів, що використовують електричну енергію як головний фактор руйнівної дії, актуальними останнім часом стали також винаходи, завдяки яким бур'яни знищуються шляхом інфрачервоного випромінювання, гарячої води або пари, вогню, мікрохвильового випромінювання, гарячої піни, ультрафіолетових променів, лазера тощо.

Іонізація повітря

Поруч із вищепереліченими чинниками мікроклімату, великий вплив на організм тварин надає іонний фон приміщення, який залежить від ступеня іонізації повітря, тобто. наявності в ньому позитивно та негативно заряджених частинок (аероіонів).

Іонізація повітря - це процес розщеплення молекул або атомів газу земної атмосфери під впливом різних зовнішніх іонізуючих факторів (електрозаряди, гірські річки, водоспади, фонтани, прибії, дощові зливи, УФО-сонця, хімічні реакції, нагрівання металів, дія іонізуючих факторів та ін.) . В результаті іонізації відбувається відрив від нейтрального атома або молекули одного або кількох зовнішніх електронів. Решта атома утворює позитивно заряджений іон. Вільні від атомів або молекул електрони або залишаються як такі або приєднуються до нейтральних частинок газу, утворюючи негативно заряджені іони.

За характером заряду розрізняють позитивні та негативні аероіони, а за величиною та ступенем рухливості їх умовно ділять на такі групи: легкі, середні, важкі. Якщо нейтральні частинки внаслідок впливу фактора іонізації втрачають електрони, то при цьому виникають позитивні аероіони. Якщо нейтральні частинки приєднують електрони, то виникають негативні іони. Іони, що існують у повітрі, як такі, або приєдналися до молекул газу, називаються легкими; швидкість їхнього пересування 1-2 см/сек. Якщо легкі іони з'єднуються із зваженими пиловими частинками, мікробними тілами, крапельками води, то утворюються іони більших розмірів, які називаються середніми або важкими іонами. Ці іони менш рухливі, вони міцно утримують заряд. Так, швидкість переміщення середніх іонів становить 0,01 см/сек, важких іонів - трохи більше 0,001-0,00025 див/сек.

Ступінь іонізації різна протягом доби та протягом року; мінімум іонізації припадає на ранкові та вечірні години доби в зимову пору року. Кількість легких іонів варіює залежно від географічних, геологічних умов, стану погоди і радіоактивності довкілля. Зі збільшенням вологості повітря наростає кількість важких іонів за рахунок рекомбінації іонів із краплями вологи. Зниження атмосферного тиску, збільшення температури повітря сприяють виходу з ґрунту еманції радію, що призводить до збільшення кількості легких іонів.

Істотний вплив на іонізацію повітря має ступінь забруднення атмосферного повітря. Якщо 1 мл замиського повітря міститься легких іонів обох зарядів близько 1000, то курортних місцевостях вміст легких іонів становить 2000-3000 в 1 мл, то повітря промислових міст їх кількість зменшується до 40 в 1 мл.

У повітрі закритих тваринницьких приміщень, особливо з недостатнім рівнем повітрообміну, практично немає легких негативних аероіонів, і здоровий організм отримує їх головним чином за рахунок електроефлювіальної функції миготливого епітелію. Однак, у випадку, коли тварина захворіла на респіраторне захворювання, ця функція різко знижується і настає гіпоксемія організму. У зв'язку з цим у промислових комплексах респіраторні хвороби протікають тяжко, лікарські препарати виявляються малоефективними, а вакцинації тварин не досягають бажаної мети.

Гігієнічне значення аероіонізації у тваринництві полягає у дії легких негативних іонів кисню на нейрогуморальну регуляцію фізіологічних функцій через слизові оболонки дихальних шляхів та шкіру. У дихальних шляхах аероіони підвищують або знижують збудливість легеневих інтерорецепторів, передаючи відповідні сигнали через центри мозку до внутрішніх органів. Аероіони проникаючи через стінку альвеол у кров, віддають свої заряди її колоїдам та клітинним елементам. Внаслідок цього при вдиханні негативних іонів зарядженість кров'яних колоїдів збільшується, а при вдиханні позитивних іонів зменшується. Крім того, іонізоване повітря безпосередньо впливає на організм тварин (особливо свиней) через рецептори шкіри, а побічно через нервові закінчення верхніх дихальних шляхів, викликаючи ряд фізіологічних реакцій в

організмі (розширення капілярів, вихід еритроцитів з депо, підвищення нейроендокринної регуляції обмінних процесів у клітинах тканинах).

Численними дослідженнями на тваринах встановлено, що штучно іонізоване повітря негативної полярності у певних концентраціях сприяє покращенню обміну речовин, підвищенню апетиту та засвоюваність корму тваринами, швидкому зростанню та розвитку молодняку. Так, за даними В.М. Юркова у корів під впливом негативно заряджених іонів (концентрація -170...440 тис. в 1 см² повітря, експозиція - 15 хв., 1,5 год тричі на добу протягом 60 днів, а потім 3...6 год протягом 30 днів) відзначено кращу поїдання кормів та підвищення середньодобових надоїв на 0,5-0,6 л. Молоко мало вищими бактерицидними властивостями і мало менше кислотність порівняно з контрольними тваринами. Під дією іонізованого повітря підвищується поло

Під дією іонізованого повітря підвищується статеві активність бугаїв-плідників, покращується біохімічний та морфологічний склад крові, посилюється легеневий обмін. Все це сприяє збільшенню концентрації, переживання спермій та їх запліднюючої здатності. Також встановлено, що легкі негативні аероіони надають сприятливу дію на молодняк великої рогатої худоби. У телят підвищується поїдання кормів, засвоюваність поживних речовин – протеїну, безазотистих екстрактивних речовин, кальцію та фосфору. Також відзначається збільшення вмісту у крові: загального білка у крові на 28,9-34,5 %; титру антитіл та фагоцитарного індексу на 0,29-0,49; гаммаглобулінів на 3,76-4,04%; гемоглобіну 5 г/л; еритроцитів на 495 тис. Після двомісячного експерименту жива маса телят була вищою порівняно з контрольними на 4,2 кг (Н.М. Хренов, 1994).

За даними С.С. Абрамова (1989) при щоденному збагаченні повітря телятника легкими негативними аероіонами на протязі 6 год, при концентрації аероіонів 9×10^4 - 15×10^4 в 1 см³ повітря, встановлено зниження захворюваності телят бронхопневмонією на 25-30% по порівнянню

Аналогічна закономірність простежується у вплив негативних іонів на свиней. Так, у тварин, що піддавалися аероіонізації, відзначалося підвищення: бактерицидної активності сироватки крові на 3,5 %, лізоцимної активності 5,8 % та фагоцитарної на 6,2 %. У сироватці крові зростало також вміст загального білка на 0,42-0,58%, переважно рахунок гаммаглобулінової фракції. У цьому свиноматок підвищилася молочність на 4,5 -6,2 %, збереження порослят на 6-8 %, приріст живої маси на 5,6-8,4 %. Поросята при цьому були більш рухливими, мали кращий апетит, інтенсивніше росли та розвивалися.

Штучно іонізоване повітря істотно впливає і на коней. У них підвищується температура шкірного покриву, частішає пульс і дихання, раніше настає і швидше протікає линяння, змінюється імунобіологічна реактивність крові. Так, у коней аероіонізації, що піддавалися сеансам, відзначалося збільшення бактерицидної активності сироватки крові на 6,5-10%, лізоцимна активність на 10,6% і активності фагоцитозу на 10,7%.

Подібні зміни під впливом іонізації повітря відзначені в організмі сільськогосподарського птаха. Так, відмічено збільшення активності фагоцитозу: фагоцитарної активності псевдоеозинофілів до 141%, фагоцитарного індексу до 126% та збільшення феномену наростання антитіл, тобто. зростання титру реакції гемаглютинації (РЗГА) від 70 до 135%. У молодняку птаха відмічено збільшення загального білка на 26 мг/мл; лізоциму 2,7%, фагоцитарного індексу 0,27, а також зменшується захворюваність на колибактеріоз на 41% (Н.М. Хренов, 1994).

Тому у профілактичних цілях ряд авторів (А.Д. Белов, І.М. Біляков, В.А. Лук'яновський, 1983; Н.М. Хренов, 1994; А.А. Кузнецов, 1998; В.А. Васяєв, 1998 А. Ф. Кузнецов, 2003; Т. В. Соляник, 2003 та ін) рекомендує наступні концентрації легких негативних іонів і найбільш оптимальні режими іонізації:

телята до місячного віку – 200-300 тис. аероіонів в 1 см³ повітря із щоденною іонізацією 6-8 год; глибокостільні корови - 200 тис/см³ протягом 15-20 днів. по 6-8 год на добу; бики-виробники – 250 тис/см³ щодня протягом 2 міс. по 8-10 год; перерви на 20-30 дн.;

поросята-сосуни - 300-400 тис/см³; поросята-відйоми - 350-450 тис/см³; дорослі свині - 400-500 тис/см³ (сеанси проводять 3 рази на добу по 30 хв протягом 3-4 тижнів і повторюють через місяць);

курчата 3-60-добового віку - 25 тис/см³ на добу 1-3 год з перервою на 1 год; через кожні 5 діб. іонізації 5 діб. пауза; бройлери-відповідно 60-70 тис/см³, 0,5-3, один раз, 2-3, 7-5; кури-несучки - 100-250 тис/см³, 4-8, 9-12, 30 та 30.

Однак при проведенні сеансів аероіонізації слід враховувати, що високі концентрації аероіонів (понад 400-700 тис./см³) викликають у тварин пригнічення, задишку і навіть набряк легенів. Особливо при різко вираженій серцевій недостатності та гнійних формах пневмонії. Для вимірювання концентрації аероіонів у повітрі слід використовувати спеціальні прилади, так звані – лічильниками іонів: ІТ-6914, СІ-1, САІТГУ-66 ІДР.

Таким чином, значення іонізації повітряного середовища тваринницьких приміщень полягає у безпосередньому стимулюванні організму тварин легкими негативними аероіонами газів повітря, а також у непрямій дії на організм за рахунок зниження запиленості, мікробної забрудненості повітря, аміаку, тобто. покращення мікроклімату приміщень. Оскільки встановлено, що аероіонізація повітря в 2-4 рази знижує кількість аміаку, пилу та мікроорганізмів, на 5-8 % - відносну вологість повітря. Зниження пилу пояснюється тим, що пилові частинки під впливом аероіонів значно збільшують свій заряд і величину, внаслідок чого швидко осідають. Зниження мікроорганізмів, мабуть, відбувається через блокування аероіонами ферментної системи мікробної клітини.

Тема 12. Застосування електромагнітних полів широкого спектра частот

План

1. Нагрів і сушіння струмом НВЧ
2. Нагрів і сушіння інфрачервоним опроміненням
3. Застосування ультрафіолета в тваринництві

У останній час в харчову технологію широко впроваджуються електрофізичні способи обробки харчових продуктів — електростатичне поле, *змінні струми промислової частоти, струми ВЧ і НВЧ, інфрачервоне випромінювання, ультразвук та ін.* Використання цих способів у технологічних процесах дозволяє *знижити питомі витрати енергії, скоротити тривалість теплової обробки, забезпечити раціональні температурні режими, що в свою чергу підвищує якість продукції та дає значний економічний ефект.*

Суттєвість обробки харчових продуктів в електромагнітному полі полягає в тому, що електромагнітні хвилі від генератора випромінювання проникають у продукт **на значну глибину** і частково або повністю поглинаються в ньому. При цьому електромагнітна енергія перетворюється в теплоту, що викликає нагрівання продукту.

Джерелом променевої енергії є інфрачервоний випромінювач (ІЧ - випромінювач). При використанні ІЧ – нагріву створюються умови для прискорення термообробки, так як в цьому випадку хвилі, які створюються ІЧ – випромінювачами, проникають всередину продукту на деяку глибину, що дещо скорочує тривалість його теплової обробки. Використання ІЧ – нагріву в **громадському харчуванні має значну перспективу**, так як дає можливість інтенсифікувати процес теплової обробки кулінарних виробів, підвищить якість готової продукції, **знижити питомі витрати електроенергії, не підвищувати температуру повітря в приміщенні.**

1. Нагрів і сушіння струмом НВЧ

Нагрівання продуктів у електромагнітному полі НВЧ є одним з найперспективніших засобів термічного оброблення харчових продуктів. Використання його дає змогу **значно інтенсифікувати теплові й масообмінні процеси**, зменшити втрати маси продуктів під час теплового оброблення, більше зберегти вітаміни, мінеральні та екстрактивні речовини. За звичайних способів теплового оброблення продуктів теплота передається від їхньої поверхні до центральних шарів внаслідок теплопровідності, яка для більшості харчових продуктів дуже мала (про це відзначено при розгляді передачі теплоти теплопровідністю). Для нагрівання центральних шарів продукту до необхідної температури 70-80° С його поверхню нагрівають до 100° С (при варінні) або 250-300° С (при випіканні, смаженні). Тривалість передачі теплоти, неминує перегрівання поверхні продукту призводить до зниження вмісту в готових виробах ряду поживних речовин і вітамінів, перевитрати енергії. У змінному електромагнітному полі надвисокої частоти (НВЧ) нагрівання харчових продуктів може здійснюватися **одразу по всьому їхньому об'єму**. До основних особливостей НВЧ-нагрівання слід віднести: спроможність НВЧ-поля проникати в оброблюваний продукт на значну глибину, завдяки чому можна здійснити його об'ємне нагрівання незалежно від теплопровідності; високу швидкість нагрівання і **відсутність**

тривалого контакту продукту з теплоносієм; безінерційність процесу нагрівання; високий ККД перетворення енергії НВЧ-поля на теплоту, що виділяється в продукті. НВЧ-нагрівання відоме під різноманітними назвами, основу яких становлять його узагальнені ознаки. Так, часто цей вид нагрівання називають **діелектричним, оскільки використовують його для теплового оброблення діелектриків**, тобто матеріалів і продуктів, що не пропускають або погано пропускають електричний струм.

Назва "мікрохвильове нагрівання" підкреслює коротку довжину хвилі НВЧ-поля, рівну 10-10" м. Об'ємним це нагрівання називають тому, що при використанні НВЧ-поля прогрівання продукту відбувається по всьому об'єму (на відміну від поверхневого нагрівання). Процес утворення теплоти в продукті за допомогою струмів НВЧ заснований на законах електричного поля і принципі дії конденсатора. Основні параметри і закономірності теплоутворення найпростіше можна пояснити, ґрунтуючись на принципі дії **плоского конденсатора**.

При підключенні плоского конденсатора до полюсів джерела постійного струму його пластини заряджаються протилежними зарядами, і між ними утворюється гомогенне силове поле. Це силове поле буде діяти на виріб (продукт), поміщений між пластинами конденсатора. Передусім відзначимо, що практично всі харчові продукти і кулінарні вироби належать до діелектриків, у **яких електричні заряди під дією електричного поля не можуть переміщуватися, а лише зміщуються** відносно один одного або повертаються в просторі. **Зміщення зв'язаних зарядів під дією зовнішнього електричного поля називається поляризацією.** Розрізняють три основних види поляризації діелектриків: **дипольну, електронну та йонну.** Крім того, в харчових продуктах можуть мати місце макроструктурна і електролітична поляризації. Основну роль у процесі поглинання енергії поля при НВЧ-нагріванні харчових продуктів відіграє дипольна поляризація, бо в харчових продуктах у значній кількості міститься вода. В електричному полі на полярні молекули, що мають власний дипольний момент, діють сили, які орієнтують їх відповідно спрямуванню поля. Диполі розташовуються впорядковано, причому різнойменні заряди сусідніх диполів розміщуються поруч. Оскільки **поляризаційні заряди протилежні за знаком зарядам** пластин конденсатора, то електричне поле, створене поляризаційними зарядами, спрямоване назустріч полю, створеному зарядами пластин конденсатора. Тому в діелектрику електричне поле між пластинами **виявиться послабленим.** Величина, що показує, в скільки разів діелектрик послаблює напруженість поля, **називається електричною проникністю діелектрика ϵ .** Для всіх твердих непровідних матеріалів, у тому числі й харчових продуктів. **Дипольна поляризація викликає значні втрати енергії поля і, отже, нагрівання продукту.**

При **електронній** поляризації електронні оболонки атомів під впливом зовнішнього електричного поля **зміщуються відносно ядра.** При йонній поляризації відбувається **зміщення йонів з їхнього рівноважного** положення в кристалічній решітці. Макроструктурна поляризація припускає переміщення в межах окремих включень під дією зовнішнього електричного поля вільних електронів та йонів.

Електролітична поляризація пов'язана з явищем електролізу, зумовленим рухом дисоційованих йонів. Таким чином, момент сил, які впливають на атоми,

йони, молекули й макрочастки при поміщенні харчового продукту в зовнішнє електричне поле, становить:

$$M = M_d + M_{en} + M_{\dot{y}} + M_m + M_{el}, \quad (4.33)$$

де в правій частині рівняння наведені відповідно моменти сил, що виникають при дипольній, електронній, йонній, макроструктурній і електролітичній поляризаціях.

Якщо конденсатор з'єднати з джерелом змінного струму, між пластинами конденсатора утвориться змінне електричне поле. Відповідно до зміни електричного поля і полярності пластин диполі переорієнтовуються (повертаються на 180°).

Поляризація йде за зміною електричного поля із запізненням по фазі в результаті внутрішнього тертя матеріалу. Робота електричного поля, що витрачається на зміщення зарядів атомів і молекул, через наявність "міжмолекулярного тертя" перетворюється на теплоту. У результаті теплових ефектів температура продукту підвищується водночас у всьому об'ємі.

У виробничих умовах НВЧ- нагрівання використовують для сушіння матеріалів, теплових технологічних процесів (варення, смаження), розморожування харчової сировини й готової продукції, пастеризації і стерилізації виробів. Особливо ефективно застосування діелектричного нагрівання в процесах сушіння, бо в даному випадку у висушуваному матеріалі збігаються по спрямуванню потік теплоти і вологи, яку видаляють.

Суттєвість обробки харчових продуктів в електромагнітному полі полягає в тому, що електромагнітні хвилі від генератора випромінювання проникають у продукт на значну глибину і частково або повністю поглинаються в ньому. При цьому електромагнітна енергія перетворюється в теплоту, що викликає нагрівання продукту.

Мікрохвильові технології в аграрно-промисловому комплексі. Слід відзначити, що дослідження ефектів, що виникають під час дії електромагнітного поля, сягають середини ХХ століття. У 50-60-ті роки в США та в інших країнах Західної Європи з'явилися мікрохвильові печі для термічної обробки харчових продуктів, що дало поштовх дослідженням щодо застосування мікрохвильової енергії в сільському господарстві.

Програмою досліджень за проектом УНТЦ (Українського науково-технологічного центру), розпочатою в 2000 році, передбачено виконати комплекс робіт щодо вивчення впливу мікрохвильового поля за наступними напрямками:

1. Біостимуляція насіння польових культур мікрохвильовим полем.
2. Вплив мікрохвильового поля на фітопатогени збудників небезпечних хвороб насіння злакових і соняшнику та комах-шкідників хлібних запасів.
3. Вплив мікрохвильового поля на основні біохімічні і технологічні показники якості насіння.
4. Вплив мікрохвильового поля на технологічні властивості зерна пшениці.
5. Вивчення механізму впливу мікрохвильового поля на біологічні об'єкти.

На основі численних досліджень зроблені наступні висновки:

1. Біостимуляція насіння злакових, зернобобових, олійних, круп'яних культур за допомогою мікрохвильового поля - один із суттєвих факторів підвищення їх урожайності.

2. Кожна культура, сорт, гібрид мають свої сприятливі режими обробки насіння і реакції на дію мікрохвильової енергії. Як засвідчили польові дослідження, **найбільш чутливі на мікрохвильову енергію овочеві культури: їх урожай**, в порівнянні з контролем, підвищується до 450%. Далі йдуть зернобобові (до 51%), круп'яні (до 25%), олійні (до 21%) і злакові культури (від 3,3 до 32% і більше).

3. Позитивний ефект дії мікрохвильового поля на насіння злакових, олійних та інших культур зберігається **протягом 3...5 і більше місяців**, що дозволяє проводити передпосівну мікрохвильову обробку насіння задовго до посіву.

4. Мікрохвильове поле суттєво поліпшує посівні якості насіння практично всіх аграрних культур, що вирощуються в Україні. Під його дією схожість насіння, порівняно з вихідною, підвищується на 18% і більше. При цьому некондиційне насіння переходить у категорію кондиційного, що має важливе практичне значення, бо дозволяє зберігати без втрат насіннєві ресурси країни.

5. **Мікрохвильове поле згубно діє на фітопатогени-збудники** основних захворювань насіння злакових і соняшника, а також на складських комах, що відкриває перспективу безпестицидного обеззаражування насіння і змінює таким чином стратегію зерновиробництва країни.

6. Мікрохвильове поле стимулює **процеси біосинтезу в насінні і вирощуваннях із нього рослин**, що в кінцевому результаті позитивно впливає на кількісні та якісні показники врожаю.

7. Мікрохвильове поле **поліпшує технологічні та хлібопекарські властивості зерна** пшениці, що має важливе народногосподарське значення.

8. Проведені комплексні дослідження щодо вивчення впливу мікрохвильового поля на процеси біостимуляції насіння аграрних культур показали перспективність мікрохвильової технології як екологічно чистої, ефективною та економічною, сприяючої підвищенню врожайності практично всіх аграрних культур і значному поповненню продовольчих ресурсів країни. Для передпосівної біостимуляції і знезаражування насіння розроблена мікрохвильова установка **«Мікростим 1»: потужність магнетрона – 1500Вт; генерована частота – 2450МГц; кількість магнетронів – 2**

Багатофункціональна мікрохвильова фермерська установка КТ-3 може здійснювати функції: передпосівну обробку насіння практично всіх видів сільськогосподарських культур; холодну пастеризацію (обробку мікрохвильовим полем) фруктів, овочів, соків, м'ясних продуктів, що дозволяє збільшити строки зберігання без застосування холодильної техніки; дезінсекція сільськогосподарської продукції та її обеззаражування; сушіння сільськогосподарської продукції; обробка фруктів, овочів, картоплі під час закладання їх на довгострокове зберігання (збереження цибулі – 100%, картоплі – 93...95%).

Технічні характеристики мікрохвильової установки КТ-3

Продуктивність		1000кг/	
		год	
Споживана	потужність	від	до
мережі 220В, 50Гц			5кВт

Як засвідчили дослідні випробування, вміст нітратів зменшується в два- три рази, вміст цукру і каротину збільшується на 10...20%, проростання насіння прискорюється на 10...20% із збільшенням біоенергетики до 40% і дозрівання рослин на 8...12 днів раніше.

Джерелом променевої енергії є інфрачервоний випромінювач (ІЧ - випромінювач). При використанні ІЧ – нагріву створюються умови для прискорення термообробки, так як в цьому випадку хвилі, які створюються ІЧ – випромінювачами, проникають всередину продукту на деяку глибину, що дещо скорочує тривалість його теплової обробки. Використання ІЧ – нагріву в громадському харчуванні має значну перспективу, так як дає можливість інтенсифікувати процес теплової обробки кулінарних виробів, підвищити якість готової продукції, знизити питомі витрати електроенергії, не підвищувати температуру повітря в приміщенні.

Принципово новим способом теплової обробки продуктів є мікрохвильовий - обробка в електромагнітному полі надвисокої частоти (СВЧ). У цьому випадку відбувається не поверхневий нагрів продукту, а нагрів його по всьому об'єму. Крім цього, СВЧ – нагрів нагріває тільки харчові продукти, а посудина, повітря в робочій камері й сама камера не нагрівається. Приготування кулінарних виробів методом об'ємного прогрівання здійснюється у СВЧ – шафах без додавання води й жиру. При цьому температура поверхневих шарів нижча, ніж внутрішніх, внаслідок чого на поверхні продукту відсутній специфічний колір.

Основні переваги СВЧ – нагріву порівняно з традиційними способами – швидкість приготування їжі. Час приготування скорочується в 10р. і для більшості продуктів складає – 3-5 хв. При цьому значно покращуються смакові якості й зовнішній вигляд приготовлених страв.

СВЧ – нагрів дуже зручний для розігрівання швидкозаморожених продуктів, страв, причому цей процес протікає в 35-45 разів швидше, ніж при традиційному способі розігрівання.

У СВЧ-апаратах використовують посудину із скла, фарфору, кераміки та ін. Металевою посудиною користуватись не можна, так як метал виводить із експлуатації генератор СВЧ-поля.

До недоліків СВЧ-нагріву слід віднести високу собівартість апарата, можливість шкідливої дії СВЧ-поля на обслуговуючий персонал.

При СВЧ-нагріванні мікрохвилями являються електромагнітні хвилі високої частоти і короткої довжини, подібно радіохвилям і променям сонця.

Принцип нагрівання їжі з допомогою мікрохвиль докорінно відрізняється від звичайних способів нагрівання, наприклад на плиті, у духовці, грилі.

Теплова обробка продуктів у електромагнітному полі СВЧ.

СВЧ-нагрівання стало останнім часом одним з найбільш перспективних засобів термічної обробки харчових продуктів. Використання його дозволяє значно інтенсифікувати теплові та масообміни! процеси, зменшити втрати маси продуктів під час термічної обробки, більшою мірою зберегти вітаміни, мінеральні та екстрактивні речовини.

Під час звичайних способів теплової обробки продуктів теплота передається від їхньої поверхні до центральних шарів за рахунок теплопровідності, яка для більшості харчових продуктів дуже мала (про це відзначено під час розгляду

передавання теплоти теплопровідністю). Для нагрівання центральних шарів продукту до необхідної температури 70...80 °С його поверхню нагрівають до 100 °С (під час варки) або до 250...300 °С (під час випікання, смаження). Велика тривалість передачі теплоти і неминучий перегрів поверхні продукту призводять до зниження вмісту в готових виробах ряду поживних речовин та вітамінів, перевитраті енергії.

Мікрохвильові печі використовують для приготування їжі, розморожування і нагрівання харчових продуктів. Принцип дії мікрохвильової печі базується на перетворенні електроенергії в мікрохвильову енергію за допомогою магнітрона. У верхній частині камери мікрохвильової печі розташований магнітрон 1, в нижній частині на підставці 3, що обертається – продукт 2. В мікрохвильовій печі мікрохвилі передаються магнітроном, який являється передатчиком та поглинається харчовими продуктами.

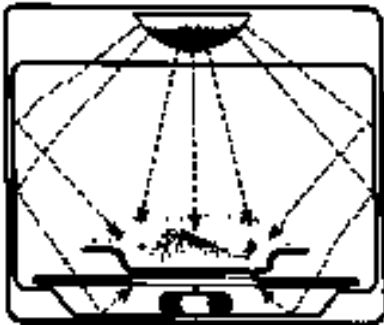


Рис. 1. СВЧ – нагрів в мікрохвильових печах

Мікрохвилі викликають коливання молекул води, що знаходяться в харчових продуктах. Внаслідок виникаючої при коливанні води сили тертя в продуктах виділяється теплота, що приводить до їх нагрівання і видалення вологи. Пара, що утворюється з води сприяє процесу приготування їжі. Якщо продукт готується під кришкою, то за рахунок теплоти в пару скорочується тривалість його приготування.

У змінному електромагнітному полі надвисокої частоти (СВЧ) нагріванню харчових продуктів може здійснюватися одразу по всьому об'єму. До основних особливостей СВЧ-нагрівання слід віднести: спроможність СВЧ-поля проникати в оброблюваний продукт на значну глибину, що дозволяє здійснити його об'ємне нагрівання незалежно від теплопровідності; високу швидкість нагрівання і відсутність контакту продукту з теплоносієм; безінерційність процесу нагрівання; високий ККД перетворення²⁰ енергії СВЧ-поля в теплоту, що виділяється в продукті.

СВЧ-нагрівання відоме під різноманітними назвами, основу яких складають його узагальнені ознаки. Так, часто цей вид нагрівання називають діелектричним, оскільки використовують його для теплової обробки діелектриків, тобто матеріалів і продуктів, що не пропускають або погано пропускають електричний струм. Назва "мікрохвильове нагрівання" підкреслює коротку довжину хвилі СВЧ-поля, рівну $10^{-3} \dots 10^{-1}$ м. Об'ємним це нагрівання називають тому, що під час використання СВЧ-поля прогрівання продукту відбувається по всьому об'єму (на відміну від поверхневого нагрівання).

Особливе значення при приготуванні їжі в мікрохвильовій печі має час витримки продукту, необхідний для забезпечення теплообміну в самому харчовому продукті.

Для приготування їжі в мікрохвильовій печі необхідна невелика кількість води, жиру та солі. При цьому в продукті зберігаються вітаміни і мінеральні

речовини, а також власний запах та колір продукту, не утворюються шкідливі обжарочні речовини. Мікрохвильові печі ідеальні для приготування дієтичної їжі.

Застосування гарячого повітря в мікрохвильових печах дозволяє готувати їжу при більш низькому температурному режимі (на $20...30\text{ }^{\circ}\text{C}$) та скоротити час приготування. Для цього на задній внутрішній стінці камери печі знаходиться нагрівача спіраль і вентилятор. Гаряче повітря вентилятором подається в камеру і рівномірно розподіляється по всьому об'єму камери мікрохвильової печі.

Особливо ефективно використання гарячого повітря для приготування виробів з печінки, **запіканок, кусків м'яса масою не більше 500г.**

Для приготування харчових продуктів в мікрохвильовій печі використовують термостійкий та вогнетривкий посуд, що витримує температуру до $250...300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це закалений скляний та скло керамічний, фарфоровий посуд без позолоченого орнаменту, посуд з термостійких пластмас, який не повинен деформуватися при нагріванні до 140°C , термостійкі пластикові плівки. Пергаментну бумагу добре використовувати при розморожуванні **хліба та булок.**

2. Нагрів і сушіння інфрачервоним опроміненням

Інфрачервоне нагрівання. Інфрачервоне нагрівання здійснюється за схемою "теплота - промінь - теплота". Тобто спочатку за рахунок нагрівання випромінювача в ньому генерується енергія, після чого вона передається у вигляді електромагнітних коливань через середовище (повітря, газ) до об'єкта нагрівання, в якому енергія електромагнітних коливань знову перетворюється на теплоту. Джерелами випромінювання (генераторами) інфрачервоної енергії є електричні лампи розжарювання, ртутні й кварцові лампи, напіввипромінюючі ТЕНи, СЕНи (селітові електронагрівачі), металеві й керамічні випромінювачі газових пальників та ін.

Однією з найважливіших характеристик генераторів ІЧ-енергії є довжина хвилі максимального випромінювання, тобто довжина хвилі, якій відповідає максимальна інтенсивність випромінювання. Вона залежить від температури і для абсолютно чорного тіла визначається за законом Віна.

Залежно від довжини хвилі максимального випромінювання, а отже, і температури нагрівання, випромінювачі умовно поділяють на "світлі" і "темні".

"Світлі" випромінювачі мають у своєму спектрі видне (світлове) випромінювання, це кварцові випромінювачі КИ-220-1000, лампи ЗС, СЕНи, газові мікрофакельні пальники та ін.

"Темні" випромінювачі - ТЕНи, конфорки мають температуру до 1000 K , у спектрі їхнього випромінювання відсутнє видиме випромінювання.

Як "світлі", так і "темні" випромінювачі застосовуються з відбивачами певної форми.

Промінистий теплообмін між тілами - складний процес. Як уже було сказано при розгляді променистого теплообміну, в цьому процесі відбуваються багатократні поглинання і відбивання променистої енергії, що поступово затухають.

Інфрачервоне проміння переборює шлях від джерела випромінювання до об'єкта опромінення в мільйонні частки секунди, не зустрічаючи опору примежового шару, що має місце при конвективному нагріванні, їхньою особливістю є здатність проникати на деяку глибину всередину матеріалу (залежно від його оптичних

характеристик - поглинальної, відбивальної і пропускної спроможності), а також впливати на його молекулярну структуру і на циркуляцію газу в порах. Інфрачервоне проміння інтенсифікує рух атомів і молекул поверхневих шарів продукту і він нагрівається.

Температура поверхні матеріалу й розташованих нижче шарів швидко зростає, причому максимальна температура спостерігається не на поверхні матеріалу, а на деякій його глибині (від часток до декількох мм), що пояснюється охолодженням поверхні навколишнім середовищем.

Глибина проникнення короткохвильових інфрачервоних променів у продукти різноманітна і залежить від властивостей, структури, характеру поверхні, вологовмісту продуктів, а також від довжини хвиль випромінювання ІЧ-генераторів.

ІЧ-випромінювання відрізняється від інших видів електромагнітних коливань частотою, довжиною хвилі та швидкістю її розповсюдження. Довжина хвилі ІЧ-випромінювання знаходиться в межах $7,7 \times 10^{-5} \dots 3,4 \times 10^{-2}$ см.

Джерелами випромінювання (генераторами) інфрачервоної енергії є головним чином температурні випромінювачі, в яких інфрачервоне проміння виникає в результаті спалювання газу, якогось іншого пального або під час нагрівання тіл. Крім того, джерелами випромінювання можуть бути електричні лампи розжарювання, ртутні та кварцові лампи, напіввипромінюючі ТЕНи, СЕНи (селітові електронагрівачі), металеві та керамічні випромінювачі газових пальників та ін.

Однією з найбільш важливих характеристик генераторів ІЧ-енергії є довжина хвилі максимального випромінювання шах, тобто довжина хвилі, якій відповідає максимальна інтенсивність випромінювання.

Залежно від довжини хвилі максимального випромінювання, а отже, і температури нагрівання випромінювачі поділяються умовно на "світлі" та "темні". "Світлі" випромінювачі мають у своєму спектрі видиме (світлове) випромінювання, їх $\lambda_{\max} = 0,77 \dots 2,6$ мкм. Це кварцові випромінювачі КИ-220-1000, лампи ЗС, СЕНи, газові мікрофакельні пальники та ін. "Темні" випромінювачі - ТЕНи, конфорки та ін, мають температуру до 1000 К,

$\lambda_{\max} = 2,6 \dots 4,0$ мкм, у спектрі їхнього випромінювання буде відсутнє видиме випромінювання. Як "світлі", так і "темні" випромінювачі застосовуються з відбивачами тієї або іншої форми.

Оптичні властивості продукту визначаються його властивостями та води, що в ньому знаходиться. При правильному виборі випромінювання та режиму опромінення забезпечується проникнення випромінювання в глибину матеріалу, що приводить до інтенсифікації процесів тепло масообміну. Проникність матеріалів для ІЧ-променів залежить від виду матеріалу (капілярно пористі чи колоїдні), їх структури, розмірів капілярів, характеру їх розподілення, від виду зв'язку вологи з матеріалом.

Капілярно-пористі матеріали поглинають енергії більше, ніж колоїдні. Це пов'язано з багаточисельними відображеннями теплових променів від стінок капілярів матеріалів.

Інфрачервоне проміння переборює шлях від джерела випромінювання до об'єкту опромінення в мільйонні частки секунди, не зустрічаючи опору пограничного шару, що має місце під час конвективного нагрівання. Його особливістю є здатність проникати на деяку глибину всередину матеріалу (залежно

від його оптичних характеристик - поглинальної, відбивальної та пропускаючої спроможності), а також впливати на його молекулярну структуру та на циркуляцію газу в порах. Інфрачервоне проміння інтенсифікує рух атомів і молекул поверхневих шарів продукту, і він нагрівається. Температура поверхні матеріалу і розташованих нижче шарів швидко росте, причому максимальна температура спостерігається не на поверхні матеріалу, а на деякій його глибині (від часток до декількох мм), що пояснюється охолодженням поверхні навколишнім середовищем.

Глибина проникнення короткохвильових інфрачервоних променів у продукти має значний діапазон і залежить від властивостей, структури, характеру поверхні, вологовмісту продуктів, а також від довжини хвиль випромінювання ІЧ-генераторів. За даними деяких авторів, глибина проникнення для ряду продуктів, що мають значну поглинальну спроможність, рівну $A = 0,7...0,9$ (наприклад, м'ясо, тісто, хліб, картопля та ін.), може досягати 18...20 мм..

Сприятливим фактором для ІЧ-обробки харчових продуктів є наявність довжин хвиль поблизу 1 мкм у спектрі генератора випромінювання, і високого вологовмісту вихідного продукту (при $\lambda = 0,75...2,5$ мкм вода інтенсивно поглинає ІЧ-випромінювання). На поверхні випромінюваного продукту досягається значна густина променевого потоку, що призводить до утворення на ньому специфічної кірочки відповідного кольору.

Основна частина енергії поглинається поверхневим прошарком продукту, а всередині поглинається тільки незначна частина енергії, що складає на глибині 1...2 мм тільки 5..20% енергії опромінення. Так, при ІЧ-нагріві прошарок борошна не повинен перевищувати 10 мм, фруктів та овочів 10-15 мм.

Якщо продукт може витримувати нагрів до високих температур, то при проникаючому опроміненні слід застосовувати високотемпературні джерела випромінювання. При цьому помітно інтенсифікується процес нагрівання без безпеки перегріву продукту.

Комбіновані методи електроп теплової обробки продуктів - це послідовне й паралельне нагрівання виробів декількома з викладених вище способів з метою скорочення часу оброблення, підвищення якості кінцевого продукту і ефективності технологічного процесу.

При виборі комбінованих способів теплового оброблення треба:

- проаналізувати традиційний (базовий) спосіб з метою виявлення його переваг і недоліків;
- сформулювати основні технологічні вимоги до даного процесу з урахуванням фізико-хімічних змін, що відбуваються в продукті, температури оброблення, рівномірності обігрівання тощо;
- підібрати способи теплового оброблення, що усунуть ті або інші недоліки традиційного;
- здійснити синтез різноманітних комбінованих способів теплового оброблення з метою виявлення найбільш оптимального варіанту.

На базі поверхневого, НВЧ- і ІЧ-нагрівання можливі такі комбіновані способи теплового оброблення харчових продуктів: радіаційно-конвективне нагрівання (РК-нагрівання); НВЧ-парове нагрівання; НВЧ-нагрівання - гаряче повітря; паро - ІЧ-нагрівання; НВЧ-нагрівання - ІЧ-нагрівання; ІЧ-нагрівання - НВЧ-нагрівання.

ІЧ-нагрівання може бути використане не тільки як основний енергоносіє, але і в комбінаціях з іншими засобами енергопідведення, наприклад у комбінації з

конвективним і СВЧ-нагріванням. Для таких високотемпературних процесів, як випікання печива і хліба, сушіння сухарів, смаження зерен кави і бобів какао, коптіння риби та ін., застосування ІЧ-випромінювання дає значний ефект.

В комбінованих мікрохвильових печах гриль розташовується в верхній частині камер, що полегшують і дозволяє смажити, наприклад, курку на вертелі, без обертання. Однак, наприклад, при смаженні філе з яловичини, його необхідно перевернути, щоб воно прожарилося з обох сторін. Якщо мікрохвильова піч оснащена грилем і подачею гарячого повітря, то їжу можна пекти, смажити і готувати в режимі гриль. При цьому отримують рум'яну хрустку кірочку, які неможливо отримати в звичайній мікрохвильовій печі.

В одних мікрохвильових печах можна одночасно використовувати мікрохвилі і гриль, в інших мікрохвилі і гриль використовують по чергово.

При комбінованому режимі мікрохвилі плюс гриль готують крупні куски м'яса, рибу та запіканки. М'які куски краще готувати в режимі гриль, так як при накладанні мікрохвиль продукти будуть швидко готові, але не зажаряться.

Потужність мікрохвиль в такому комбінованому режимі повинна складати 180...450 Вт.

3. Застосування ультрафіолета в тваринництві

Ультрафіолетове опромінювання — використовується з лікувальною метою і для знезараження води, приміщень. Ультрафіолетове опромінювання худоби застосовують для профілактики та лікування рахіту й остеомаліції, лікування ран, підвищення імунологічної реакції організму. Сільськогосподарська худоба при моціоні опромінюється ультрафіолетовим промінням сонця. В зимово-стійловий період проводять групове опромінювання тварин штучними джерелами — бактерицидна, ртутно-кварцова, еритемно-увіолева лампи. Для кожного виду тварин **існують власні норми опромінювання**, наприклад доза опромінювання (в/мер х год/м²) для корови 290–210, свині 100–70, курки 25–20. Птахів при розведенні у клітках опромінюють цілодобово. Великих тварин опромінюють у фіксаційних верстатах, на прив'язі; телят, лоша́т — у клітках; хутрових звірів і поросят — у спеціальних ящиках з сітками. Джерело ультрафіолетового опромінювання встановлюють на різній відстані — залежно від виду лампи, характеру хвороби, виду тварин. Протипоказане при туберкульозі, лейкозі, гострому гепатиті, декомпенсованих вадах серця.

Очищення та знезараження тваринницьких ферм

Створення мікроклімату тваринницьких ферм є одним із основних завдань рентабельного виробництва тваринницької продукції.

Насамперед це стосується температури та вологості повітря в приміщенні, а також забруднення хімічного та біологічного походження (аміак, вуглекислий газ, сірководень, інфекції, бактерії, грибки, тощо), які утворюються в результаті технологічного процесу та потрапляють у повітря у вигляді пилу, газів або пари і діють негативно на організм тварин та обслуговуючого персоналу.

Основним методом забезпечення рекомендованої чистоти повітря на фермах сьогодні є активна вентиляція приміщень. Але при цьому виникає ряд інших проблем: значні витрати електроенергії на вентиляцію, в опалювальний період із вентиляційними викидами втрачаються мегавати теплої енергії, через значні об'єми вентиляційного повітря підтримувати температуру в приміщенні стає занадто дорого, а шкідливі викиди забруднюють довкілля. Саме з цієї причини значна

кількість ферм не має регульованого мікроклімату та обходиться без опалення, корми витрачаються не на продуктивність та приріст живої маси тварин, а на обігрів приміщення. Як наслідок — різке зниження рентабельності ферми в холодний період року.

Нині ми маємо можливість значно покращити ситуацію шляхом очищення повітря від шкідливих домішок у приміщенні із застосуванням ультрафіолетових бактерицидних (УФБ) рециркуляторів. Основою рециркуляторів є люмінесцентні УФБ лампи низького тиску, які давно відомі здатністю ефективно знищувати патогенну мікрофлору та широко використовуються в закладах охорони здоров'я, громадських будівлях із великим скупченням людей (дитячі садки, школи, магазини, офіси), виробничих приміщеннях, у системах для очищення води тощо. Внаслідок УФ випромінювання частотою від 280 до 315 нм відбувається пошкодження ДНК клітинного ядра мікроорганізму, що призводить до загибелі клітини. А в разі УФ випромінювання частотою 185 нм утворюється озон, який також має бактерицидну й знезаражувальну дію. Більш чутливі до впливу УФБ випромінювання віруси і бактерії (палички, коки), менш чутливі — гриби та найпростіші мікроорганізми. Внаслідок застосування УФБ опромінювання забезпечується знезараження поверхонь і повітря до 99,9%.

! Рециркулятор РПБ-1,0–6/30 забезпечує очищення та знезараження 1 тис. м³ повітря за годину та має бактерицидну ефективність УФ випромінювання не менше 90%, може використовуватись у тваринницьких та інших виробничих і побутових умовах.

Рисунок 2. Ультрафіолетовий бактерицидний (УФБ) рециркулятор повітря тваринницьких та інших виробничих приміщень



У Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» (ННЦ «ІМЕСГ») спільно із ТОВ «Турбовентус» розроблено УФБ рециркулятор повітря РПБ-1,0–6/30 (рис. 1). Рециркулятор РПБ-1,0–6/30 забезпечує очищення та знезараження 1 тис. м³ повітря за годину та має бактерицидну ефективність УФ випромінювання не менше 90% (табл. 1), використовується у тваринницьких та інших виробничих і побутових умовах. Рециркулятор може працювати в ручному режимі (вмикається за необхідності), циклічному (вмикається таймером із заданими інтервалами часу) та автоматичному (вмикається у разі перевищення концентрації шкідливих газів вище заданих значень).

УФБ рециркулятор працює наступним чином: забруднений потік повітря із приміщення надходить у камеру, де опромінюється УФБ лампами та знезаражується

озоном. Така обробка призводить до загибелі інфекцій та бактерій. У результаті знешкоджуються спори грибків, різко знижується концентрація хімічно активних сполук (аміаку, сірководню, вуглекислого газу, метану, тощо), які розкладаються на неагресивні компоненти (кисень, вода, азот тощо). Залишки озону надходять у приміщення, а тому очищення та знезараження повітря відбувається і поза межами рециркулятора. Внаслідок зменшення шкідливих домішок та патогенної мікрофлори вентиляцію приміщення в холодний період року можна суттєво скоротити, при цьому запобігти втратам теплової енергії.

Таблиця 1. Технічні характеристики рециркулятора РПБ 1,0–6/30-oz

Найменування	Значення
Продуктивність, м³/год	1000
Джерело УФ випромінювання – бактерицидні лампи, шт.	6
Тип УФБ ламп	T8/G13
Термін служби УФБ ламп, год.	9000
Сумарний бактерицидний потік, Вт	60
Бактерицидна ефективність знезараження повітря, %	90
Напруга живлення мережі, В	220–240
Встановлена потужність, Вт	250
Частота електричної мережі, Гц	50
Габаритні розміри, мм	1300×400×450
Маса, кг, не більше	20

УФБ рециркулятор працює наступним чином: забруднений потік повітря із приміщення надходить у камеру, де опромінюється УФБ лампами та знезаражується озоном. Така обробка призводить до загибелі інфекцій та бактерій. У результаті знешкоджуються спори грибків, різко знижується концентрація хімічно активних сполук (аміаку, сірководню, вуглекислого газу, метану, тощо), які розкладаються на неагресивні компоненти (кисень, вода, азот тощо). Залишки озону надходять у приміщення, а тому очищення та знезараження повітря відбувається і поза межами рециркулятора. Внаслідок зменшення шкідливих домішок та патогенної мікрофлори вентиляцію приміщення в холодний період року можна суттєво скоротити, при цьому запобігти втратам теплової енергії.

Так, наприклад, під час застосування УФБ рециркулятора повітря в приміщенні кролеферми у смт Чорнобай впродовж 30 хвилин концентрація аміаку в зонах розташування кролів та людей зменшилась на 30–55% (табл. 2). За рахунок очищення повітря, очікуване скорочення витрат енергоресурсів на опалення становить 80% (рис. 2).

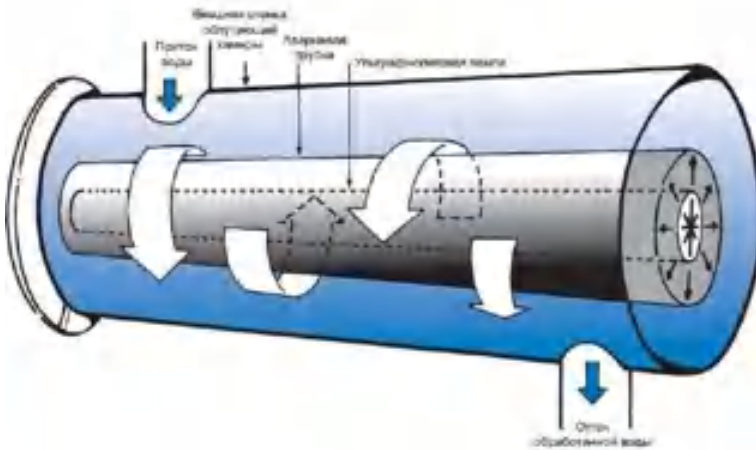
Таблиця 2. Концентрація аміаку в приміщенні кролеферми під час застосування УФБ рециркулятора повітря

№	До обробки (контроль), мг/м³	Після обробки, мг/м³	Скорочення концентрації аміаку, %
1	6	4	33,3
2	5	3	40,0
3	6	3	50,0
4	9	4	55,6
5	12	6	50,0
6	7	4	42,9
7	9	6	33,3
8	7	4	42,9
Середнє значення	7,7	4,27	44,8

- у всіх сферах промисловості і виробництва.

Використання ультрафіолету при промисловій водопідготовці - економічно вигідний, практичний і безпечний для здоров'я людей метод. Знищуючи патогенні мікроорганізми і бактерії, ультрафіолетова лампа для очищення води не вносить в оброблюване середовище ніяких домішок.

Принцип функціонування систем ультрафіолетової очистки



Принцип роботи промислових систем водоочистки ультрафіолетом полягає в здатності УФ-випромінювання проникати через стінки клітин мікроорганізмів і порушувати функціонування клітин ДНК. Нуклеїнові кислоти РНК і ДНК відповідають за нормальне функціонування і розмноження клітин мікроорганізмів. При промисловому очищенні води ультрафіолетом ці клітини поглинають УФ-промені. Це призводить до втрати здатності ділитися, а в подальшому стає причиною стерилізації мікроорганізмів.

Сфери застосування ультрафіолетових ламп для води:

- промислові ультрафіолетові фільтри встановлюються в системах господарського і загального водопостачання;
- ультрафіолет широко застосовується при очищенні води для виробництва хімічної, фармацевтичної та харчової продукції;
- для знезараження стічних вод;
- промислові ультрафіолетові лампи для води використовуються у ветеринарії, при вирощуванні птахів і в тваринництві;
- бактерицидне очищення води для виробництва за допомогою ультрафіолету проводиться в резервуарах з застоюною водою: басейнах, акваріумах і на фермах з розведення риб.

Переваги ультрафіолетових ламп для очищення води



Популярність застосування ультрафіолетових ламп для очищення води на виробництві пояснюється рядом переваг такої технології:

- при знезараженні зберігається фізико-хімічний склад води;
- після ультрафіолетових промислових фільтрів для води в очищеному середовищі відсутні вторинні продукти обробки;
- УФ-випромінювання нейтралізує як спороутворюючі, так і вегетативні бактерії;
- промислові системи водопідготовки ультрафіолетом - універсальне, ефективне й економічно вигідне рішення;
- швидкістю процесу очищення і відсутністю обмеження верхньої межі дози опромінення;
- простотою використання, обслуговування та компактністю - промислові системи очищення води ультрафіолетом і установки зворотного осмосу легко встановлюються в уже існуючі схеми систем водоочистки та водопостачання;
- відсутністю необхідності створювати систему безпеки і запасатися реагентами;
- при установці промислових фільтрів для очищення води ультрафіолетом на вже побудованих очисних спорудах не потрібно проводити реконструкцію приміщень або здійснювати масштабні будівельні роботи.

Недоліки технології

Як і будь-яке інше обладнання для дезінфекції рідин, промислові фільтри для очищення води ультрафіолетом мають і низку недоліків:

- зниження ефективності знезараження рідин з різними домішками, кольорової або каламутної води;
- в процесі експлуатації промислових фільтрів для води потрібно регулярне чищення ламп від вапняного нальоту і осаду;
- при порушенні технології знезараження промисловими системами зворотного осмосу або при транспортуванні по зношених комунікаціях вода може знову насичуватися бактеріями.

Потрібно також враховувати, що промислові ультрафіолетові фільтри для води не очищають рідини від хімікатів, свинцю, азбесту, білкових фрагментів мікробів, клітинних стінок грибів і бактерій.

Тема 13. Низькоенергетичні лазерні електротехнології в АПК

План

1. Класифікація і конструкція лазерів.
2. Реакції біологічного об'єкта на зовнішній лазерний вплив
3. Лазерні технології в рослинництві і тваринництві.

1. Класифікація і конструкція лазерів.

Принцип дії лазерних (світлопроменевих) установок базується на використанні тепла, яке генерується у сфокусованому світловому промені, характерними ознаками якого є висока монохромність (надзвичайно вузький інтервал хвиль) та когерентність (фаза і амплітуда електромагнітних коливань однакові або різниця між ними стала). Завдяки високому ступеню когерентності і монохромності вдається забезпечувати збереження вихідних розмірів перерізу світлового променя на значній відстані від джерела (кут розсіювання не перевищує одного градуса).

Завдяки цьому вузький світловий пучок характеризується високою густиною потужності, яка може сягати $10^7 - 10^{12}$ Вт/см². У точці фокусування

лазерного променя на поверхні виробу відбувається перетворення світлової енергії в теплову і, як наслідок, інтенсивна теплова дія в зоні обробки, яка зумовлює такі явища, як миттєве розплавлення, випаровування, руйнування часток матеріалу виробу або зміну його структури.

Головною складовою частиною лазерних установок є оптичний квантовий генератор (ОКГ) - лазер. Залежно від робочої речовини, в якій проходять процеси, що зумовлюють виникнення когерентного світлового променя, ОКГ поділяються на твердотільні, газові, рідинні, напівпровідникові.

На практиці для електрофізичної обробки матеріалів найбільш широке використання отримали твердотільні та газові ОКГ.

Твердотільні. У таких ОКГ в якості робочої речовини використовують тверді тіла (синтетичний рубін, ітрій-алюмінієвий гранат, неодимове скло тощо).

Спрощена схема твердотільного ОКГ наведена на рис. 10.7.

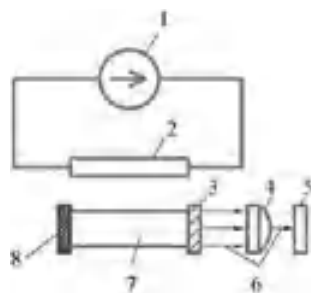


Рис. 1. Схема твердотільного лазера:

1-джерело живлення; 2-ксеонова лампа; 3-напівпрозора пластина; 4-оптичний пристрій; 5-виріб; 6-світловий промінь; 7-активне тіло; 8-прозора пластина

Активне тіло 7, що має форму циліндричного стрижня, має наступну властивість. Енергія відносного руху заряджених частин матеріалу, із якого він виготовлений (наприклад, синтетичний рубін), може набувати суворо визначених значень, які називають рівнями енергії. Головним є рівень з мінімальною енергією заряджених частин. Якщо зарядженій частині, наприклад, атому, що перебуває на основному рівні, надати додаткової енергії, то атом стрибкоподібно перейде на більш високий рівень, що відповідає збудженому стану атома. Таку додаткову енергію (енергію «накачування») заряджені частини активного тіла отримують від імпульсної ксеонової лампи 2, яка спалахує кожний раз при подачі на неї імпульсного сигналу від джерела живлення 1. Під дією фотонів світла від лампи атоми активного тіла переходять на більш високі рівні. З торців активного тіла розміщені дві пластини. Пластина 8 є непрозорою (коефіцієнт відбивання близький до одиниці), а пластина 3 є

напівпрозорою (коефіцієнт відбивання близький до 0,5). При переході атомів із збудженого стану на головний рівень відбувається випромінювання порції енергії у вигляді кванта світла. Незначна частина цієї енергії розсіюється через стінки активного тіла, а більша частина з допомогою спеціальних пристроїв, що не показані на спрощеній схемі, спрямовується вздовж осі активного тіла і на шляху свого руху спричиняє ланцюгову реакцію створення нових фотонів. Світловий потік усередині активного тіла багаторазово відбивається від пластин 3 і 8, кожного разу збільшуючи свою потужність, і у вигляді потужного світлового променя 6 виходить через напівпрозору пластину 3 назовні. Світловий промінь 6 фокусується з допомогою оптичного пристрою 4 на поверхні виробу 5.

Газові. У таких ОКГ функцію робочої речовини виконує один газ (неон, аргон, криптон, ксеон), суміші газів (гелію з неоном, вуглекислого газу з домішками азоту і гелію) або суміш газу з парами металу.

Структурна схема газового ОКГ на основі вуглекислого газу наведена на рис. 10.8.

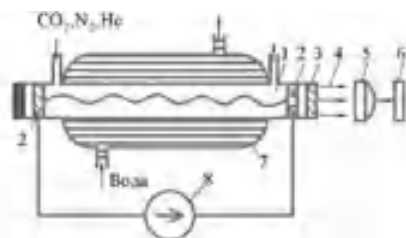


Рис. 2. Схема газового лазера:

1-скляна колба; 2-електроди; 3-пластина; 4-світловий промінь; 5-оптичний пристрій; 6-виріб; 7-корпус; 8-джерело живлення

У скляній колбі 1, по якій прокачується суміш газів (вуглекислого газу CO_2 , азоту N_2 і гелію He), розміщуються електроди 2, що підключені до високовольтного джерела живлення 8. Під час виникнення електричного розряду між електродами відбувається збудження молекул газів. Когерентне

випромінювання з довжиною хвилі 10,6 мкм виходить через пластину 3, що виготовлена із матеріалу, який пропускає інфрачервоні промені (наприклад, із кристалів KBr, NaCl або германію). Для охолодження скляної колби її розміщують у корпусі 7, по якому циркулює охолоджувальна рідина, наприклад вода.

Рідинні. У рідинних ОКГ функцію робочої речовини виконують розчини неорганічних сполук рідкоземельних елементів або органічних барвників.

Напівпровідникові. У таких ОКГ когерентне випромінювання виникає в р-п переході кожного разу в моменти подачі імпульсів напруги на напівпровідниковий пристрій. До переваг таких ОКГ відносять малі геометричні розміри та простоту конструкції.

Перевагами лазерних електротехнологічних установок є:

- забезпечення високої концентрації енергії, що підводиться, та локальність її дії. Такі властивості забезпечують виконувати обробку лише локальної ділянки виробу, площа якої може вимірюватися частками квадратного міліметра, без нагрівання інших ділянок і порушення структури і властивостей матеріалу виробу. Висока концентрація енергії дозволяє також виконувати нагрівання і охолодження певного об'єму матеріалу з дуже високими швидкостями і малим часом дії;
- висока технологічність лазерного променя, що зумовлена можливістю простого регулювання параметрів обробки в широкому інтервалі режимів;
- легкість автоматизації процесів обробки і можливість швидкого переналагодження;
- відсутність поняття «зношення інструмента», оскільки функцію інструмента виконує лазерний промінь;
 - висока швидкість різання;
 - висока якість розрізу та мала його ширина;
- можливість обробки в середовищі повітря без використання спеціальних рідинних або газових середовищ;
 - відсутність механічної дії на виріб.

Недоліками лазерних електротехнологічних установок є:

- обмеження за глибиною обробки;
- низький коефіцієнт корисної дії (для твердотільних - 1,5%; для газових - 10-20%);
- складність стабілізації параметрів випромінювання;
- створення напливу розтопленої фази на поверхні деталі, який зменшує точність і якість отворів або щілин;
- осідання виділених продуктів світлової ерозії на поверхнях, які межують із зоною обробки

Технологічні процеси лазерної електрофізичної обробки матеріалів.

Лазерні технології отримали досить широке розповсюдження в різних процесах електрофізичної обробки матеріалів. Розглянемо особливості застосування лазерної обробки на прикладі різання матеріалів

Різання металів. Одним із найбільш поширених технологічних процесів лазерної обробки в промисловості є різання сталей товщиною до 6 мм

по суцільному контуру. З використанням такої операції вирізають панелі, кронштейни, прокладки, декоративні решітки, дискові пили тощо. Останнім часом широко впроваджується різання просторових виробів з використанням роботів і маніпуляторів із застосуванням гнучких оптоелектронних струмопроводів, по яких лазерне випромінювання передається в зону обробки.

Обладнання (установка, верстат) для лазерного різання (рис. 10.9) зазвичай складається з: випромінювача; системи формування і транспортування випромінювання і газу; координатного пристрою автоматизованої системи управління (АСУ).

Випромінювач генерує лазерне випромінювання з необхідними для різання оптичними, енергетичними і просторово-часовими параметрами. До його складу входять: елементи системи накачування; активне середовище; дзеркала резонатори і, при необхідності, пристрій модуляції випромінювання.

В якості випромінювача зазвичай використовуються газові (CO_2) і твердотільні лазери, здатні працювати як в імпульсному, так і в безперервному режимах.

Система формування і транспортування випромінювання і газу призначена для передавання лазерного пучка від випромінювача до оброблюваної деталі, а також для формування необхідних параметрів газу, що надходить в зону різання через сопло. До складу цієї системи входять:

юстирований лазер; оптичний затвор; оптичні трансформатори (об'єктиви); поворотні дзеркала; пристрій обертання площини поляризації; система фокусації; система стабілізації положення фокальної площини і зазору; система подачі газу; сопло.

Випромінювач генерує лазерне випромінювання з необхідними для різання оптичними, енергетичними і просторово-часовими параметрами. До його складу входять: елементи системи накачування; активне середовище; дзеркала резонатори і, при необхідності, пристрій модуляції випромінювання.

В якості випромінювача зазвичай використовуються газові (CO_2) і твердотільні лазери, здатні працювати як в імпульсному, так і в безперервному режимах.

Система формування і транспортування випромінювання і газу призначена для передавання лазерного пучка від випромінювача до оброблюваної деталі, а також для формування необхідних параметрів газу, що надходить в зону різання через сопло. До складу цієї системи входять:

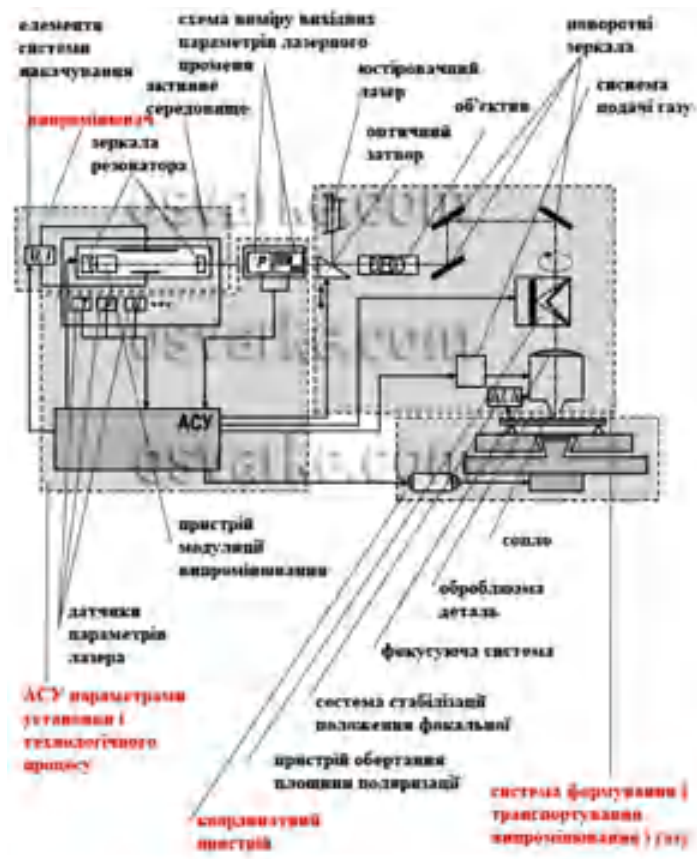


Рис. 3. Структурна схема установки для лазерного різання

юстрований лазер; оптичний затвор; оптичні трансформатори (об'єктиви); поворотні дзеркала; пристрій обертання площини поляризації; система фокусації; система стабілізації положення фокальної площини і зазору; система подачі газу; сопло.

З допомогою координатного пристрою виконується відносно переміщення лазерного променя і деталі в просторі. Такий пристрій містить двигуни, повний привод, виконавчі механізми.

АСУ призначена для контролю і управління параметрами лазера, передачі команд на виконавчі модулі координатного пристрою та системи формування і транспортування випромінювання і газу.

До складу АСУ входять: підсистема датчиків параметрів лазера (температури, тиску, складу робочої суміші та ін.); підсистема датчиків параметрів випромінювання (випромінювання, потужності, стабільності осі діаграми спрямованості та ін.); підсистема управління затвором; підсистема управління адаптивною оптикою; підсистема управління координатним пристроєм.

Способи передачі лазерного випромінювання в зону обробки умовно поділяють на дві групи:

З постійною довжиною оптичного тракту від випромінювача лазерної установки до зони різання. При даному способі можуть переміщатися випромінювач, або оброблюваний виріб, або випромінювач і виріб одночасно, або можуть обертатися оптичні елементи.

Зі змінною довжиною оптичного тракту від випромінювача до зони різання. В цьому випадку сам випромінювач нерухомий, а передача випромінювання в зону різання здійснюється за допомогою рухомої системи оптичних елементів. Також може бути передбачено переміщення порівняно невеликих заготовок.

Лазерні різачи. Найпростіший пристрій лазерного різача показано на

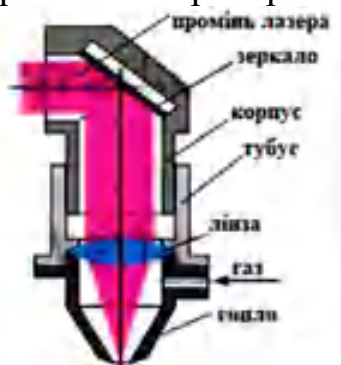


рис.4 Для подачі газу в зону

різання між лінзою і заготовкою розміщене сопло у вигляді усіченого конуса. Газ, що виходить під тиском із сопла по лазерному пучку, крім технологічних функцій забезпечує захист лінзи від продуктів лазерної обробки.

Поверхню лінзи різачу, повернену до оброблюваного виробу, також захищають за допомогою екрануючих діафрагм, прозорих обертових і нерухомих екранів, у вигляді металевих дисків з вікнами, що обертаються на шляху проходження лазерного випромінювання, магнітних і електророзрядних пристроїв.

Рис. 4 Пристрій лазерного Випромінювач генерує лазерне випромінювання з необхідними для різання оптичними, енергетичними і просторово-часовими параметрами. До його складу входять: елементи системи накачування; активне середовище; дзеркала резонатори і, при необхідності, пристрій модуляції випромінювання.

В якості випромінювача зазвичай використовуються газові (CO_2) і твердотільні лазери, здатні працювати як в імпульсному, так і в безперервному режимах.

Система формування і транспортування випромінювання і газу призначена для передавання лазерного пучка від випромінювача до оброблюваної деталі, а також для формування необхідних параметрів газу, що надходить в зону різання через сопло. До складу цієї системи входять:

юстирований лазер; оптичний затвор; оптичні трансформатори (об'єктиви); поворотні дзеркала; пристрій обертання площини поляризації; система фокусації; система стабілізації положення фокальної площини і зазору; система подачі газу; сопло. різача

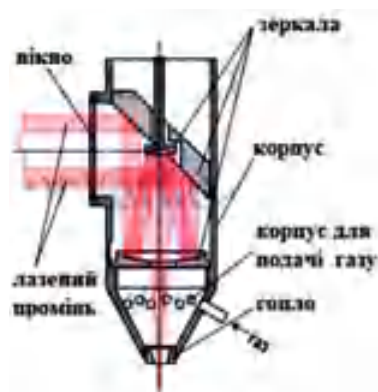
Випромінювач генерує лазерне випромінювання з необхідними для різання оптичними, енергетичними і просторово-часовими параметрами. До його складу входять: елементи системи накачування; активне середовище; дзеркала резонатори і, при необхідності, пристрій модуляції випромінювання.

В якості випромінювача зазвичай використовуються газові (CO_2) і твердотільні лазери, здатні працювати як в імпульсному, так і в безперервному режимах.

Система формування і транспортування випромінювання і газу призначена для передавання лазерного пучка від випромінювача до оброблюваної деталі, а також для формування необхідних параметрів газу, що надходить в зону різання через сопло. До складу цієї системи входять:

юстирований лазер; оптичний затвор; оптичні трансформатори (об'єктиви); поворотні дзеркала; пристрій обертання площини поляризації; система фокусації; система стабілізації положення фокальної площини і зазору; система подачі газу; сопло.

Для забезпечення тривалого терміну служби фокусуємих елементів потужних (понад 3кВт) установок доцільним є застосування металооптики. На рисунку наведена конструкція різача з металевими дзеркалами, які фокусують випромінювання, що виходить з нестійкого резонатора.



Кільцевий лазерний пучок входить в різак через плоске вікно, що є прозорим для даної хвилі випромінювання. Відбиваючись від дзеркал, проходячи через сопло, пучок фокусується на оброблюваній заготовці. Допоміжний газ під тиском подається всередину через отвори, охолоджуючи при цьому дзеркальні поверхні.

Різак може мати оптичну систему, що стежить за взаємним положенням об'єктиву і заготовки.

Рисунок 5 Лазерний різак з металооптикою

На практиці також ефективно використовують лазерні установки для розрізання досок, фанери, деревостружкової плити товщиною до 40 мм по контуру будь-якої складності, органічного скла товщиною до 50 мм, фторопласта товщиною до 30 мм, поліетилену, склотекстоліту, гетинаксу, полівінілхлориду, картону, азбоцементу, шкіри, кераміки тощо.

2. Реакції біологічного об'єкта на зовнішній лазерний вплив

Розповсюдження світла в багатошарових тканинах

Вплив лазерного випромінювання на біологічний матеріал або реакція живої тканини на це випромінювання, обумовлено взаємодією фотонів і молекул або

з'єднань молекул тканини. Атомарні і молекулярні процеси і наступні біологічні реакції виявлені ще не цілком. Відомі процеси можуть бути підрозділені на фотохімічну взаємодію, термічну взаємодію і нелінійні процеси.

Ступінь того або іншого впливу залежить:

а) від властивостей лазерного випромінювання (довжина хвилі, густина енергії, тривалість опромінення і частота повторення);

б) від властивостей біологічного матеріалу (коефіцієнт поглинання, коефіцієнт розсіювання, густина і т.д.).

У залежності від довжини хвилі, густоти енергії і часу впливу лазерного випромінювання ефект визначається в основному двома внутрішніми параметрами тканини: з одного боку, оптичними властивостями тканини, що опромінюється і, з іншого боку, її термічними властивостями.

При попаданні лазерного променя на тканину можуть спостерігатися три процеси: відбиття, поглинання і/або пропускання - тільки незначний відсоток випромінювання відбивається безпосередньо від поверхні (рис.2.5).

Промені, що проникають в тканину промені частково поглинаються, частково розсіюються і частково пропускаються (рис. 6).

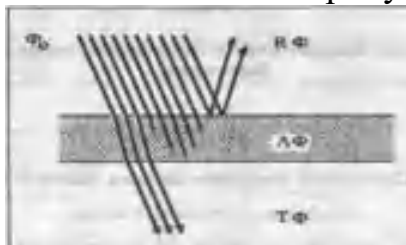


Рисунок 6 - Оптичні властивості прошарку матерії. Падаючий променевий потік розділяється на три частини: відбита частина R_f , поглинена частина A_f і пропущена частина T_f : $R_f + A_f + T_f = 1$



Рисунок 7 - Оптичні властивості лазерного променя на шкірі (відповідно до 10 мкм), розсіюються клітинними структурами лише в незначному ступені.

Але тому що електромагнітний спектр широко використовуваних лазерів простягається від ІЧ (1 мм-0,78 мкм) до УФ (0,38-0,10 мкм) діапазону довжин хвиль, ми практично завжди маємо справу з розсіюванням. Глибину проникнення для довжини хвиль більше 1,0 мкм можна розрахувати на основі закону Ламберта-Бера в першому наближенні $\propto$ залежності від довжини хвилі випромінювання, що падає відбивається до 60% випромінювання. Розсіювання залежить від неомогенних

структур тканини і визначається різними показниками заломлення в різних шарах і різницею між шарами і навколишнім їхнім середовищем. Хвилі з довжиною набагато більшою, ніж діаметр шару (

Інтенсивність I випромінювання, що пройшло через прошарок товщиною d визначається співвідношенням:

$$I = I_0 e^{-\alpha d},$$

де I_0 для коефіцієнта поглинання дійсне таке співвідношення: λ - коефіцієнт поглинання. При застосуванні монохроматичного випромінювання довжиною хвилі α - інтенсивність при вході в речовину і

$$\alpha = 4\pi nk/\lambda D,,$$

причому показники переломлення n і поглинання k є константами для даного середовища. Співвідношення Ламберта-Бера справедливе в тому випадку, коли поглинання набагато перевищує розсіювання .

Найкращим чином співвідношення поглинання і розсіювання описано в теорії Кубелки-Мунка . Рівняння, що описує поширення випромінювання в середовищах з врахуванням поглинання і розсіювання має вигляд:

$$dL_c(r,z)/dz = -\gamma L_c(r,z),$$

- коефіцієнт ослаблення (сума коефіцієнтів розсіювання [муде $L_c(r,z)$ - щільність потужності випромінювання [Вт/м²] колімованого променя в місці r (вектор місця) у напрямку z , ⁻¹] і поглинання [м⁻¹]).

Розсіювання в біологічній тканині залежить від довжини хвилі лазерного променя. Випромінювання ексимерного лазера УФ діапазону (193, 248, 308 і 351 мкм), а також ІЧ-випромінювання 2,9 мкм ErYAG-лазера і 10,6 мкм CO₂-лазеру мають глибину проникнення від 1 до 20 мкм . Тут розсіювання грає другорядну роль. Для світла з довжиною хвилі 450-590 нм, що відповідає лініям аргону, глибина проникнення складає в середньому 0,5-2,5мм. Як поглинання так і розсіювання грають тут значну роль. Лазерний промінь цієї довжини хвилі хоча і залишається в тканині колімованим у центрі, але він оточений зоною з високим розсіюванням. Від 15% до 40% енергія падаючого пучка світла розсіюється. У області спектра між 590 і 1500 нм, у якій входять лінії Nd:YAG лазера 1,06 і 1,32 мкм, домінує розсіювання. Глибина проникнення складає від 2,0 до 8,0 мм.

Якість колімованості випромінювання втрачається - формується конусом дифузійного розсіювання [43]. У той час як в УФ діапазоні поглинання залежить від наявності білка, у ІЧ діапазоні істотне значення має наявність води.

Більшість органічних молекул, як і протеїни, інтенсивно поглинають в УФ діапазоні випромінювання (100-300 нм). Оксигенований гемоглобін інтенсивно поглинає починаючи з УФ області, включаючи зелену і жовту області видимого світла і до значення довжини хвилі 600 нм.

У діапазоні від 600 до 1200 нм випромінювання глибше проникає в тканину, із мінімальними втратами на розсіювання і поглинання. У цьому діапазоні випромінювання може досягати до глибоко розташованих об'єктів. Такі лазери як аргонний лазер, лазер на барвнику, Nd:YAG- лазер із подвоєнням частоти, Nd:YAG-лазер, діють переважно на гемоглобін, меланін і інші органічні речовини і тому мають коагуляційний ефект. CO₂-лазер, що генерує на довжині хвилі 10,6 мкм, або

ErYAG-лазер із довжиною хвилі генерації 2,9 мкм через високу ступінь поглинання енергії випромінювання водою може застосовуватися для розрізу тканини.

При порушенні різноманітних станів молекули приймають енергію тільки в квантованому вигляді, тому поглинання відбувається тільки при визначених частотах. Зображення залежності інтенсивності поглинання від частоти або довжини хвилі визначається як спектр.

У спектроскопії тканин є декілька важливих проблем. Звичайно в спектроскопії поглинання передбачається однорідне розподілення хромофорів у зразку (розведені розчини відомих концентрацій). Тільки при такій умові строго діє закон Ламберта-Бера. У тканинах, елементи, що поглинають, пов'язані із субклітинними структурами, тут немає однорідного розподілення. Вплив розсіювання повинен бути обов'язково врахований.

Біофізичний механізм дії лазерного випромінювання на тканину.

Як зазначалось вище, лазерне випромінювання, як і звичайне світло, може відбиватися, поглинатися, розсіюватися, перевипромінюватися біологічними середовищами. Закономірності, які впливають на проникнення випромінювання в тканину, мають безпосереднє відношення до механізму біологічної дії лазерної радіації. Одна з причин обмеженої глибини проникнення полягає в поглинанні (абсорбції) лазерного випромінювання біологічними тканинами, а саме абсорбція, за незначним винятком, є обов'язковим початковим моментом, який передуює наступним змінам, що відбуваються в опромінену організм.

Глибина проникнення лазерного випромінювання в тканини є дуже важливою в практичному відношенні, оскільки, в залежності від неї, визначаються межі можливого використання лазерів. Ущільнення тканин тиском, наприклад, дозволяє збільшити інтенсивність глибинного опромінення в десятки разів.

Поглинання - не єдиний процес, що приводить до ослаблення лазерного випромінювання при проходженні його через біологічні тканини. Одночасно з поглинанням випромінювання відбувається відбивання світла від поверхні між двома середовищами, заломлення при проходженні границь, які розділяють два оптично-різноманітні середовища, розсіювання світла частинками тканини та ін. Таким чином, можна говорити про загальне ослаблення випромінювання, яке включає, окрім поглинання, втрати за рахунок інших явищ, і про саме поглинання випромінювання.

При теоретичному розгляді питання поглинання лазерного випромінювання тканинами, можна для спрощення прийняти, що випромінювання є плоскою хвилею, яка падає на рівну поверхню об'єкта, коефіцієнт поглинання на всій опроміненій ділянці однаковий і не залежить від інтенсивності світла. В цьому випадку енергія випромінювання (потужність) з глибиною буде зменшуватися експоненціально.

В реальних умовах при опроміненні біологічних об'єктів таке просте співвідношення між товщиною шару тканини та кількістю поглинутої енергії порушується, наприклад, за рахунок відмінності коефіцієнтів поглинання різних ділянок опроміненої тканини.

Враховуючи, що світлопоглинання — це молекулярний процес, який в кінцевому результаті залежить від концентрації поглинаючих випромінювання молекул, величина поглинання на клітинному і субклітинному рівні може суттєво змінюватись навіть від органели до органели. Нарешті, поглинання є функцією

довжини хвилі, і тому коефіцієнт поглинання широко змінюється для лазерів, які випромінюють у різних областях спектра.

Внаслідок неоднорідності структури тканини велике значення з точки зору терапії має прецизійне локальне підведення світлової енергії до даної тканини.

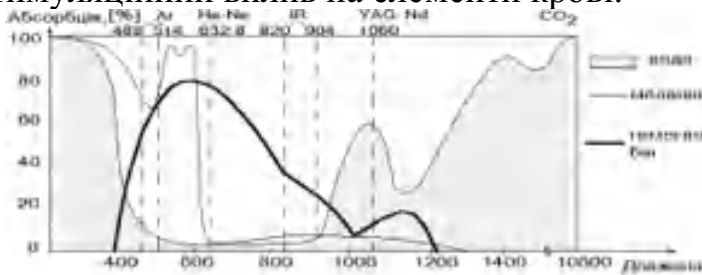
Процес поширення лазерного випромінювання залежить від структури тканини, наявності води, кількості металопротеїдів (зокрема гемоглобіну), пігментів, ферментів. Так, в ряді дослідів було встановлено, що сильно пігментована тканина печінки поглинає випромінювання інтенсивніше, ніж м'язова тканина.

Процес поширення лазерного випромінювання залежить від структури тканини, наявності води, кількості гемоглобіну, меланіну і т. д.

При зіткненні випромінювання з тканиною відбуваються одночасно всі вищезгадані процеси (відбивання, розсіювання, абсорбція). Річ у тому, що при біостимуляційній дії треба вибрати випромінювання, для якого домінують процеси ефективної трансмісії і абсорбції. Відбивання і розсіювання використовують переважно для діагностики.

Абсорбція і трансмісія на окремих глибинах тканини залежить від наявності в них фотоакцепторів, таких як частинки води, меланіни і гемоглобін. На рис. 2.7 показано типовий спектр трансмісії і поглинання випромінювання для цих фотоакцепторів. На ньому виразно видно важливі для лазерної біостимуляції розміри оптичного вікна, де трансмісія випромінювання стабільна. Можна також зауважити ділянки великої або навіть 100%-ної абсорбції лазерного світла в елементарних фотоакцепторах. Видно, що вода і тканини, багаті на воду, будуть найбільше поглинати випромінювання з довжиною хвилі, меншою ніж 400 нм і більшою ніж 1200 нм. Особливо висока абсорбція спостерігається для довжини хвилі 2940 нм, яка відповідає лазеру YAG:Er. Максимальну абсорбцію має

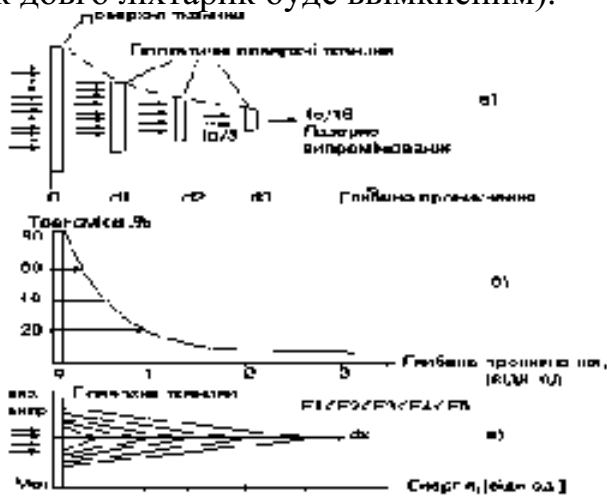
Рисунок – Абсорбція випромінювання в типових фотоакцепторних тканинах гемоглобін для 500-590 нм, тому лазерне випромінювання 632,8 нм має біостимуляційний вплив на елементи крові.



Найкраще для біостимуляційних процесів використовувати довжини хвиль, які містяться всередині згаданого вже "оптичного вікна", тобто від 550 нм до 950 нм. Світло лазера з довжиною хвилі, яка лежить поза даними межами, абсорбується в поверхневих шарах тканини і не викликає стимуляційного ефекту шарів тканини, що лежать глибше.

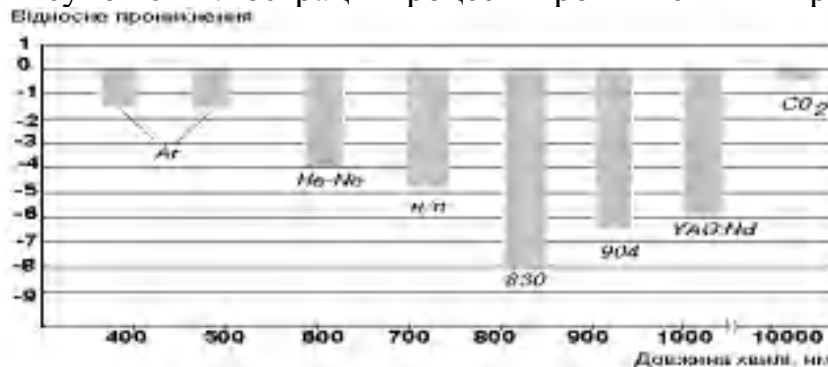
Трансмісія самого світла в тканині залежить від його довжини хвилі і потужності, але не залежить від того як довго буде освітлюватися дана точка. Наприклад, якщо використовувати лазерне джерело з середньою потужністю виходу 30 мВт, то з лазера емітується близько 10^{16} фотонів на секунду. Це означає, що кожної секунди до тканини проникає 10^{16} фотонів, і в даний момент часу в тканині не може бути більше, ніж 10^{16} фотонів. Тому не має значення, чи пункт освітлюється

протягом однієї секунди, чи однієї хвилини (ситуація нагадує освітлення ліхтариком стіни: величина кола світла і його інтенсивність будуть незмінними, не дивлячись на те, як довго ліхтарик буде ввімкненим).



Фотони лазерного джерела досягають певної глибини в тканині незалежно від часу освітлення даного пункту. На рис. 2.8 а кількість енергії, що падає на тканину, зображено стрілками. Досягнення наступних шарів тканини пов'язане зі зменшенням енергії. Половиною глибиною проникнення називається глибина шару тканини, до якого надходить 50% початкової енергії. Процес біостимуляції може бути викликаний на такій глибині тканини, на якій був заабсорбований останній фотон лазерної хвилі. Шкіра пропускає всередину біля 80% світлової енергії (рис.2.8б) при перпендикулярному падінні променів на тканину. Залежність глибини проникнення лазерної хвилі з різними енергіями схематично показано на рис. що підтверджує так звану теорію "одинокого фотона". Згідно з цією теорією, достатньо одного вміщеного в тканині фотона в певний момент часу, щоб викликати біоенергетичний процес. Рис.8 є справедливим для м'яких тканин і базується на емпіричних даних.

Рисунок 8 – Ілюстрація процесів проникнення випромінювання в біотканину



На рис.9 представлено порівняння глибини проникнення випромінювання лазерів, які найчастіше застосовуються в медицині.

У досліджах по порівнянню поглинання червоного випромінювання з різними фізичними властивостями було встановлено, що просторова когерентність не впливає на поглинання, а поляризоване випромінювання поглинається менш активно ніж неполяризоване. Встановлено також, що

Рисунок 9 – Залежність проникнення лазерного випромінювання від довжини хвилі

розсіювання видимого світла при проходженні його через біотканину значно перевищує поглинання. Це означає, що лазерне світло має досить високу здатність проникнення в тканини. Якщо врахувати можливість транспортування випромінювання вглиб тканини при допомозі волоконної оптики і можливе наступне його розсіювання то можна сподіватися на подальше розширення сфери клінічного використання лазерів [4].

2.4 Біологічні ефекти, які виникають у тканині під впливом лазерного випромінювання

В залежності від потужності, лазерне випромінювання може викликати три різні ефекти в біологічній тканині. При малій і середній потужності будуть відбуватися хімічні та метаболічні реакції в клітинах тканини (біостимуляційні процеси). З ростом потужності випромінювання виникає термічний ефект, який широко використовують у хірургії для термічного випаровування тканини (лазер СО, імпульсний режим ІАГ:Nd) чи коагуляції (аргоновий лазер, постійний режим ІАГ:Nd). При екстремально високій потужності у випадку короткотривалих імпульсів тканина підлягає "мікрровибуху" перед її термічним розкладом (ексимерні і барвникові лазери, ІАГ:Nd в режимі модульованої добротності).

Отже розрізняють три групи фотобіологічних ефектів при взаємодії лазерного випромінювання з тканиною:

- 1) фотобіохімічні ефекти;
- 2) фототермічні ефекти;
- 3) фотоіонізаційні ефекти;

Перша група об'єднує такі фотонні механізми, як фотоіндукція (фотозбудження), фоторезонанс і фотоактивація, які складають біостимуляційні процеси.

Серед фотобіохімічних виділяють підгрупу так званих фотодинамічних ефектів, які використовуються в медицині для лазерної діагностики.

Друга група - термічні ефекти. Оптичне випромінювання перетворюється в тепло і викликає коагуляцію, випаровування або карбонізацію (обвуглення), в залежності від викликаної в тканині температури.

Третя група об'єднує фотоабляцію (деструкційна нетермічна дія) і фотоподріблення.

Порівняння всіх описаних процесів представлено в табл.2.1.

На рис.10. схематично показано часову послідовність біофізичних процесів, які виникають від моменту подання лазерного світла на тканину .

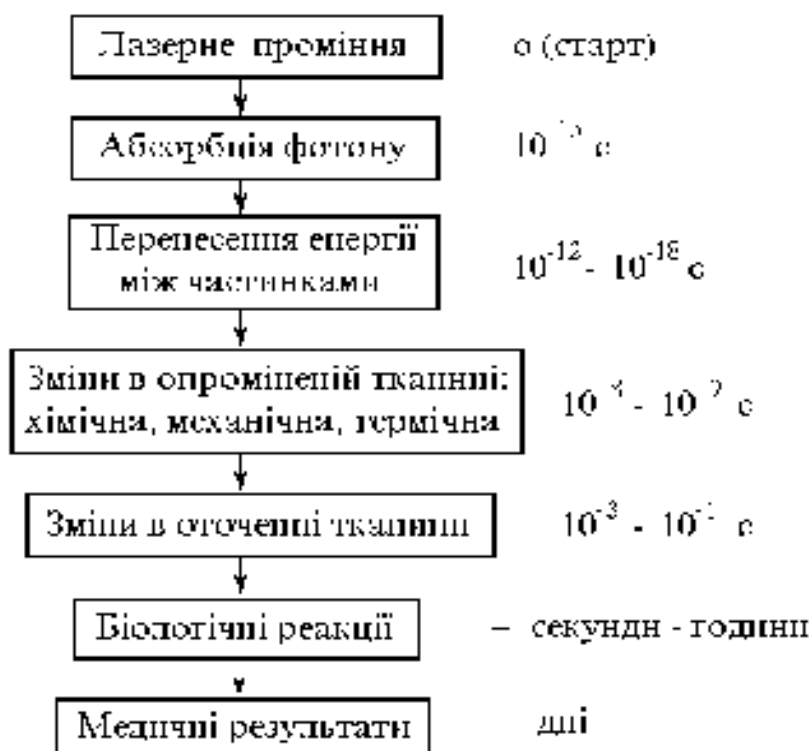


Рисунок 10 – Схема часової послідовності біофізичних процесів

2.4.1 Фотобіохімічні ефекти - біостимуляція

Під біостимуляційними ефектами розуміють такі, які, внаслідок освітлення лазерним випромінюванням, не викликають зростання місцевої температури тканини більше ніж на 1°C . Ці ефекти спостерігаються у випадку освітлення лазерами малої і середньої потужності. Найбільшого зростання місцевої температури до 1.1°C досягли японські терапевти при освітленні випромінюванням з довжиною хвилі 830 нм потужністю 60 мВт на протязом 4 хв.

З ростом потужності випромінювання більше ніж 60 мВт з'являється ефект дальшого невеликого росту температури, а з ним - явище термічної біостимуляції. Температура тканини, однак, і тоді не перевищує 42°C . Рекомендовано в лазеротерапії не перевищувати постійну або середню потужність більше ніж 60 мВт.

Механізм феномену лазерної біостимуляції пояснюють різні гіпотези, основними з яких вважаються: гіпотеза прямої дії на організм через резонансне поглинання на молекулярному рівні, гіпотеза ефекту на системному рівні через реакцію гомеостазу у відповідь на світлову хвилю He-Ne лазера, гіпотеза поляризаційно-неселективного ефекту низько-інтенсивного лазерного випромінювання (НІЛВ) на клітинні мембрани, гіпотеза існування в клітинах живих організмів спеціальної фоторегулювальної системи, схожої до тієї, яка має місце в рослинах і бактеріях. Коротко розглянемо ці гіпотези.

Висновки Взаємодія НІЛВ з біологічними об'єктами специфічна, і специфічність лазерного ефекту визначається перед усім довжиною хвилі випромінювання; Реалізація біоефекту НІЛВ починається з моменту поглинання енергетичного кванта фоточутливою біомолекулою; Для кожної довжини хвилі НІЛВ існують молекули, які найбільш ефективно його поглинають; Відповідь субклітинних структур, клітини, тканини, органу та організму на дію НІЛВ являє собою інтегральну, цілісну, системну реакцію.

Таблиця 2.1 - Порівняльний аналіз процесів взаємодії лазерного випромінювання з тканиною:

Ефекти	Способи дії
Фотобіохімічні: - фотобіоактивація; - фоторадіація; - фоторезонанс; - фотодинамічні	Враховуючи абсорбцію енергії фотоакцепторами - біостимуляція Лазеротерапія Фотохіміотерапія

Продовження таблиці 2.1

Фототермічні: - фототермоліз (розклад під впливом тепла); - фотогіпертермія (надмірний перегрів під впливом світла); - фотокоагуляція; - фотокарбонізація; - фотовипаровування.	Термічно- динамічний вплив (37-42) ⁰ C - не наступають необоротні зміни тканини; (43-60) ⁰ C – пошкодження оболонки клітин, спалювання тканини, денатурація ензимів). 60 ⁰ C - денатурація білків; <80 ⁰ C - денатурація колагену; (60-100) ⁰ C - коагуляція, змертвіння тканини (некроз) (100-300) ⁰ C - висушування, випаровування води, обвуглення; >300 ⁰ C - піроліз (термічний розклад, випаровування головних складників тканини).
Фотоіонізація: - фотоабляція (процес розриву хімічних зв'язків під впливом світла); - фотоподрібнення	швидкий “мікрровибух” ударна хвиля, викликана імпульсом світла

3 Лазерні технології в рослинництві і тваринництві

Лазерна обробка зерна.

Даний спосіб відноситься до сільського господарства, а саме до способів обробки насіння перед посівом та може бути використаним для стимуляції схожості насіння в рослинництві. В основу способу покладена задача удосконалення способу передпосівної стимуляції насіння імпульсним лазерним опроміненням шляхом стимуляції фітохромної системи насіння, що відіграє значну роль у процесах проростання, за рахунок почергової подачі імпульсів від лазерів, що випромінюють у червоному (біля 660nm) та далекому червоному (біля 730nm) діапазонах оптичного випромінювання. Це сприяє підвищенню ефективності передпосівної стимуляції, скорочує час

обробки насіння та веде до економії енергії. Застосування почергової подачі імпульсів від лазерів, що випромінюють у червоному та далекому червоному діапазонах оптичного випромінювання веде до більш швидкого переходу взаємоперетворюваних форм фітохрому та відповідного пришвидшення процесу перенесення специфічних метаболітів, що сприяють проростанню насіння, через мембрани клітинних структур, тим самим сприяючи підвищенню ефективності передпосівної стимуляції, скороченню часу обробки насіння.

Висновки Взаємодія НІЛВ з біологічними об'єктами специфічна, і специфічність лазерного ефекту визначається перед усім довжиною хвилі випромінювання; Реалізація біоефекту НІЛВ починається з моменту поглинання енергетичного кванта фоточутливою біомолекулою; Для кожної довжини хвилі НІЛВ існують молекули, які найбільш ефективно його поглинають; Відповідь субклітинних структур, клітини, тканини, органу та організму на дію НІЛВ являє собою інтегральну, цілісну, системну реакцію.

Тема 14. Ультразвукові установки.

План

1. Фізичні основи ультразвуку.
2. Застосування ультразвуку в технологічних процесах.
3. Дії ультразвуку на біологічні об'єкти.

1. Фізичні основи ультразвуку.

Ультразвук – це періодичні пружні механічні коливання з частотою від $2 \cdot 10^4$ до 10^{10} Гц, тобто вищою за верхню межу чутливості людського вуха.

Ультразвукові коливання виникають за допомогою спеціальних вібраторів (перетворювачів) і розповсюджуються в середовищах у вигляді ультразвукових хвиль. Частинки середовищ коливаються біля деякого положення рівноваги, зазнаючи періодичних (через напівперіод) стискань і розширень (поздовжні хвилі). Вони поширюються у газі, рідині та твердих тілах. Під час розповсюдження ультразвукової хвилі у середовищі проходить перенесення енергії.

Ультразвукове поле в середовищі характеризується частотою та інтенсивністю ультразвуку. Умовно розрізняють ультразвукові коливання низької (до 100 кГц) та високої (вище 100 кГц) частоти, слабкої (до 10 Вт/м²) і високої (до $10^6 \dots 10^7$ Вт/м²) інтенсивності.

Розповсюдження ультразвуку в середовищах супроводжується акустичним, механічним, термічним і біологічним проявами.

Ультразвукове коливання, як і будь-яке гармонічне характеризується довжиною хвилі λ , м, що визначається за формулою:

$$\lambda = C / f$$

де f - частота ультразвукових коливань, Гц;

C - швидкість поширення ультразвукових хвиль, м/с.

Залежно від середовища, в якому поширюються ультразвукові коливання, вони можуть бути поздовжніми, поперечними та поверхневими. У твердих тілах можуть мати місце всі види коливань, а в газових та рідинних середовищах - лише поздовжні коливання. Найчастіше в ультразвукових установках використовується дія поздовжніх ультразвукових коливань.

Швидкість поширення поздовжніх коливань C , м/с, у твердих тілах визначається за формулою:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

де

E - модуль поздовжньої пружності (модуль Юнга), Па;

ρ - густина середовища, кг/м³

де β - стисливість середовища, Па⁻¹.

Фізика процесу, що відбувається при виникненні ультразвукових коливань, полягає у наступному.

Якщо до твердого тіла прикласти певний імпульс сили, то в ньому виникне пружна деформація - деяке зміщення одних елементарних частин відносно інших. У результаті чого відбудеться зміна як об'єму, так і форми тіла. Тому в твердому тілі поряд із поздовжніми можуть виникати і дотичні напруження зсуву, а відповідно поздовжні (ті, що поширюються в напрямку дії сили), поперечні (ті, що поширюються перпендикулярно до напрямку дії сили) і поверхневі (ті, що поширюються по поверхні твердого тіла) хвилі.

При дії імпульсу сили на об'єм з газом або рідиною відбувається лише зміна об'єму, а форма залишається незмінною, оскільки вона залежить лише від форми оболонки, в якій знаходиться рідина або газ. Тому в рідинних та газових середовищах не можуть мати місця дотичні коливання, і для них характерною є лише об'ємна пружність.

Генерують ультразвукові коливання так: спочатку за допомогою генераторів ультразвукової частоти перетворюють електричну енергію змінного струму промислової частоти в електричну енергію змінного струму високої частоти, що дорівнює частоті ультразвуку. Найбільш поширеними є напівпровідникові та лампові генератори ультразвукової частоти. Далі електричну енергію ультразвукової частоти перетворюють в енергію коливання твердого тіла в електроакустичних перетворювачах. Для цього використовують магнітострикційні і п'єзоелектричні електроакустичні перетворювачі.

У магнітострикційних перетворювачах (рис. 1) використовується явище поздовжньої магнітострикції, що полягає у зміні довжини металевих тіл, які виготовлені із феромагнітних матеріалів (залізо, нікель, кобальт, пермендіум - сплав 49% заліза, 49% кобальта і 2% ванадію; альфер - сплав 87% заліза і 13% алюмінію) під дією магнітного поля.

Обмотки електромагніту 2 підключені до джерела постійного струму 1 і створюють постійний магнітний потік Φ_0 . Між полюсами магнітопровода електромагніту 2 розміщене осердя 3, на яке намотана обмотка 5, що живиться від генератора струму високої частоти 4 і створює змінний високочастотний

магнітний потік Φ_3 . Постійне магнітне поле забезпечує поляризацію (стан початкової намагніченості) осердя 3, а змінне високочастотне магнітне поле зумовлює магнітострикцію осердя - зміну його довжини.

Таким чином, робота магнітострикційного перетворювача заснована на властивості феромагнітних стержнів змінювати довжину залежно від зміни магнітного поля, що веде до збудження в оточуючому середовищі ультразвукових коливань.

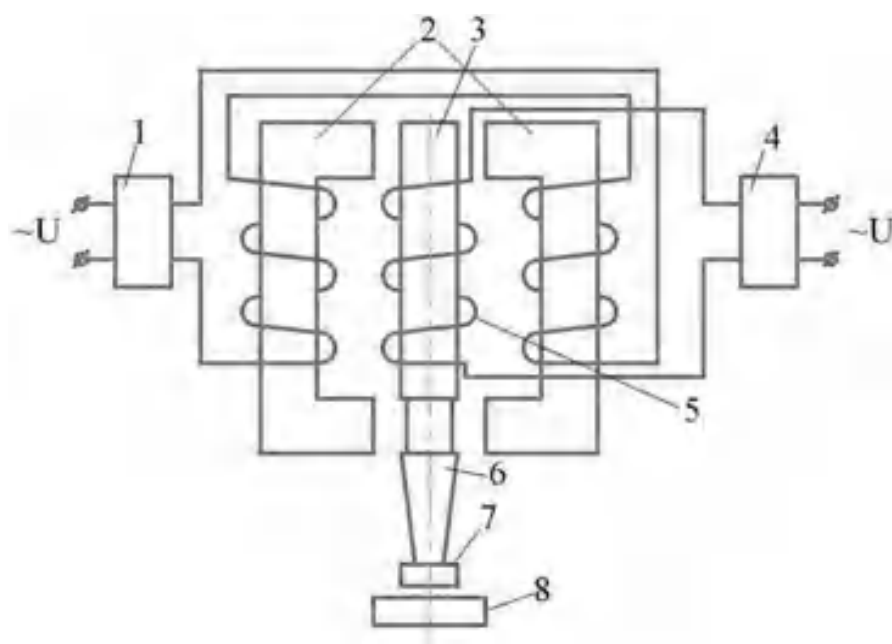


Рис. 1. Схема магнітострикційного високочастотного перетворювача:

1-джерело постійного струму; 2-електромагніт постійного струму; 3-осердя перетворювача; 4-генератор високої частоти; 5-обмотка змінного струму; 6-концентратор; 7-робочий інструмент; 8-виріб

Магнітострикційний ефект є парним ефектом, оскільки знак деформації осердя не змінюється при зміні напрямку магнітного поля Φ_3 . У той самий час магнітострикційний ефект може бути як додатним, так і від'ємним - знак деформації залежить від матеріалу магнітострикційного осердя 3.

Відносна деформація осердя 3 є невеликою, і амплітуда коливання становить від 0,001 до 0,1 % його довжини. Такі значення амплітуди коливань часто є недостатніми для виконання певних операцій з електрофізичної обробки, тому в більшості магнітострикційних перетворювачів обов'язковою складовою частиною є концентратор 6. Концентратор виконує функцію акустичного підсилювача для збільшення амплітуди високочастотних коливань, для чого його виготовляють з певними формою і розмірами. Найбільше поширення отримали експонентіальні, конічні та ступеневі концентратори.

Ефективність роботи концентратора оцінюється величиною підсилення, яке характеризується коефіцієнтом підсилення амплітуди або коефіцієнтом концентрації K_k .

До концентратора 6 прикріплюється робочий інструмент, якому передаються ультразвукові коливання, і від якого механічна дія передається на виріб 8. Таким чином, у перетворювачі електрична енергія перетворюється в механічну енергію високочастотних коливань, яку використовують для обробки виробу.

У п'єзоелектричних перетворювачах використовується явище п'єзоефекту, яке полягає у зміні геометричних розмірів п'єзоелектричних матеріалів в електричному полі.

За п'єзоелектричні матеріали в ультразвукових установках використовують такі матеріали, як турмалін, кварц, сегнетову сіль, цирконат-титанат свинцю, кераміку титану барію (BaTiO_3) тощо. Для цих матеріалів характерним є те, що їх кристали не мають центра і осі симетрії, а мають у своїй структурі протилежно заряджені частини (іони), які поєднані між собою електростатичними силами взаємного притягання. Якщо на п'єзоелектричний матеріал діє зовнішнє електричне поле, то відбувається переміщення іонів у кристалі, яке зумовлює зміну його розмірів (деформацію). Таке явище отримало назву оберненого п'єзоелектричного ефекту. Суть прямого п'єзоелектричного ефекту полягає у виникненні електричних зарядів на поверхні кристала при прикладенні до нього механічної сили.

П'єзоелектричний перетворювач (рис. 10.13) включає до свого складу набір п'єзопластин 4, на які намотана обмотка 5, що живиться струмом високої частоти від генератора 1. З торців п'єзопластин розміщуються металеві накладки 3 і 7 певної товщини, які стягуються з допомогою гвинтів 6.

При проходженні електричного струму по обмотці 5 створюється високочастотне електричне поле, яке змінюється в напрямку п'єзоелектричної осі кристалів, що призводить до стискання та розтягування кристалів з частотою зміни електричного поля. Деформація однієї п'єзопластини невелика (наприклад, для пластини, що виготовлена із цирконату-титанату свинцю, товщиною 10 мм при напрузі 400 В амплітуда коливань становить близько 1 мкм). Тому для підвищення амплітуди і ККД перетворювачі виготовляють багатопластовими.

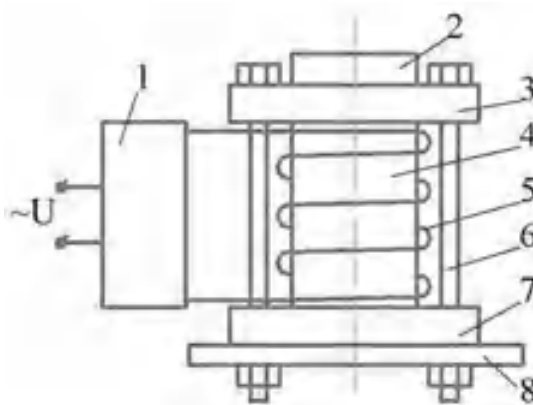


Рис. 2 Схема п'єзоелектричного високочастотного перетворювача:

1-генератор високої частоти; 2-робоча поверхня перетворювача; 3,7 металеві накладки; 4- набір п'єзопластин; 5-обмотка; 6-стяжні гвинти; 8-основа

У порівнянні з магнітострикційними, п'єзоелектричні перетворювачі мають ряд переваг, до яких відносять: більший ККД, меншу вартість, можливість надання їм будь-якої форми тощо.

Головним недоліком п'єзоелектричних перетворювачів є низька механічна міцність п'єзопластин, яка обмежує густину потоку енергії на рівні 1-2 Вт/см². Тому вони розвивають малі потужності і застосовуються в основному в ультразвуковій інформаційно-вимірній техніці.

Принципальні схеми лампових генераторів ультразвукового діапазону мало відрізняються від генераторів для височастотного нагрівання. Ультразвукові генератори на транзисторах найбільш надійні й економічні. Вони призначені для роботи з п'єзоелектричними перетворювачами. На

рис. 3 наведено принципальну електричну схему генератора на транзисторах, виконану за напівмостовою схемою.

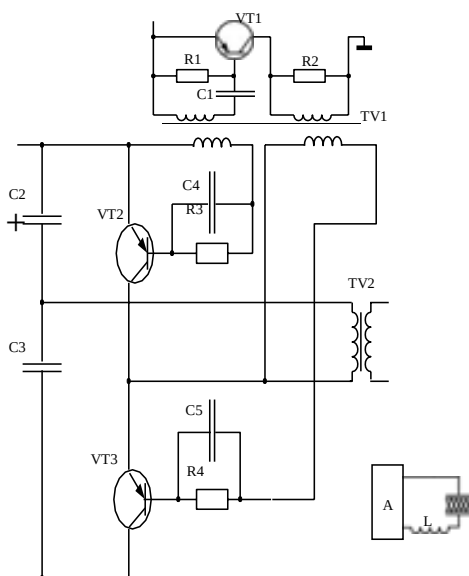


Рис. 3. Принципальна електрична схема ультразвукового генератора на транзисторах

Схема складається із задаючого генератора на транзисторі VT1. Вторинна обмотка трансформатора TV1 подає збудження на транзистори VT2 і VT3 в протифазі.

Транзистори утворюють перший каскад підсилення і працюють у режимі перемикачів, періодично змінюючи напрям струму в первинній обмотці вихідного трансформатора TV2. Пристрій А складається з другого каскаду підсилення і коректуючого фільтра. На виході генератора підключений п'єзоелектричний перетворювач Е.

2. Застосування ультразвуку в технологічних процесах Обробка твердих матеріалів.

Ультразвукові установки отримали застосування для обробки твердих матеріалів, що мають високу крихкість. До таких матеріалів відноситься скло, фарфор, кераміка, кварц.

Оброблювану поверхню матеріалу змочують емульсією абразивного порошку в воді або маслі. В якості абразиву можна використовувати корунд або карбід бора, карбід кремнію та ін.

Коли головку робочого інструменту підводять до оброблюваної поверхні, то частинки абразиву, що знаходяться між ними, вдаряють по оброблюваному матеріалу і виколують із нього мініатюрні частинки. Якщо частинок абразиву багато, а частота ударів визначається частотою ультразвуку 20...30кГц, то процес обробки йде доволі швидко.

Обробка непрофільованим інструментом. При такій операції використовується непрофільований інструмент простої форми, наприклад, у вигляді дроту, стрижня, кульок тощо. Як і при попередніх операціях тут використовується абразивна суспензія, формоутворююча дія якої на поверхню виробу досягається наданням їй ультразвукових коливань через дріт, який безперервно рухається, або через вільно насипані в зону обробки металеві кульки.

Віброобробка поверхні виробу. Під час проведення такої операції виріб поміщають у камеру, яка заповнена абразивною суспензією або масою сухих абразивних зерен з надлишковим тиском повітря. Ультразвукові коливання абразивних зерен створюють потужний акустичний потік, який змушує до переміщення вміст камери і забезпечує віброобробку виробу.

Видалення задирок, облою, рубчиків, грату з дрібних деталей. Ця операція виконується аналогічно попередній і відрізняється лише наслідком дії абразивних зерен на деталі, що полягає в механічній їх дії на задирки, облой, рубчики, грат і їх відокремлення від деталі;

Гравіювання. Результатом такої операції є надання певній ділянці поверхні виробу відповідної форми (гравюри). Робоча поверхня інструмента при цьому повинна мати певний рельєф, який дозволяє отримати на поверхні виробу певне зображення у вигляді прямого або оберненого відображення в результаті дії абразивних зерен, на які діють ультразвукові коливання від робочого інструмента. Процеси та операції ультразвукового з'єднання матеріалів. Процеси та операції з'єднання матеріалів з використанням ультразвукових установок базуються на тому, що ультразвукові коливання контактуючих твердих тіл зумовлюють створення нерознімних з'єднань у місці контактування без розплавлення матеріалів. Механізм процесів, що відбуваються при ультразвуковому з'єднанні матеріалів, різний для різних матеріалів і залежить від їх фізичних особливостей і хімічної природи. У таких процесах істотну роль відіграють такі властивості, як виникнення підвищеної пластичності і плинності матеріалів, дифузійне зрощення або механічна взаємопроникність, їх хімічна активізація тощо.

До основних процесів і операцій ультразвукового з'єднання матеріалів відносять:

- зварювання металів. Для забезпечення проходження процесу зварювання поверхні металевих деталей притискаються з певним статичним зусиллям і в місці їх контактування підводяться ультразвукові коливання. Через певний короткий проміжок часу відбувається нерознімне з'єднання металургійного типу - зварювання. Таке зварювання є результатом сумісної дії різних процесів, головними із яких є: пластичне деформування поверхонь і оголення чистого металу, дифузійні процеси, механічне захоплювання, підвищення температури в місці контактування тощо. Ультразвукове зварювання металів особливо ефективно при з'єднанні тонколистових матеріалів, товщина яких становить частки міліметра, а також під час

при- варювання тонких деталей до масивних. Ультразвукове зварювання широко використовують для отримання біметалів;

- зварювання термопластичних матеріалів. Послідовність операцій при зварюванні термопластичних матеріалів та сама, що і при зварюванні металів, але в цьому випадку нероз'ємне з'єднання контактуючих поверхонь досягається в основному завдяки дії теплофізичним процесам. Тепло, що виділяється в місці контактування, зумовлює пом'якшення матеріалу контактуючих поверхонь, прискорює дифузійні процеси, сприяє швидкому перемішуванню в'язкоплинних поліефірних матеріалів, а іноді й зумовлює проходження певних хімічних процесів;

- комбіноване зварювання. Цей процес забезпечує нерознімне з'єднання різнорідних за природою матеріалів (металів і неметалів). Явища, що відбуваються під час такого процесу, аналогічні тим, що розглянуті у двох попередніх процесах, але мають деякі особливості при їх проходженні. Завдяки такому зварюванню вдається розширити перелік матеріалів, які можна нерознімно з'єднати між собою;

- мікрозварювання. З допомогою таких процесів досягається зварювання елементів мікроелектроніки. Процес такого ультразвукового зварювання проходить у принципі аналогічно вищерозглянутим процесам, але, враховуючи специфіку зварюваних елементів, є і деякі конструктивні та технологічні особливості. Так, в ультразвукових установках для мікрозварювання, як правило, використовують спеціалізований хвилевід- інструмент, через отвір якого проходить, наприклад, провідник, який необхідно приварити;

- покриття металами із розплавів (металізація). Прикладом металізації може бути процес нанесення плівки металу на поверхню виробу із легкоокисного металу, наприклад алюмінію. Під час такого процесу ультразвукові коливання надають металевому розплаву, в який занурюють виріб із легкоокисного металу. Завдяки ультразвуковим коливанням поверхня виробу очищується від окисної плівки, оголюється чистий метал, різко зростає дифузія розплаву в поверхню виробу, що забезпечує створення плівки із металу розплаву на поверхні виробу. Окремим різновидом металізації є лудіння - нанесення на поверхню виробу шару із легкоплавкого металу (наприклад, олова);

- металізація неметалів. Процес ультразвукової металізації поверхні виробів із неметалів (полімери, скло, кераміка, порцелян тощо) відбувається аналогічно вищеописаному процесу. Завдяки ультразвуковим коливанням розплаву металу значно покращується фізична і хімічна взаємодія між матеріалами розплаву і виробу, який занурюється на час нанесення покриття у розплав металу. Ультразвукова металізація неметалів дозволяє отримати міцні зв'язки металу з такими неметалевими матеріалами, з'єднання яких іншими способами є значно складнішим, або зовсім неможливим;

- лютування. Суть ультразвукового лютування полягає у наступному. На поверхню металевих деталей у місці їх необхідного з'єднання наноситься розплавлена люта і їй надаються ультразвукові коливання. Під дією ультразвукових коливань порушується окисна плівка з поверхонь з'єднуваних деталей, частини окисної плівки видаляються на поверхню люту, чистий метал оголюється і якісно з'єднується з матеріалом люту, а після охолодження останньої забезпечується нерознімне з'єднання металевих деталей;

- склеювання. Операція склеювання деталей з використанням

ультразвукових коливань, які вводяться в зону склеювання, значно скорочує час проведення операції. Це досягається завдяки істотній інтенсифікації проходження фізико-хімічних процесів, оскільки ультразвукові коливання сприяють швидкому проникненню клею не лише в порожнини між поверхнями деталей, які склеюють, а і в саму структуру матеріалу деталей. Також істотними факторами інтенсифікації процесу склеювання є покращення, завдяки ультразвуковим коливанням, змочування поверхонь і підвищення адгезії клею до цих поверхонь;

- спікання металевих порошків. Ультразвукові коливання, що вводяться в масу металевого порошку, який перебуває під дією високої температури, значно підвищують ефективність процесу спікання в основному завдяки прискоренню дифузійних процесів. Такі процеси забезпечують ефективне спікання як однорідних, так і різномірних матеріалів;

- спікання полімерних порошків. Операція спікання як термопластичних, так і термореактивних матеріалів з використанням ультразвукових коливань відбувається у спеціальному оснащенні, в якому полімерний порошок або суміш порошків попередньо або одночасно з дією ультразвукових коливань механічно стискається. Завдяки дії стискальних зусиль і ультразвукової вібрації відбувається спікання порошку без підведення тепла ззовні. Полімерний порошок швидко перетворюється в монолітний виріб завдяки перетворенню ниткоподібних молекул в більш великі агрегати.

Ультразвукова дефектоскопія.

В ультразвукових дефектоскопах і приладах використовують в основному властивість ультразвуку за певних частот поширюватися в твердих речовинах на велику глибину без помітного послаблення, і властивість відбиватися і заломлюватися на межі розділення двох речовин, через різну швидкість поширення та ступінь поглинання в різних середовищах і речовинах.

Вигляд універсального високочастотного ультразвукового дефектоскопа представлено на рис. 4.



Рис. 4. Універсальний високочастотний ультразвуковий дефектоскоп моделі А1214

Принцип дії найпростішого дефектоскопа полягає у тому, що якщо до досліджуваного предмета з одного боку підвести ультразвукові коливання, а з протилежного ці коливання будуть прийматися приймачем, наприклад, у вигляді п'єзоелектричної пластини, яка коливаючись, створює електричні потенціали, що підсилюються за допомогою підсилювача, то покази приладів і характер зміни вихідних електричних величин будуть характеризувати внутрішній стан речовини матеріалу.

Якщо всередині досліджуваного об'єкта є дефект, то частина ультразвукових хвиль відображається від межі дефекту і не потрапляє на приймальну п'єзоелектричну пластинку, створюючи звукову тінь за дефектом і викликаючи відповідні зміни в показах електричних приладів, запису осцилографа або зображення на екрані дисплея.

За допомогою ультразвуку можна в різних деталях визначати дефекти, їх розміри, глибину залягання і склад окремих компонентів речовини. Ультразвуковими дефектоскопами контролюють якість зварювання, цілісність болтів тощо.

Існують ультразвукові прилади, які дозволяють виміряти відстань, виявити перешкоду, визначити товщину сального шару у свиней, вимірювати концентрацію багатьох газів, ступінь засміченості повітря тощо.

У сільському господарстві ультразвук високої інтенсивності застосовується в процесах очищення і миття деталей та вузлів, доїльної апаратури, молочної посуду, пастеризації та гомогенізації молока, стерилізації парникового ґрунту, передпосівної обробки насіння.

Ультразвукове очищення.

Ультразвукове очищення – це спосіб очищення поверхні твердих тіл в миючому розчині, в який вводяться ультразвукові коливання. Введення ультразвуку дозволяє не лише прискорити процес очищення, але і отримати високу ступінь чистоти поверхні, а також значно полегшити ручну працю, відмовитись від пожежонебезпечних та токсичних розчинів.

Процес ультразвукового очищення обумовлений рядом явищ, які виникають в ультразвуковому полі значної інтенсивності: кавітацією, акустичними течіями, тиском звукового випромінювання, звукокапілярним ефектом. В процесі очищення відбувається руйнування поверхневих плівок забруднення, відшарування та видалення забруднення, їх емульгація та розчинення. Ефективність очищення залежить від параметрів звукового поля (частоти коливань, інтенсивності звуку) та фізико-хімічних властивостей миючої рідини.

Ефект кавітації полягає в тому, що в рідині у фазі розрідження утворюються розриви або порожнини, які зникають у фазі стиснення, викликаючи миттєві піки тиску, що досягають десятків мегапаскалей. Предмети, що підлягають очищенню, поміщають у ванну, заповнену миючим розчином з температурою 60...80 °С. В залежності від очищуваного металу і характеру забруднення (масла, паста ГОІ, жирові забруднення, припій флюсів тощо) використовують розчини: тринатрій фосфат, силікат натрію, сульфанол та ін.

Електроакустичний перетворювач вбудовують в дно або стінки ванни чи занурюють у розчин. Час очищення при включенні установки може тривати від десятків секунд до десятків хвилин. Кавітаційні бульбашки, які відіграють основну роль у процесі ультразвукового очищення, проникають під плівку забруднення, розривають і відшаровують її.

Застосування ультразвуку дозволяє: значно прискорити процес очищення; поліпшити його якість (наприклад, при простому прополіскуванні деталей на їх поверхні залишається до 88 % забруднень, при вібраційному очищенні — близько 55 %, при ручному — близько 20 %, а при ультразвуковому — не більше 0,5 %);

виключити шкідливі умови праці; замінити дорогі токсичні або пожежо-небезпечні розчинники водою або дешевими водними розчинами.

Оскільки в цих процесах основну роль відіграє ультразвукова кавітація, то для них, як правило, використовують низькі частоти (18...30 кГц), на яких кавітація настає при відносно невисокій інтенсивності ультразвуку (2,5... 10 Вт/см²).

У загальному випадку інтенсивність ультразвуку (енергія хвилі, що проходить в одиницю часу через одиничну площу поверхні, перпендикулярну поширенню хвилі) можна визначити з виразу, Вт/м²::

$$I = 2\rho c \pi^2 f^2 A^2$$

де ρ — щільність середовища, кг/м³; c — швидкість поширення пружної хвилі (швидкість звуку), м/с; f — частота коливань, Гц; A — амплітуда

зміщення, м; ρ — звуковий тиск, Па; ρc — хвильовий опір.

$$2\pi r c f$$

Вибір параметрів звукового поля і миючої рідини з певними можливостями дозволяє досягти необхідної ефективності очищення. На процес очищення впливає також поверхневий натяг миючої рідини, який погіршує процес змочування поверхні деталей, що очищуються, заважаючи проникненню миючого розчину в вузькі щілини та отвори. Для зменшення поверхневого натягу миючої рідини застосовують добавки поверхнево-активних речовин, які покращують змочування поверхні та, утворюючи дуже тонкі адсорбційні шари на поверхні часток забруднення, сприяють більш легкому їх видаленню.

Введення ультразвукових коливань в технологічне обладнання відбувається через пластину, що має хороший акустичний контакт з перетворювачем. Геометричні розміри пластин визначаються виходячи з умов отримання необхідної інтенсивності ультразвукових коливань. Оптимальне значення вибирається залежно від характеру деталей та виду забруднень.

Основні види забруднень, які видаляються в процесі ультразвукового очищення, можна об'єднати в чотири групи: тверді і рідкі плівки — різні мастила, жири, пасти і т. п.; твердий осад — частинки металу и абразиву, пил, нагар, водорозчинні неорганічні сполуки (накип, флюси) і водорозчинні або частково розчинні органічні сполуки (солі, цукор, крохмаль, білок и т. п.); продукти корозії — іржа, окалина тощо; запобіжні покриття, покриття для консервації та захисту — емалі, смоли і т. д.

Промисловість випускає велику кількість установок для ультразвукової очистки, що відрізняються конструктивними особливостями, місткістю ванн і потужністю, наприклад транзисторні: УЗУ-0,25 з вихідною потужністю 0,25 кВт; УЗГ-10-1,6 з потужністю 1,6 кВт та ін.; тиристорні УЗГ-2-4 з вихідною потужністю 4 кВт і УЗГ-1-10/22 з потужністю 10 кВт. Робоча частота установок — 18 і 22 кГц.

Ультразвукова установка УЗУ-0,25 призначена для очищення дрібних деталей. Вона складається з ультразвукового генератора і ультразвукової ванни.

Технічні дані УЗУ-0,25:

Частота мережі, Гц -50

Потужність, споживана від мережі, кВА, не більше 0,45

Робоча частота, кГц -18

Потужність вихідна, кВт - 0,25

Внутрішні габарити робочої ванни, мм, 200 x 168 при глибині 158 мм

На передній панелі ультразвукової установки розміщені тумблер включення генератора і лампа, що сигналізує про наявність напруги живлення.

На задній стінці шасі генератора знаходяться: патрон для запобіжника і два штепсельних роз'єми, за допомогою яких генератор з'єднується з ультразвуковою ванною і мережею живлення; клема для заземлення генератора.

В дно ультразвукової ванни вмонтовані три пакетних п'єзоелектричних перетворювачі. Пакет одного перетворювача складається з двох п'єзоелектричних пластин із матеріалу ЦТС-19 (цирконат-титанат свинцю), двох частотно-понижувальних накладок і центрального стрижня з нержавіючої сталі, головка якого є випромінюючим елементом перетворювача.

На кожусі ванни розташовані: штуцер, ручка крана з надписом «Злив», клема для заземлення ванни і штепсельний пристрій для з'єднання з генератором.

3. Дії ультразвуку на біологічні об'єкти.

Установки для відлякування гризунів.

Різні пристрої, що випромінюють ультразвук, вже намагалися застосовувати для відлякування комарів, москітів, мокреців і других кровосисних комах. На жаль, вони не завжди виявлялися ефективними. І справа, мабуть, зовсім не в тому, що ультразвук в принципі не ефективний, а в тому, що відомі звуковипромінюючі пристрої зазвичай працюють лише на одній, суворо фіксованій частоті. Якщо уявити, що замість ультразвуку пристрій випромінює звукові коливання, а об'єкт «відлякування» – сама людина, тоді постійно звучить тон, хоча і надтоїдливий, але цілком стерпний. Інша річ, якщо тон змінний, наприклад, звук двох- або трьохтональної сирени або сирени з періодично змінювальною частотою. Вплив таких джерел звуку на тварин, не кажучи вже про людину, незрівняльно сильніший. Ефективність зростає, якщо частота модуляції звукових коливань збігається з частотою деяких життєвоважливих біоритмів. Подібні сирени здатні викликати навіть у диких тварин почуття тривоги, переляку і страху. Оскільки на людину сильніше впливає звук змінної тональності, то, мабуть, на тварин більш ефективно буде впливати саме частотна модуляція ультразвуку. За таким принципом працює пристрій «Сирена», який призначений для відлякування мишей, щурів, полівок та інших гризунів.

Схема генератора (пристрою) для відлякування гризунів представлена на рисунку 5. Вона складається з двох генераторів, один з яких (DD1.3, DD1.4) працює в ультразвуковому діапазоні (20...40кГц), а інший (DD1.1, DD1.2) є модулятором першого. Частота модуляції 5...15Гц. У результаті на базу транзистора VT1 надходить частотно-модульований сигнал.

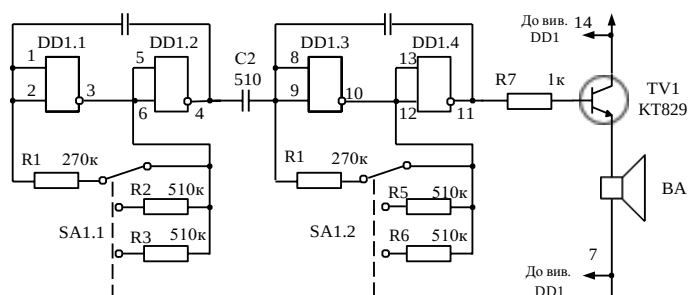


Рис. 5. Схема генератора (пристрою) для відлякування гризунів.

Навантаженням струмового підсилювача VT1 є високочастотна динамічна головка ВА1. Для того, щоб гризуни не адаптувалися до випромінюваних сигналів, в схему введений перемикач S1, який дозволяє змінювати параметри налаштування ланцюгів, а значить і робочі частоти обох генераторів. Положення перемикача SA1 необхідно періодично (2...3 рази на тиждень) змінювати.

Схема управління складається з генератора на мікросхемі DD2, що працює з частотою 0,2...0,3 Гц і ключів VT1, VT2. Ключі працюють протифазно, змінюючи параметри налаштування ланцюгів генераторів і тим самим їх частоту. Для налаштування схеми відключають колектори транзисторів VT1 і VT2 від схеми і підбором номіналів резисторів R3 і R8 встановлюють частоту роботи генератора на DD1.1, DD1.2 – 40 кГц, а генератора на DD1.3, DD1.4 – 15...20 Гц. Після цього відновлюють схему і перевіряють її працездатність в цілому.

Пружні коливання, які поширюються в середовищі у вигляді поздовжніх хвиль з частотою більшою від 20 кГц, називаються ультразвуком. Верхня межа частот ультразвуку, як правило не вказується, умовно можна вважати такою межею коливання з частотами 10⁹ - 10¹⁰ Гц.

Ультразвук не викликає слухових відчуттів у людини.

На відміну від людини, багато тварин сприймають звуки з частотою значно вищих частот. Так собака сприймає звуки з частотою до 44 кГц, кури до 72 кГц, кажани до 115 кГц. Тварини, які ведуть нічний спосіб життя або живуть в темних печерах, а також морські тварини, використовують ультразвук для обміну інформацією і ехолокації (орієнтування в просторі).

В залежності від частоти, ультразвуку притаманні певні особливості генерації, поширення, прийому і застосування.

В природі джерелами ультразвуку можуть бути землетруси, виверження вулканів. Ультразвук виникає при роботі реактивних двигунів, деяких типів станків і механізмів.

З технічною метою ультразвук отримують за допомогою спеціальних пристроїв, так званих ультразвукових перетворювачів. В залежності від того, яку енергію вони перетворюють, їх умовно поділяють на механічні і електричні.

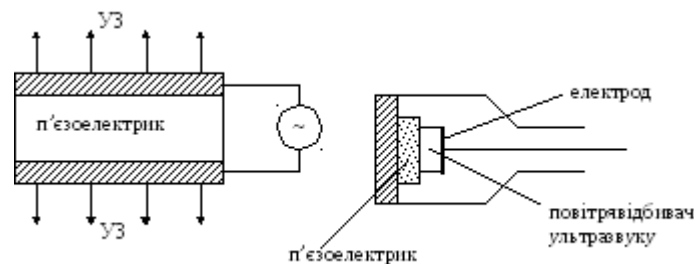
В механічних перетворювачах джерелом ультразвуку є механічна енергія потоку газу або рідини. Такі перетворювачі (свистки або сирени) досить прості за конструкцією, вони мають широкий діапазон і нестабільність частоти, що є причиною їх обмеженого практичного використання.

В електричних перетворювачах в якості джерела енергії використовується електричний струм. Дія таких перетворювачів ґрунтується на ефекті магнітострікції або зворотньому п'єзоелектричному ефекті.

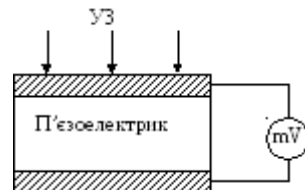
Ефект магнітострікції використовується для генерування ультразвуку більш низьких частот (до 100 кГц) і великих інтенсивностей. Ефект магнітострікції полягає в зміні довжини стержня або труби, виготовлених з феромагнітного матеріалу (заліза, нікелю або їх сплавів), поміщених в змінне магнітне поле паралельно до ліній індукції поля. Якщо частота власних коливань стержня і магнітного поля співпадають, тоді має місце резонанс і амплітуда коливань (зміни довжини) буде максимальною. Біля вільного кінця такого стержня в оточуючому середовищі виникають періодичні

зміни густини середовища, які поширюються в ньому у вигляді поздовжньої механічної хвилі.

Зворотній п'єзоелектричний ефект використовується для генерування ультразвуку більш високих частот (800 кГц - 3000 кГц) і менших інтенсивностей. Ефект полягає в періодичній зміні лінійних розмірів (деформації) п'єзоелектриків в змінному електричному полі. До п'єзоелектриків відносять: кварц, титанат барію, турмалін, сегнетову сіль, фосфорнокислий амоній та інші. При виготовленні ультразвукового перетворювача із п'єзоелектричного матеріалу певним чином (в певних кристалографічних площинах) вирізають пластинку. При цьому розміри пластини повинні відповідати умові резонансу. В перетворювачі до протилежних граней пластини підводять змінну напругу



В п'єзоелектричній пластині товщиною 1 мм виникає резонанс для: кварцу на частоті 2,87 МГц; титанату барію 2,75 МГц; сегнетової солі 1,3 МГц.



Дія приймач ультразвуку ґрунтується на прямому п'єзоелектричному ефекті, який полягає в тому, що при механічній деформації під впливом ультразвукової хвилі на протилежних гранях п'єзоелектричної пластинки виникає змінна різниця потенціалів. Дана різниця потенціалів в апараті підсилюється і реєструється.

Дія ультразвуку на біологічні об'єкти залежить від частоти ультразвуку, ступеня його поглинання, інтенсивності та інших характеристик.

При частоті 880 кГц і інтенсивності ультразвуку 2 Вт/см² 10⁻⁶ частинки біологічних тканин коливаються з амплітудою 3,5-610⁻⁶ см; максимальне прискорення частинок під час коливань досягає 9-5 м/с² (наближено до 105g); максимальний тиск в місцях згущення частинок середовища при поширенні ультразвукової хвилі досягає 2,7 ат. Надзвичайно велике прискорення частинок середовища і значні зміни тиску в місцях згущення (або розрідження) частинок середовища є визначальними в дії ультразвуку на тканини організму.

Швидкість поширення ультразвуку в повітрі 333 м/с, у воді наближено 1500 м/с, в м'яких біологічних тканинах (внутрішні органи, м'язи) в межах від 1450 до 1650 м/с, в кістковій тканині наближено 3500 м/с.

Вимірювання швидкості ультразвуку в тканинах використовується в медицині для оцінки їх стану, зокрема для оцінки ступеня демінералізації кісткової тканини.

В результаті поглинання, інтенсивність ультразвуку зменшується. Інтенсивність I ультразвуку на відстані x від джерела визначається із співвідношення:

$$I = I_0 e^{-\alpha x},$$

де I_0 - інтенсивність ультразвуку біля поверхні джерела;

- коефіцієнт поглинання, величина якого залежить від частоти ультразвуку, тиску, температури та інших характеристик середовища, в якому поширюється $\square$ ультразвук.

Зокрема, чим вища частота ультразвукових коливань, тим сильніше вони поглинаються. З врахуванням даної закономірності в фізіотерапії для дії на внутрішні органи і тканини використовують ультразвук з частотою 800-900 кГц, а в дерматології використовують ультразвук з частотою 2,5 - 3 МГц.

При частоті 880 кГц глибина проникнення ультразвукової енергії в м'язеві тканини складає 5 см, в жирові тканини - біля 10 см, в кістки - біля 0,3 см. При поглинанні, енергія ультразвукової хвилі перетворюється у внутрішню енергію середовища, в результаті чого воно нагрівається. Таким чином, під дією ультразвуку менше прогріваються жирові тканини, більше м'язеві і найбільше поверхневі кісткові тканини. В цьому полягає одна із відмінностей ультразвукової терапії від УВЧ-терапії.

Довжина хвилі ультразвуку, який використовується в терапії і діагностиці не перевищує 0,17 см. Завдяки малій довжині хвилі ультразвук може випромінюватись у вигляді напрямленого променя, а також фокусуватись за допомогою відповідних пристроїв. В місцях фокусування в малому об'ємі речовини інтенсивність ультразвуку може досягти 104 - 105 Вт/см².

Зфокусований ультразвук використовують для дії на нервові закінчення, руйнування глибоких структур мозку, руйнування новоутворень в м'язевих тканинах і т.п. Відстань l від джерела, на якій промінь залишається паралельним, залежить від співвідношення радіуса r поверхні випромінювача і довжини хвилі λ ультразвуку:

$$l = \frac{r^2}{\lambda}.$$

Біологічна дія ультразвуку на тканини є результатом комплексної дії - теплової, механічної, хімічної, електрофізичної.

Теплова дія пов'язана з поглинанням енергії ультразвукової хвилі. Тепло, яке виділяється в біологічній тканині, може привести до місцевого підвищення температури тканини, зміни швидкості протікання біохімічних процесів і, при великих інтенсивностях, до теплових пошкоджень тканин. При інтенсивності ультразвуку 1 Вт/см² і частоті 1 МГц протягом 5 хв., м'язева тканина може нагрітись на 5-70С.

Механічна дія ультразвуку пов'язана з коливальними зміщеннями частинок середовища в ультразвуковій хвилі. Механічна дія є суттєвою для біологічних тканин при інтенсивності 1 - 2 Вт/см². В рідинах і біологічних тканинах під впливом неперервного ультразвуку з інтенсивністю понад 0,3 Вт/см² можуть утворюватись мікробульбашки - кавітації, які заповнені парами рідини або розчиненими в ній газами. Кавітації майже миттєво виникають в місцях розрідження і миттєво зникають

в місцях згущення частинок середовища в ультразвуковій хвилі. Виникнення кавітації і її “захлопування” супроводжується виділенням теплоти, іонізацією і дисоціацією молекул речовини. Останнє приводить до хімічної дії ультразвуку - утворення іонів і вільних радикалів ($H^{\bullet}$, $\dot{H}$, $OH^{\bullet}$, $\dot{OH}$), які можуть за короткий час вступати в хімічні реакції з макромолекулами і макромолекулярними комплексами, суттєво змінюючи їх властивості. Дія ультразвуку прискорює зокрема реакції окислення і полімеризації.

Під дією ультразвуку в тканинах виникає змінний електричний потенціал (так званий вібропотенціал), величина якого при інтенсивності ультразвуку 1 Вт/см² близька до мембранного потенціалу. Вібропотенціал може викликати деполяризацію мембрани і змінити її проникливість для деяких іонів.

Дія ультразвуку може впливати на мікрооточення клітини, змінювати умови транспорту речовин через її мембрану.

В біологічній дії ультразвуку пороговою інтенсивністю вважається 0,01 Вт/см², нижче якої не змінюється проникливість клітинних мембран.

При опроміненні тканин ультразвуком з інтенсивністю до 1 Вт/см² виникає позитивний біологічний ефект. При цьому під дією ультразвуку цитоплазма клітин здійснює інтенсивні кругові рухи, в результаті яких прискорюються нормальні фізіологічні процеси.

При дії ультразвуку великих інтенсивностей (більших 1 Вт/см²) рух цитоплазми ще більше зростає, з'являються кавітаційні бульбашки. Поява кавітації веде до незворотніх порушень структури клітин. При тривалій дії ультразвуку великої інтенсивності відбувається повна гомогенізація тканин.

В фізіотерапії застосовують неперервний і імпульсний ультразвук з частотою коливань в межах 0,8 - 3 МГц і інтенсивністю 0,05 - 1 Вт/см².

В діагностиці використовують ультразвук з частотою 1 - 10 МГц в неперервному режимі при інтенсивності 0,05 Вт/см², а в імпульсному режимі (103 імпульсів за 1 с з тривалістю 10⁻⁶ с кожний) при інтенсивності 10 - 100 Вт/см².

В ультразвуковій хірургії використовують інструменти, ріжучий край яких неперервно коливається з частотою 10 - 100 кГц і амплітудою 5 - 50 мкм. Використовують також імпульсний і неперервний зфокусований ультразвук з частотою 0,05 - 5 МГц і інтенсивністю від 1 до 104 Вт/см².

В використанні ультразвуку значним досягненням є спосіб “зварювання” кісток. Поверхні кісток, які підлягають з'єднанню покривають рідкою пластмасою, яка під дією ультразвуку дифундує в кісткову тканину, утворює молекулярне з'єднання з кологеновою основою кістки, полімеризується і переходить в твердий стан. Весь процес полімеризації триває декілька десятків секунд. При цьому виникає досить стійке з'єднання кісток, яке не заважає утворенню в наступному звичайної кісткової мозолі.

Ультразвук з різними параметрами використовують для обробки інфікованих ран, миття і стерилізації хірургічних інструментів і матеріалів. Ультразвук значних інтенсивностей веде до загибелі вірусів, бактерій, грибків.

Ультразвук використовують також для фонофорезу, тобто введення в організм лікарських речовин через непошкоджену шкіру. Фонофорез відрізняється від електрофорезу тим, що при фонофорезі лікарські речовини проникають всередину

клітини, тоді як при електрофорезі вони концентруються здебільшого в міжклітинному просторі.

В ультразвуковій діагностиці використовується два методи: 1) УЗ-просвічування; 2) УЗ-локація.

УЗ-просвічування ґрунтується на різному поглинанні ультразвуку тканинами з різними акустичними властивостями (густиною і пружністю). При дослідженні через об'єкт в різних його точках пропускають УЗ-промінь певної інтенсивності, який після проходження через об'єкт реєструється за допомогою приймача ультразвуку розташованого на протилежному боці об'єкту. За зміною інтенсивності променя відтворюється тіньова картина внутрішньої будови об'єкту.

При УЗ-локації реєструються імпульси ультразвуку, відбиті від межі середовищ з різними акустичними опорами, які зустрічаються на шляху променя при проходженні через об'єкт.

На межі м'яких тканин і газу або рідин і газу спостерігається практично повне відбивання ультразвуку. На межі м'язової тканини і кістки відбивається 30 - 40% енергії ультразвукової хвилі.

Апарат УЗ-локації складається із: 1) генератора ультразвукових коливань; 2) перетворювача ультразвуку; 3) підсилювача; 4) осцилографа. Всі пристрої змонтовані в одному корпусі. Перехідне середовище, в якості якого використовують вазелінове або інше масло.

Кожному акту відбивання ультразвукової хвилі відповідає імпульс (максимум) на екрані осцилографа. Відстань між імпульсами дає можливість визначити глибину розташування шуканого об'єкту. Переміщуючи перетворювач ультразвуку можна з'ясувати форму об'єкта.

Апарат для діагностики за допомогою ультразвуку пухлин та інших новоутворень головного мозку називається ехоенцефалографом.

Крім ехоенцефалографа в медицині використовується ехокардіоскопи і так звані апарати УЗД (УЗИ) різних типів.

Використовуючи ефект Доплера за допомогою ультразвуку можна визначити швидкість кровотоку. Для цього випромінювач і приймач ультразвуку за допомогою катетера вводять в кров'яне русло (судину) і вимірюють доплерівський зсув частоти ультразвуку після його відбиття від формених елементів крові. Швидкість кровотоку визначається за формулою:

$$v_D = \frac{v \Delta \nu}{2\nu},$$

де $v\Delta$ - доплерівський зсув частоти;

- частота УЗ-генератора;

v - швидкість поширення ультразвуку в крові.

Ультразвукові терапевтичні апарати типу УЗТ-101 працюють на частоті 830 або 880 кГц, генерують ультразвук з дискретним регулюванням інтенсивності від 0,01 до 1 або 2 Вт/см². Працюють в неперервному і імпульсному режимах. Принцип роботи апарату ґрунтується на використанні генератора незатухаючих електромагнітних коливань, в якому паралельно до коливального контура під'єднується ультразвуковий перетворювач.

В процесі експлуатації ультразвукових терапевтичних апаратів здійснюють їх метрологічну перевірку, яка полягає у визначенні реальної інтенсивності

ультразвуку на виході апарату. Таку перевірку здійснюють за допомогою вимірювача потужності ультразвуку (ИМУ - 3 або інших). Відносна похибка інтенсивності при роботі ультразвукового апарату не повинна перевищувати 5%.

Тема 15. Електрогідравлічні установки.

План

1. Фізична природа електрогідравлічного ефекту.
2. Область застосування електрогідравлічного розряду.
3. Промислові електрогідравлічні установки.

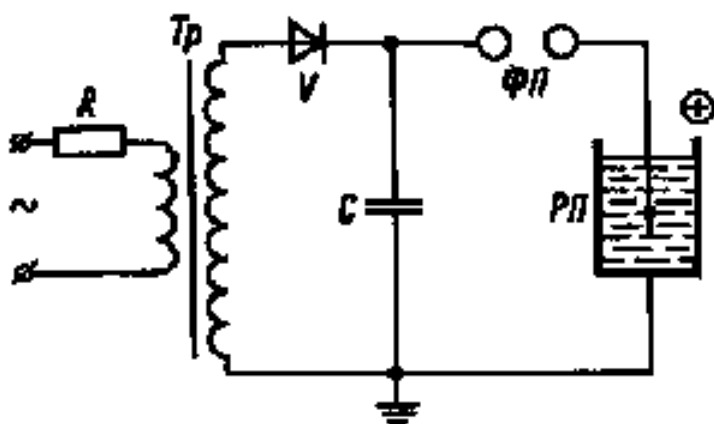
Електрогідравлічний ефект (ефект Л. О. Юткіна) — високовольтний електричний розряд у рідкому середовищі.

Електрогідравлічний ефект являє собою високовольтний електричний розряд у рідкому середовищі. При формуванні електричного розряду в рідині виділення енергії відбувається в плинні досить короткого проміжку часу. Потужний високовольтний електричний імпульс з крутим переднім фронтом викликає різні фізичні явища. Зокрема — появу надвисоких імпульсних гідравлічних тисків, електромагнітне випромінювання в широкому спектрі частот — інколи до рентгенівського, кавітаційні явища.

1. Фізична природа електрогідравлічного ефекту.

Електрогідравлічний розряд виникає при прикладенні до рідини імпульсної напруги, достатньої амплітуди і тривалості в результаті чого розвивається електричний пробій. Тривалість переднього фронту імпульсу струму розряду, який є неодмінною умовою ефекту Юткіна, — від часток мікросекунди, до декількох мікросекунд.

Для формування імпульсу з коротким переднім фронтом напруги, Юткін використовував газовий розрядник, а для формування певної енергії імпульсу — накопичувальний електричний конденсатор.



Робота електрогідроімпульсної установки припускає відносно повільний заряд накопичувального конденсатора від джерела живлення високої напруги, потім, при

досягненні напруги пробую розрядника, відбувається швидкий розряд конденсатора на розрядний проміжок в рідині

При електричному розряді в рідині виділяють три стадії: [стримерну](#), яскравого спалаху і [дугового розряду](#).

- **Стримерна стадія** триває від моменту подачі напруги на електроди і до завершення пробую проміжку. На цій стадії має місце ріст декількох стримерів на шляху найменшого опору між електродами. Закінчується ця стадія коли один з стримерів досягне протилежного електрода або зустрічного стримера. Тривалість стримерної стадії складає декілька мікросекунд.

- **Стадія яскравого спалаху.** Із закінченням стримерної стадії опір робочого проміжку різко падає і відбувається виділення більшої частини енергії, накопиченої в конденсаторі. Щільність струму в каналі розряду на 3 — 4 порядки вище, ніж у період стримерної стадії, і досягає сотень кілоампер. Канал розряду сильно світиться і тому ця стадія отримала назву яскравого спалаху. Збільшення каналу розряду приводить до зниження щільності струму в ньому.

- **Стадія дугового розряду.** При значних потужностях джерела енергії розряд з стадії яскравого спалаху переходить у дуговий, при якому струм підтримується за рахунок [термоемісії](#) катоду. Значна енергія, яка виділяється в каналі розряду приводить до нагріву речовини до десятків тисяч градусів, її випаровування та йонізації.

Зі зменшенням струму в розрядному контурі [плазма](#) в каналі охолоне і дейонізується, що при попередньому розширенні зони каналу приводить до створення порожнини зниженого тиску і до декількох циклів поширення-стиску, тобто до [кавітаційних](#) явищ.

Режимні параметри

Пробивна напруга на зазорі в рідині залежить від форми електродів, властивостей рідини і полярності напруги на електроді з більш високою напруженістю. Для технічної води при використанні гострого електрода негативної полярності середня пробивна напруженість може становити 1 кВ/см. У той же час, при позитивній полярності ця напруга зростає більш, ніж у 10 разів. Така різниця в пробивній напруженості пов'язана з різними механізмами розвитку високовольтного пробую в міжелектродному проміжку.

Для заряджання накопичувального [конденсатора](#), залежно необхідних умов обробки, використовується напруга до 100 кВ.

Застосування електрогідравлічного ефекту

Електрогідравлічний ефект використовують для очищення поверхонь, зняття внутрішніх напружень, [штампування](#), [зварювання](#), [електрогідравлічні молоти](#) і вібратори, [електрогідравлічні насоси](#), [дроблення](#) і [подрібнення](#) корисних

копалин, емульгування та деемльгування, зnezараження, у медицині — для дроблення каменів у нирках.

2. Область застосування електрогідравлічного розряду.

Електрогідравлічний удар як чинник підвищення ефективності органічних добрив у агропромисловому виробництві.

Проблематика. Розвиток агропромислового комплексу, інтенсифікація рослинництва спричиняють забруднення ґрунтів залишками добрив, гербіцидів. Тому актуальним завданням є зменшення кількості використовуваних мінеральних добрив, застосування сучасних екологічно безпечних агротехнологій. Серед перспективних способів отримання органічних добрив та обробки ґрунту заслуговує на увагу метод електрогідравлічного удару (ЕГУ). (1) який підхід сприяє збагаченню ґрунтів азотом, фосфором, покращенню їх структури та родючості. Мета. Оцінка впливу ЕГУ на якісний і кількісний склад органічних екстрактів (гною великої рогатої худоби, копролітів дощових черв'яків, курячого посліду) та впливу отриманих добрив на морфометричні показники проростків кукурудзи і вміст пігментів фотосинтезу.

Методика реалізації. Обробка органічних субстратів ЕГУ проводилась на імпульсному генераторі потужністю 5кВт. Визначення вмісту амонію у добривах – з реактивом Неслера, фосфатів – методом Лоурі–Лопеса, нітратів – з реактивом Грісса, гумінових кислот – УФ/Віз-спектроскопією. Морфометричні показники, вміст пігментів фотосинтезу проростків кукурудзи визначали на 7-му добу. Результати. Обробка ЕГУ сприяла збільшенню вмісту фосфатів, нітратів (15–60 %), амонію (8–14 %) і гумінових кислот (50–58 %) у добривах. Як наслідок, за дії оброблених добрив із курячого посліду і копролітів підвищувалися морфометричні показники проростків порівняно з варіантами без обробки ЕГУ (маса коренів – на 160–200 %). За впливу усіх органічних добрив після дії ЕГУ підвищувався також вміст пігментів фотосинтезу в рослинах: вміст каротиноїдів зростав на 8,7 % за використання курячого посліду і на 10 % для копролітів. Висновки. Обробка органічних відходів із гною великої рогатої худоби, копролітів дощових черв'яків та курячого посліду методом ЕГУ є ефективним підходом до одержання екологічно безпечних добрив, які характеризуються високим вмістом фосфатів, нітратів і амонію, що є сприятливим фактором при вирощуванні рослин, зокрема на ранніх стадіях. За дії органічних добрив з екстрактів з курячого посліду і копролітів істотно підвищувалися морфометричні показники проростків кукурудзи щодо контролю. Результати досліджень свідчать про перспективи продовження досліджень ефективності методу ЕГУ в різних галузях, зокрема для очищення і збагачення ґрунтів, обеззараження промислових стоків тощо. Ключові слова: органічні добрива; електрогідравлічний удар; проростки кукурудзи. Вступ Унаслідок хімізації світового агропромислового комплексу, що спричиняє зменшення продуктивності сільськогосподарських рослин і забруднення ґрунтів, а також відносно високої вартості органічних добрив суттєво зменшується їх використання. У той же час застосування відходів тваринництва, які утворюються щороку, зокрема гною великої рогатої худоби, ускладнюється необхідністю їх тривалої ферментації (2-3 роки). При використанні ж електрогідравлічного удару (ЕГУ) процес надходження поживних

речовин із органічних добрив до рослин можна значно пришвидшити. ЕГУ – це процес, що базується на створенні всередині рідини імпульсного високовольтного розряду, який супроводжується надвисоким тиском у зоні його дії

При ЕГУ формується канал розряду з високою температурою. В каналі, який має невеликий переріз, виникає інтенсивне локальне розігрівання рідини, в якому конденсується енергія перегрітого іонізованого газу і пари. При інтенсив- Inнов Biosyst Bioeng, 2022, vol. 6, no. 2 57 ному виділенні енергії швидкість розширення каналу може перевищити швидкість звуку, внаслідок чого формується ударна хвиля. Окрім цього, компоненти цього розряду стимулюють зміну енергетичного стану та хімічної структури речовин і суспензій, що приводить до швидкого переходу їх компонентів у рідину [4]. Встановлено, що хімічні реакції у ґрунтах і воді після обробки ЕГУ перебігають швидше, що пояснюється підвищеною активністю ферментів (порівняно з природними процесами без обробки) [5, 6].

Мета дослідження – оцінити вплив ЕГУ на якісний і кількісний склад органічних екстрактів (гною великої рогатої худоби, копролітів дощових черв'яків, курячого посліду) та вплив отриманих добрив на морфометричні показники проростків кукурудзи і вміст пігментів фотосинтезу.

Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою програмного пакета Microsoft Excel, визначаючи середнє арифметичне, стандартну похибку. Результати. На першому етапі роботи було визначено вміст фосфатів, амонію, нітратів і гумінових кислот в екстрактах органічних добрив до та після їх обробки ЕГУ. Після обробки ЕГУ вміст фосфатів в отриманих з гною добривах збільшувався не істотно: для курячого посліду зростав на 8,2 %. Разом із тим спостерігалось істотніше підвищення вмісту нітратів у одержаних добривах: на 13,7 % для копроліту, на 16,7 % для гною і на 61 % для курячого посліду (рис. 2). Після обробки органічних добрив методом ЕГУ вміст амонію також підвищувався: для гною – на 10,4 %, для копроліту – на 14,3 % і для курячого посліду – на 7,8 %.

Результати досліджень свідчать про значне підвищення вмісту гумінових кислот в органічних добривах після обробки ЕГУ: за використання копроліту – на 50,5 %, гною – на 54,5 %, курячого посліду – на 58,3 % (рис. 4). Наступним етапом були порівняльні дослідження впливу одержаних органічних добрив (до та після обробки ЕГУ) на морфометричні показники рослин і вміст пігментів фотосинтезу (рис. 5–8). Встановлено, що довжина пагонів проростків кукурудзи за використання гною і курячого посліду, оброблених ЕГУ, дещо зменшувалась порівняно з необробленими субстратами, проте для копроліту цей показник підвищувався на 460 % (рис. 5). Своєю чергою, довжина кореня у варіанті з екстрактом гною, обробленим ЕГУ, також зменшувалась, залишаючись незмінною за використання курячого посліду, проте підвищувалась на 160 % за дії копроліту (рис. 5). Рисунок 1: Вміст фосфатів у органічних добривах до та після обробки електрогідравлічним ударом (ЕГУ), КП – курячий послід

Результати показують, що маса пагонів за використання добрива з гною, обробленого ЕГУ, зменшувалась порівняно з необробленим субстратом, зростала з обробленим курячим послідом на 25,6 %, а з копролітами – у 4 рази. На відміну від пагонів, маса коренів, у варіантах з усіма дослідженими органічними добривами, обробленими ЕГУ, підвищувалась (порівняно з необробленими): для гною – на 160 %, для курячого посліду – на 100 %, для копроліту – 200 %.

Дослідження вмісту пігментів фотосинтезу – хлорофілів – у рослинах показали, що їх загальний вміст за дії органічних добрив, оброблених ЕГУ, у всіх досліджених варіантах підвищувався порівняно з необробленими субстратами або був на рівні контролю.

Вміст каротиноїдів у проростках кукурудзи при застосуванні органічних добрив, оброблених ЕГУ (порівняно з необробленими), підвищувався на 8,7 % за використання курячого посліду та на 10 % для копролітів.

Результати проведених досліджень показали, що екстракт курячого посліду після обробки ЕГУ виявився найбільш перспективним серед досліджених варіантів – із високим вмістом мінеральних речовин у доступній для рослин формі. Відомо, що при обробці торфу ЕГУ пригнічується життєдіяльність мікрофлори, проте по закінченню його дії стрімко розвиваються азотфіксуючі мікроорганізми (наприклад, бактерії роду *Azotobacter*) [16–18]. Стимуляція азотфіксуючої діяльності ґрунтових мікроорганізмів – це спосіб дешевого зв'язування атмосферного азоту, який, зокрема, сприяє збагаченню ґрунту гуміновими кислотами (ГК). Відомо, що ГК є основним компонентом найважливішої складової частини органічної речовини ґрунту – гумусу. Завдяки своїм біологічним властивостям ГК більш доступні для кореневої системи рослин. Як біополімери вони забезпечують високу ємність катіонного та аніонного обміну, хелатну здатність, можуть стимулювати ріст, забезпечувати азотне та зольне харчування рослин. Також, за даними японських учених, використання ЕГУ позитивно впливає на стійкість рослин до ураження фітопатогенами, зокрема *Ralstonia solanacearum* – збудником ураження розсади томатів (*Solanum lycopersicum*), та підвищує продуктивність рослини.

Це підтверджує ефективність цього методу для рослинництва та є важливим внеском в екологічно безпечне рослинництво. Innov Biosyst Bioeng, 2022, vol. 6, no. 2 61 Встановлено підвищення вмісту мінеральних речовин і гумінових кислот в органічних екстрактах, оброблених ЕГУ, у доступних для рослин формах, що можна використати для зменшення кількості мінеральних добрив для живлення рослин. При вирощуванні сільськогосподарських культур важливими показниками, що вказують на підвищення врожайності та зниження негативного впливу довкілля, є ростові параметри та вміст пігментів фотосинтезу в рослинах.

Так, у роботі досліджено вплив ЕГУ на проростання насіння пшениці та ранні стадії вегетативного росту в умовах стресу: посухи і засолення. Було показано збільшення поглинання води, підвищення схожості насіння та підвищення значення індексу толерантності пагонів і коренів. Отримані нами результати (див. рис. 5–8) вказують на збільшення ростових показників та вмісту пігментів фотосинтезу в рослинах за дії органічних добрив, оброблених ЕГУ, що свідчить про ефективність запропонованого підходу до добрив природного походження у рослинництві. Висновки Встановлено ефективність використання методу ЕГУ для оброблення екстрактів органічних субстратів (гною великої рогатої худоби, копролітів дощових черв'яків, курячого посліду). Показано, що дія ЕГУ сприяла збільшенню вмісту фосфатів, нітратів (на 15–60 %), амонію (8–14 %) і гумінових кислот (50–58 %) в отриманих добривах. Як наслідок, оброблені добрива із курячого посліду і копролітів сприяли підвищенню морфометричних показників проростків (порівняно з варіантами без обробки ЕГУ): маса коренів збільшувалася на 160–200 %,

підвищувався також вміст пігментів фотосинтезу в рослинах: вміст каротиноїдів зростав на 8,7 % за використання курячого посліду і на 10 % – для копролітів. Отже, використання розроблених органічних добрив є позитивним чинником для вирощування рослин (особливо на початкових етапах розвитку), а також сприяє зменшенню кількості внесення мінеральних добрив. Результати досліджень свідчать про перспективи продовження досліджень ефективності методу ЕГУ в різних галузях, зокрема, для очищення і збагачення ґрунтів, обеззараження промислових стоків тощо.

3. Промислові електрогідравлічні установки.

З потоку юткінських ідей

Воістину неосяжна область, де вже використовується і може бути використаний електрогідравлічний ефект Юткіна. Таким способом очищають метал від окалини та іржі, штампують і зміцнюють деталі, отримують і ущільнюють металеві порошки. ЕГЕ можна використовувати для буріння і подрібнення гірських порід, збагачення руд, очищення стічних вод. За методами Юткіна дроблять не тільки гігантські валуни на полях, а й каміння в сечоводах, нирках і жовчному міхурі. Йому належить проект електрогідравлічною очищення вод Чорного моря від сірководню. Воістину потік ідей.

Електрогідравлічний ефект (ЕГЕ) - новий промисловий спосіб перетворення електричної енергії в механічну, що відбувається без посередництва проміжних механічних ланок, з високим ККД. Сутність цього способу полягає в тому, що при здійсненні всередині об'єму рідини, що знаходиться у відкритому чи закритому посуді, спеціально сформованого імпульсного електричного розряду, навколо зони його утворення виникає надвисокий гідравлічний тиск, здатний здійснювати корисну механічну роботу, що супроводжуються комплексом фізичних і хімічних явищ.

В основі електрогідравлічного ефекту лежить раніше невідоме явище різкого збільшення гідравлічного і гідродинамічного ефектів і амплітуди ударної дії при здійсненні імпульсного електричного розряду в іонопровідній рідині за умови максимального скорочення тривалості імпульсу, максимально крутому фронті імпульсу і формі імпульсу, близького до аперіодичної.

Автор вперше спостерігав електрогідравлічний ефект у відкритій посудині, заповненій рідиною (водою). Вже в ході перших експериментальних досліджень було встановлено, що при пробі рідини ... навколо каналу розряду виникає зона високого тиску, діаметр якої пропорційний потужності імпульсу. Високий гідравлічний тиск в міру віддалення від розряду швидко падає, приблизно пропорційно квадрату відстані від нього.

Рідина, отримавши прискорення від розширюючогося з великою швидкістю каналу розряду, переміщається від нього на всі боки, утворюючи на тому місці, де був розряд, значну за обсягом порожнину, названу кавітаційною, і викликаючи перший (основний) гідравлічний удар.

Електрогідравлічні установки барабанного типу періодичної дії служать для очищення дрібного литва чорних і кольорових металів. При обертанні барабана з насипаними в нього виробами, такими, що підлягають очистці, кожен з них

періодично потрапляє під дію електрогідравлічних ударів від розрядів, що виникають з одного або групи електродів, на масу виробів, розташованих під ними.

Установки типу «швабра» призначені для електрогідравлічної очистки поверхонь великих по масі (більш 100-200 т) або розмірами виливок і виконуються у вигляді чаші з одним або групою електродів всередині неї, в яку при роботі безперервно подається вода, що заповнює порожнину чаші. Виникаючі в чаші електрогідравлічні удари при переміщенні пристрою по литтю, відшаровують забруднення і очищають площині громіздких виливок.

Пристрій для розрізання безперервно рухаючогося прокату виконується у вигляді ванни з водою - для холодного або з розплавом солі - для гарячого металу. У середній частині ванни розташовується масивний упор-ніж, а в нижній її частині проти упору-ножа розміщується розрядна камера з електродами. Для отримання мірної довжини відрізка прокату розрядний імпульс дається через фотоелемент, встановлений на заданій відстані від місця розрізу.

Установка, яка використовує потужну дію електрогідравлічних ударів на поршень, розміщена в циліндрі з рідиною, що являє собою електрогідравлічний молот або кувальний пристрій. Під дією власної ваги циліндр з поршнем, що лежить на оброблюваному виробі, вільно переміщаються в напрямних станини молота при електрогідравлічних ударах.

Найбільш ефективною областю застосування електрогідравлічного дроблення є дроблення кімберлітів - алмазоносних руд, що містять незначну частку відсотка дорогоцінних алмазів щодо загальної маси. Алмаз - матеріал, легко витримує величезне всебічне стиснення, але досить нестійкий, крихкий до механічних ударів. Тому алмаз, не руйнуючись, легко протистоїть величезним тискам, що виникають при електрогідравлічних ударах, навіть перебуваючи всередині зони руйнування, але може зруйнуватися від удару обо інших алмазів, або про шматки твердої породи в ті моменти, коли він стикається з ними поблизу поверхні зони каналу розряду (в області надвисоких тисків). Однак так як алмазів в породі дуже мало і порода не дуже тверда, то ймовірність такого зіткнення мізерно мала.

Як показує досвід, навіть при спеціальному завантаженні в електрогідравлічну дробарку декількох кристалів алмазу разом з шматками найбільш твердих включень, що містяться в кімберлітах, було отримано найтонше роздрібнення всієї породи без будь-яких пошкоджень самих алмазів.

В даний час на ряді підприємств успішно експлуатуються електрогідравлічні дробарки для дроблення алмазів, скла, кварцу. Так, тільки одна така дробарка, що працює на Кабардино-Балкарському заводі алмазного інструменту, дає щорічну економію близько 1 млн.

Теоретично обгрунтовано та підтверджено експериментами, що електрогідравлічний ефект як метод механічного, фізичного і хімічного впливу на матеріали може ефективно застосовуватися для багатьох цілей в хімічній промисловості: полімеризації - ускладнення молекулярної структури речовин, отримання блок-полімерів, щеплених полімерів і т.п.; деполімеризації - спрощення молекулярної структури речовин; синтезу хімічних сполук - отримання вже відомих або нових з'єднань; підвищення активності каталізаторів; прискорення хімічних реакцій; освіти багатовалентних іонів, що виникають під впливом надпотужних полів, тисків, температур та інших факторів, що супроводжують процес

електрогідравлічною обробки; випадання опадів - прискорення кристалізації або уповільнення її; прискорення розчинення речовин; обриву сорбційних та інших слабких хімічних зв'язків з переходом в розчин, пов'язаних з оброблюваним матеріалом хімічних елементів або сполук.

Електрогідравлічною обробкою можна отримувати стійкі емульсії самих різних речовин, наприклад бензин - вода, китовий жир - вода і т.п., Можна також гомогенізувати звичайне молоко. Деякі емульсії, отримані цим шляхом, не розшаровуються роками.

Електрогідравлічний спосіб отримання емульсій надзвичайно перспективний для отримання стерильних емульсій. В одному з дослідів отримана електрогідравлічним емульгуванням емульсія з соняшникової олії і води в кількості до 20 см³ вводилася в кров піддослідним кроликам. З 14 піддослідних тварин жоден з них не загинув, хоча вихідні продукти були далеко нестерильні (водопровідна вода, розливна олія). Звідси можна зробити висновок не тільки про високу дисперсність отриманої емульсії (її частки безперешкодно пройшли через капіляри), але і про знезаражуючу дію електрогідравлічного емульгування.

За допомогою електрогідравлічної обробки можна успішно відокремити гуму від корду в зношених резінокордових виробах. Для цього непридатні гумокордні вироби (автопокришки, гумове взуття) подрібнюють на рубальних машинах, а потім піддають електрогідравлічною обробці на жорстких режимах в дробарках піщаного типу.

Утворена після електрогідравлічної обробки суміш розкуйовджених ниток корду і частинок гуми сушать і подають на чесальні машини, де корд і гума повністю відокремлюються одна від одної. Позбавлена корду, ретельно промита електрогідравлічною обробкою гума може знову йти у виробництво. Розкуйовджений і розчесаний корд, виділений зі старих гумових виробів, являє собою обрізки волокон довжиною в 1-2 см, які завдяки високим якостям початкового матеріалу можуть бути вдруге використані в текстильній промисловості. Інтенсифікувати процес електрогідравлічного відділення гуми від корду можна, використовуючи в якості робочого середовища бензин або водну емульсію бензину.

Електрогідравлічні удари здатні викликати у воді поява активних вільних радикалів, атомарних кисню і водню, утворення сполук азоту і навіть найпростіших амінокислот. Повітря та інші гази, розчинені у воді, сприяють здійсненню цих процесів.

У дослідях, поставлених на початку 50-х років, було виявлено, що мікробна флора води, в першу чергу бактеріальна, під дією електрогідравлічних ударів інтенсивно гине. Виходячи з того, що електрогідравлічний ефект є потужним джерелом ультразвуку (звуковий тиск при роботі електрогідравлічної установки в діапазоні 10-40 кГц на відстані 1 м від джерела становить 2-10 б/Па), можна вважати, що ультразвук служить однією з основних причин, що викликають інтенсивну загибель мікроорганізмів.

У природних умовах переважна більшість складних солей ґрунту можна вважати нерозчинними в воді, яка, до речі, по суті, не так розчиняє, скільки розкладає або руйнує їх, здійснюючи цей процес надзвичайно повільно, протягом десятків років. Спочатку вода забирає у солі деяку частину, переводячи її в більш

прості сполуки. Потім решта все ще складною (не менше, ніж раніше) солі під подальшою дією води знову «спрощується». Так триває до тих пір, поки вихідні ґрунтові солі не перетворюються в кінцеві, найпростіші, з можливих в конкретних умовах мінеральні сполуки (SiO_2 , AlO_3 , Fe_2O_3 і т.д.). А ось при електрогідравлічній обробці ґрунту всі розглянуті процеси різко (до сотих часток секунди) - прискорюються та до того ж їх можна зробити керованими, тобто вибірково впливати на їх перебіг.

Досліди показали, що якщо електрогідравлічно обробляти, «дробити» звичайну поливну воду, взятую з будь-якого водоймища, то в ній швидко збільшується кількість розчинених сполук азоту. До того ж крізь неї можна під невеликим тиском продувати повітря, що складається на 78% з азоту, газоподібний азот і навіть вихлопні гази, які, пройшовши таким чином утилізацію, стануть менше забруднювати атмосферу. А результат - разуючий: звичайна поливна вода стає багатим азотом добривом!

Можна стверджувати, що прямо в полі з ґрунту, зрошувальної води і навіть повітря електрогідравлічний ефект здатний добувати для рослин поживні речовини, тобто удобрювати без добрив. І про запаси сировини не варто турбуватися - вони практично невичерпні.

Електрогідравлічний плуг може працювати на сильно перезволожених полях в періоди весняного або осіннього бездоріжжя, на які так щедра нечерноземная зона, а також на рисових чеках. Ріжуча частина плуга рухається в ґрунті на певній глибині, що задається нескладним механічним пристроєм. На плужній рамі закріплені сошники. У передній леміш вмонтований кабель, нижній кінець якого (позитивний електрод) вигнутий назад по ходу і, виступаючи назовні, утворює з кінцем заднього сошника (негативний електрод) робочий іскровий проміжок. Між кінцями ножів електродів, в середовищі насиченою вологою землі, з певною частотою формуються іскрові розряди. Електрогідравлічні удари інтенсивно диспергують ґрунт, розпушують, не перегортаючи, її верхній шар і ущільнюють нижній. Ножів-електродів може бути кілька, тому що опір ґрунту переміщенню такого плуга у багато разів менше, ніж при звичайній оранці.

Електрогідравлічний детонатор - одне з найбільш нескладних пристроїв, що використовують ЕГ-ефект. Два електрода, змонтовані в загальному корпусі і утворюють робочий іскровий проміжок, вставляють в пробурених в валуні шпур, заповнений водою, подають струм від силової установки - і ось електрогідравлічний удар безшумно і без осколків розколює камінь. Експериментальні установки для руйнування негабаритів були першими, які наочно і переконливо продемонстрували міць електрогідравлічного ефекту в виробничих умовах.

Секрет «безосколкового вибуху» дуже простий. Під дією квазігідростатичного тиску, супроводжуючого ЕГ-удар, валун не рветься, як при використанні вибухівки, а розколюється, немов розсовуючись зсередини за рахунок ущільнення обсягу матеріалу каменю. Тому-то навіть в шпурі немає дрібних уламків, кам'яної крихти або піску. Тріщини завжди утворюються спочатку в нижній частині шпуру - поблизу зони розряду і вже потім починають поширюватися в сторони і переважно вгору, до гирла шпуру, поки не досягнуть зовнішньої поверхні. Дійшовши до устя шпуру, основна тріщина починає швидко розширюватися вправо і вліво від нього, ніби в

камінь забили невидимий клин, потім виходить до країв брили, і, расклинений таким чином, валун лопається - розколюється зверху вниз.

Могутність електрогідравлічного удару, що настільки зримо заявив про себе при розколюванні гігантських негабаритів, дивно поєднується з його філігранною точністю і вражаючою «дбайливістю», які проявилися в зовсім іншій сфері - медицині при руйнуванні маленьких каменів в сечовому міхурі і сечоводах людини. Дослідження, проведені з кінця 50-х років спочатку в Ризі, а потім у Києві, завершилися серійним випуском апаратів типу «Урат» і «Байкал», які отримали визнання в багатьох країнах світу. У 1981 році за цю роботу Л. А. Юткін був посмертно удостоєний Державної премії УРСР в галузі науки і техніки.

Активно тривала і розробка різних модифікацій пересувних і стаціонарних електрогідравлічних установок для руйнування негабаритів. Дослідно-промисловий зразок пересувної установки «Вулкан К-32» успішно пройшов комплекс міжвідомчих випробувань і був рекомендований до серійного виробництва. Перша дослідна партія «Вулканів» була випущена в 1978 році. Вся установка, включаючи і вбудований в неї дизельгенератор, розміщується на двовісному причепі і транспортується до місця проведення робіт автомобілем або трактором.

Експлуатаційний розрахунок економічної ефективності показав, що застосування тільки однієї установки типу «Вулкан» або аналогічної їй ЕГУРН дає значні щорічні прибутки, не кажучи вже, що використання таких установок супроводжується істотним спрощенням і зниженням трудомісткості робіт, підвищенням безпеки їх проведення. Крім того, частини розколотих валунів можна тут же, на місці, переробляти з допомогою портативної електрогідравлічної дробарки в будівельний щебінь. Зараз ЕГ-установки по безосколковому руйнуванню валунів знаходять в народному господарстві все більш широке застосування.

Навчально-методична література

Основні джерела

Підручники

1. Матвійчук В. А., Рубаненко О. Є., Стаднійчук І. П. Електротехнології в АПК: навчальний посібник. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. - 272 с

2. Червінський Л.С., Сторожук Л.О. Електричне освітлення та опромінення: Посібник. – К.: Вид-во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013. – 246 с.

3. Шебанін В.С., Бацуровська І.В., Гавриш В.І., Грубань В.А. Електротехнології в АПК : навч. посіб. / за заг. ред. акад. В.С. Шебаніна – Миколаїв : МНАУ, 2022. – 326 с

Методичне забезпечення

4. Електротехнології в АПК: Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Електротехнології та електроосвітлення» для студентів очної та дистанційної форм навчання ОС «Магістр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.Ф.Яковлев, Рясна О.В. – Суми: СНАУ, 2020. – 47 с.

5. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Електротехнології в агропромисловому комплексі» проф. Яковлев В.Ф., ас. Стриж В.О. Суми.: СНАУ, 2017 р. – 40 с.

6. Електротехнологічні комплекси і процеси в галузі: методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Ю. Стьопін та ін. Мелітополь : ТДАТУ, 2019. 100 с.

Додаткові джерела

7. Малярєнко В. А. Енергетичні установки: навч. посіб. / В. А. Малярєнко. - Х.: САГА, 2008. - 320 с.

8. Матвієнко М.П. Основи електротехніки. Підручник. Кю: Ліра К. ,2018, 224 с.

9. Орел О. Теплові процеси в переробній галузі: методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування». Мелітополь : ТДАТУ, 2021. 100 с.

10. Ратушняк Г. С. Енергозбереження та експлуатація систем теплопостачання: навч. посіб. / Г .С. Ратушняк, Г. С. Попова. — Вінниця : ВДТУ, 2002.-120 с.

11. Фізико-технологічні та електрофізичні властивості сільськогосподарських продуктів і матеріалів: навч. посіб. / Г. Б. Іноземцев, Л. С. Червінський, О. М. Берека, О. В. Окушко. - К. : Аграр Медіа Груп, 2010 - 180 с.

Інформаційні ресурси.

12. Дистанційний курс з дисципліни «Електротехнології в АПК» в середовищі Moodle / [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу:

<https://cdn.snau.edu.ua/moodle/course/view.php?id=5276>

Сіренко Віктор Федорович
Вольвач Тетяна Сергіївна
Лисенко Віта Василівна

Основи електротехнологій в сільському господарстві

Конспект лекцій для здобувачів вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» 2 курсу (*денної та заочної форми навчання*) за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет,
вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку _____ 2024 р. Формат А5: Гарнітура. Times New Roman.

Тираж 5 примірників Замовлення 2,0 Ум. др. арк.
