

**КАФЕДРИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ – 80 РОКІВ**

***О.М. Берека, Л.С. Червінський, доктори технічних наук
О.Ю. Синявський, кандидат технічних наук
Л.О. Сторожук, кандидат історичних наук***



Колектив кафедри електропривода та електротехнологій

Застосування електричної енергії у виробничих процесах сільськогосподарського виробництва викликала потребу у кваліфікованих кадрах. Це обумовило створення у 1932 р. перших у СРСР факультетів електрифікації сільського господарства у Московському і Київському інститутах механізації і електрифікації сільського господарства.

Засновником і першим деканом факультету електрифікації сільського господарства Київського інституту механізації і електрифікації сільського господарства був професор С. І. Іноземцев. У 1932 р. на факультеті була лише одна спеціалізована кафедра загальної електротехніки, на якій викладалися загальнотехнічні дисципліни.

У зв'язку з необхідністю викладання спеціальних дисциплін для підготовки інженерів-електриків у 1934 р. була створена кафедра електропривода і застосування електроенергії в сільському господарстві.

У 1934 – 1941 рр. кафедру очолювали доценти А. В. Орловський, В.Г. Холмський та професор М.М. Васильєв. На кафедрі викладалися такі

дисципліни: електропривод (проф. Васильєв М.М.); застосування електричної енергії (Гордієнко В.М); електричні мережі і ЛЕП (доц. Кустовський Г.Г.); електричні станції і підстанції (доц. Орловський А.В.).

Під час Великої Вітчизняної війни підготовка кадрів велася в м. Алма-Ати на базі Казахського сільськогосподарського інституту. Туди ж було вивезено і обладнання спеціальних лабораторій. Частина викладацького складу захищала країну на фронтах: професор І.І. Мартиненко, доценти В.М. Гайдук, В.Ф. Гончар, В.С. Олійник, М.М. Терпило та майстер виробничого навчання Т.М. Кадніков.

Після звільнення Києва навчання розпочалося у 1944 р. Відновлення навчальної і лабораторної бази велося паралельно з навчальним процесом на об'єднаній кафедрі електричних машин та електропривода, якою завідував професор С.І. Іноземцев.

У 1949 р. за ініціативи доцента С.П. Бондаренка була поновлена кафедра застосування електричної енергії в сільському господарстві. Крім завідувача, на кафедрі працювали асистенти В.С. Олійник та О.Г. Піддубний.

С.П. Бондаренко очолював кафедру впродовж 15 років.

Після 1963 р. кафедру очолювали доцент В.С. Олійник (1964–1969 та 1974 – 1986), професор І.І. Мартиненко (1969 – 1973), професор Г.Є. Кістень (1986 – 1994), доцент Є.Л. Жулай (1994 – 2004), професор Л.С. Червінський (2004 – 2014). Нині кафедру очолює доктор технічних наук, професор О.М. Берека. Кожний із завідувачів кафедри успішно вирішував питання, пов'язані з її навчальною та науковою діяльністю.

У 1937 р. зі складу кафедри виділилася кафедра виробництва і розподілу електричної енергії в сільському господарстві, у 1972 р. – кафедра експлуатації та ремонту електрообладнання, а в 1974 р. ще одна кафедра – автоматизації сільського господарства.

У різні роки на кафедрі працювали професори Г.С.Квачов, Г.Б. Іноземцев, доценти В.О. Бондар, В.М. Гайдук, В.Ф. Гончар, О.С. Марченко, М.М. Неділько, Т.П. Резніченко, М.П. Салата, М.М. Скрипник, М.М. Терпило, Л.П. Тищенко, С.С. Шевель, асистенти О.Г. Бугайчук, В.М. Демченко, І.М. Єфіменко, І.В. Кучеренко, В.Ф. Марченко, М.М. Мойсєєв, В.С. Харсун, К.А. Шматко.

За час існування кафедри було виконано наукові роботи та захищено 38 дисертацій. З них докторські – О.М. Берека, І.І. Мартиненко, М.М. Скрипник, Л.С. Червінський та кандидатські – О.М. Берека, В.О. Бондар, Г.М. Борщ, В.М. Гайдук, М.Т. Гренішен, Є.Л. Жулай, Г.Я. Іванов, Т.С. Книжка, М.М. Коваленко, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, С.Я. Меженний, П.П. Мельник, Нгуєн Ван А (В'єтнам), М.М. Неділько, В.С. Олійник, П.В. Олійник, О.В. Окушко, О.П. Пасічна, В.Я. Подобайло, Т.П. Резніченко, В.В. Савченко, М.П. Салата, Ю. М. Соловійов, Л.О. Сторожук, М.М. Терпило, Л.П. Тищенко, Ю.О. Тимошенко, С.М. Усенко, Церенноровин Ендосамбуу (Монголія), Л.С. Червінський, М.О. Чуєнко, І.І. Шарамок, С.С. Шевель.

Нині на кафедрі працюють завідувач кафедри, доктор технічних наук, професор О.М. Берека, доктор технічних наук, професор Л.С. Червінський,

доценти, кандидати технічних наук Г.М. Борщ, І.М. Голодний, Б.М. Ковалишин, Ю.М. Лавріненко, П.В. Олійник, В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, кандидат історичних наук Л.О. Сторожук, асистенти, кандидати технічних наук Т.С. Книжка, С.М. Усенко, асистенти В.М. Комаров, О.І. Романенко, навчально-допоміжний персонал – І.Є. Наумовський, І.А. Кукса, Є.А. Пляченко.

Кафедра є профільною і базовою для підготовки бакалаврів за напрямом «Енергетика і електротехнічні системи в АПК» і магістрів за спеціальністю «Електрифікація і автоматизація сільського господарства». На кафедрі проводяться заняття зі студентами бакалаврату та магістратури факультетів енергетики і автоматики, інженерії агробіосистем, комп'ютерних технологій, педагогічного, викладається понад 40 дисциплін, виконується курсове проектування з 4 дисциплін.

Шість навчальних лабораторій кафедри оснащені сучасним обладнанням і є одними з кращих серед споріднених факультетів вищих навчальних закладів України. Їх становлення безпосередньо пов'язане з ім'ям В.С. Олійника та Г.Є. Кістєня. Значний внесок у розвиток сучасної лабораторної бази кафедри також зробили навчальні майстри Т.М. Кадніков, В.Ю. Клименко, О.Д. Кобко, О.Х. Костенко, П.М. Кривенда, лаборант О.М. Лісовий.

Лабораторія електричного освітлення та опромінення започаткована професором В.М. Кияницею, реконструйована С.С. Шевелем та Л.С. Червінським. Лабораторія оснащена сучасними зразками світильників та джерел оптичного випромінювання. У ній виконуються лабораторні роботи з вимірювання світлотехнічних та енергетичних параметрів ламп розжарювання і газорозрядних ламп різних видів. У лабораторії проводяться заняття з дисциплін «Електротехнології та електроосвітлення», «Оптичні електротехнології», «Спектрографічні методи дослідження якості обробки сільськогосподарської продукції», «Проектування освітлювальних систем і мереж».

Сучасна лабораторія електропривода сільськогосподарських машин (рис. 1) створена Є.Л. Жулаєм, О.М. Лісовим, О.Ю. Синявським. Реконструйована у 2011 р. доцентами О.Ю. Синявським та В.В. Савченком. Лабораторія оснащена сучасними апаратами керування і захисту, низьковольтними комплектними пристроями керування, тиристорними перетворювачами напруги і частоти струму, мікропроцесорними пристроями програмного керування, регульованими електроприводами. В лабораторії проводяться лабораторні заняття з дисциплін «Основи електропривода», «Електропривод виробничих машин і механізмів», «Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній», «Автоматизований електропривод», «Типовий електропривод», «Електропривод виконавчих механізмів у системах автоматики».

Лабораторія основ електропривода (рис. 2) створена доцентом В.С. Олійником у 1965 р. Реконструйована доцентом О.С. Марченком і навчальним майстром П.М. Кривендою у 1992 р. Лабораторія оснащена сучасними системами електропривода з тиристорним керуванням та перетворювачем частоти. Крім того, виконуються лабораторні роботи з дослідження двигунів постійного струму з незалежним і послідовним

збудженням, асинхронних електродвигунів з короткозамкненим і фазним ротором. У лабораторії проводяться заняття з дисциплін «Основи електропривода», «Автоматизований електропривод», «Регульований електропривод», «Моделювання регульованого електропривода».



Рис. 1. Лабораторні заняття в лабораторії електропривода сільськогосподарських машин проводить доцент О.Ю. Синявський



Рис. 2. Лабораторні заняття в лабораторії основ електропривода проводять доценти Ю.М. Лавріненко та І.М. Голодний

Лабораторія електронагрівання та електротехнологій створена доцентами М.П. Салатою та Г.М. Борщем у 1993 р. Вона оснащена водонагрівачами, електрокалориферами, електрозварювальним обладнанням та установками електронно-іонних технологій. Тут проводяться заняття з дисциплін «Електротехнології та електроосвітлення», «Електротехнології в АПК», «Електротехнології обробки сільськогосподарської продукції», «Обробка сільськогосподарської продукції у полі коронного розряду».

Лабораторія електротехнологічних методів дослідження та обробітку сільськогосподарської продукції створена доцентами М.П. Салатою та О.М. Берекою у 2004 р. Вона оснащена сучасним електротехнологічним обладнанням. У лабораторії проводяться заняття з дисциплін «Електротехнологічні методи дослідження та обробітку сільськогосподарської продукції», «Електротехнології обробітку сільськогосподарської продукції», «Електронно-іонні технології в АПК».

Сучасна лабораторія електрообладнання сільськогосподарської техніки створена у 1992 р. під керівництвом доцента Ю.М. Лавріненка при активній участі асистента В.М. Демченка та студентів В. Куценка і О. Миколаєнка. У лабораторії проводяться заняття з дисциплін «Типовий електропривод», «Електропривод і автоматизація», «Електрифіковані технології в АПК». Лабораторія оснащена сучасним лабораторним обладнанням і вимірювальними приладами, яке дозволяє проводити дослідження електроприводів, нагрівальних, освітлювальних і опромінювальних установок.

Кафедра керує виробничими практиками, багато працює над покращенням рівня електрифікації технологічних процесів у навчально-дослідних господарствах НУБіП України, особливо у відокремленому підрозділі «Агрономічна дослідна станція». Щороку на кафедрі захищається понад 100 дипломних проектів бакалаврів і студентів магістратури.

Наукова діяльність кафедри бере свій початок з довоєнних років. Перші наукові напрями – раціональне використання електроенергії в сільському господарстві – започаткував професор С.П.Бондаренко, розробкою і впровадженням освітлювальних та опромінювальних установок керував проф. В.М. Кияниця. У подальшому багато досліджень проводилося у напрямках автоматизації установок мікроклімату та електротехнологій під керівництвом академіка УААН І.І. Мартиненка.

На кафедрі сформувалася наукова школа «Електротехнології в біотехнічних системах», засновником якої був доктор технічних наук, професор Г.Є. Кістень. Його послідовники О.М. Берека, Л.С. Червінський, О.Ю. Синявський, Ю.В. Герасимчук разом зі своїми учнями проводять дослідження із впливу електричних, магнітних, електромагнітних полів та випромінювань на біологічні об'єкти та продукти їх переробки з метою вдосконалення існуючих, або створення нових електротехнологічних процесів, установок та систем, направлених на підвищення кількості та якості виробництва, переробки та зберігання біологічних об'єктів, продукції і сировини.

На базі кафедри у 2011р.професором О.М. Берекою створена проблемна науково-дослідна лабораторія «Електротехнологічні процеси та системи в АПК», основними напрямками досліджень якої є електротехнологічні процеси в біотехнічних системах під дією енергії електричного поля високої напруженості; електротехнології та електротехнічні комплекси для вирощування, переробки та зберігання сільськогосподарської продукції, електротехнічні комплекси в тваринництві та птахівництві (рис.3, 4).

Нині на кафедрі навчається 4 аспіранти під керівництвом професорів О.М. Береки та Л.С.Червінського. Науковці і викладачі кафедри проводять наукові дослідження з вдосконалення електропривода сільськогосподарських машин та застосування новітніх електротехнологій в агропромисловому виробництві.

Вченими кафедри опубліковано понад 700 наукових та навчально-методичних праць, одержано понад 40 авторських свідоцтв та патентів, передано у виробництво 30 наукових розробок, розроблено 3 стандарти організацій України.

Серед останніх розробок кафедри – електротехнологічні комплекси обробки зернової продукції в електричному полі високої напруги (розробники Берека О.М., Усенко С.М., Науменко О.В.) (рис.5), передпосівної обробки сільськогосподарських культур у магнітному полі (Савченко В.В., Синявський О.Ю.) (рис. 6), установка для обробки насіння сільськогосподарських культур ультрафіолетовим та інфрачервоним випромінюванням (Червінський Л.С., Романенко О.І.).



Рис. 3. Професор О.М. Берека, асистенти С.М. Усенко, О.В. Науменка та аспірант Д.Ю. Ілюхін проводять наукові дослідження в проблемній науково-дослідній лабораторії



Рис. 4. Доценти В.В. Савченко та О.Ю. Синявський проводять дослідження електротехнологічного комплексу для магнітної обробки сільськогосподарської продукції



Рис. 6. Електротехнологічний комплекс обробки зернової продукції в електричному полі високої напруги



Рис. 6. Електротехнологічний комплекс магнітної обробки сільськогосподарської продукції

Кафедра завжди займала провідне місце у виданні підручників та навчальних посібників. Не було жодного з 24 факультетів електрифікації в аграрних вузах СРСР, де б не використовувалися книги «Применение электрической энергии в сельском хозяйстве» (співавтор професор Бондаренко С.П.), «Практикум по автоматизированному электроприводу» В.С. Олійника, «Курсовое и дипломное проектирование по комплексной электрификации и автоматизации» (автори Мартиненко І.І. та Тищенко Л.П.). Найпопулярнішим для практичного використання серед електриків України є «Довідник сільського електрика» за редакцією В.С. Олійника, який уже витри-

мав три перевидання. За роки становлення незалежної України співробітниками кафедри видані підручники «Електропривод» (співавтори Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Синявський О.Ю.), «Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній» (співавтори Жулай Є.Л., Лавріненко Ю.М., Марченко О.С.), «Моделювання регульованого електропривода» (Голодний І.М., Лавріненко Ю.М., Червінський Л.С.), навчальні посібники «Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві» (Марченко О.С., Лавріненко Ю.М., Жулай Є.Л., Салата М.П., Борщ Г.М.), «Практикум з електропривода» (Олійник В.С., Марченко О.С., Жулай Є.Л., Лавріненко Ю.М.), «Електропривод і автоматизація» (співавтори Синявський О.Ю., Савченко В.В., Лавріненко Ю.М.), «Фізико технологічні та електрофізичні властивості сільськогосподарських продуктів і матеріалів» (співавтори Берека О.М., Червінський Л.С.), «Регульований електропривод. Теорія. Моделювання» (співавтори Голодний І.М., Лавріненко Ю.М., Червінський Л.С., Савченко В.В.), «Електричне освітлення та опромінення» (Червінський Л.С., Сторожук Л.О.).

Кафедра тісно співпрацює із Всеросійським інститутом електрифікації сільського господарства. Викладачі кафедри брали участь у міжнародних наукових конференціях, які проводилися в ВІЕСГ, наукові праці викладачів опубліковані в міжнародних виданнях.

Кафедрою надається постійна допомога регіональним вищим навчальним закладам НУБіП України. Викладачі кафедри читають лекції, проводять лабораторно-практичні заняття та здійснюють курсове і дипломне проектування в Бережанському і Ніжинському агротехнічних інститутах, Немішаївському агротехнічному коледжі. Кафедра сприяє підготовці викладачів і науковців, керуючи науково-дослідною роботою аспірантів та здобувачів.

Основними завданнями навчально-методичної та наукової роботи кафедри електропривода та електротехнологій є:

- підготовка фахівців у галузі електрифікації та автоматизації сільського господарства;

- створення і впровадження у навчальний процес електронних навчальних посібників для самостійної підготовки студентів;

- широке застосування у навчальному процесі пакетів комп'ютерних програм з моделювання та дослідження електроприводів та електрообладнання;

- періодична модернізація навчальних лабораторій сучасним обладнанням;

- забезпечення безперервного процесу розвитку наукової школи кафедри шляхом підготовки аспірантів і докторантів як резерву наукових і викладацьких кадрів кафедри, активної участі у популяризації Національного університету біоресурсів і природокористування України та його ННІ енергетики і автоматики, запрошення провідних фахівців та вчених для підвищення кваліфікації випускників.

ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КІЛЬЦЕВОГО РОТОРА БЕЗКОНТАКТНОГО ДУГОСТАТОРНОГО ІНДУКТОРНОГО ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

В.В. Козирський, доктор технічних наук
М.І. Трегуб, кандидат технічних наук

Наведено методи оптимізації геометричних параметрів функціональних деталей кільцевого ротора безконтактного дугостаторного індукторного вітроелектричного генератора, що відповідають головним спільним вимогам аеродинамічної та електромеханічної систем.

Вітроелектричний індукторний генератор, кільцевий ротор, оптимальні геометричні розміри.

Актуальним завданням при створенні безтрансмійної вітроелектричної установки (БВЕУ) вважається розробка безконтактного дугостаторного електрогенератора з кільцевим ротором великого діаметра, що дозволяє [5] досягати більш високих лінійних швидкостей електромагнітноактивних елементів без втрат енергії у механізмах мультиплікації. Загальна ідея кільцеподібної конструкції ротора горизонтально-осьової БВЕУ відома досить давно [3, 8]. Однак тоді розглядалися конструктивні схеми, технічна реалізація яких за існуючих рівнів розвитку техніки і технологій була надто складною. Відомі також приклади вирішення окремих технічних задач, наприклад удосконалення аеромеханічної системи БВЕУ [6], або розробка магнітоелектричного дугостаторного генератора [7]. Але загальні методи обґрунтування оптимальних геометричних параметрів функціональних деталей кільцевого ротора безконтактного дугостаторного вітроелектричного генератора, які б задовільняли головні спільні вимоги аеродинамічної та електромеханічної систем потребують подальших досліджень.

Мета досліджень – обґрунтування методів оптимізації геометричних параметрів функціональних деталей кільцевого ротора безконтактного дугостаторного індукторного вітроелектричного генератора, які відповідають головним спільним вимогам аеродинамічної та електромеханічної систем.

Матеріали та методика досліджень. Методами теоретичного аналізу визначали вплив геометричних параметрів кільцевого ротора одночасно на аеродинамічні та електромеханічні показники. Порівнювалися відомі довідкові значення магнітної проникності матеріалів окремих ланок магнітної системи.

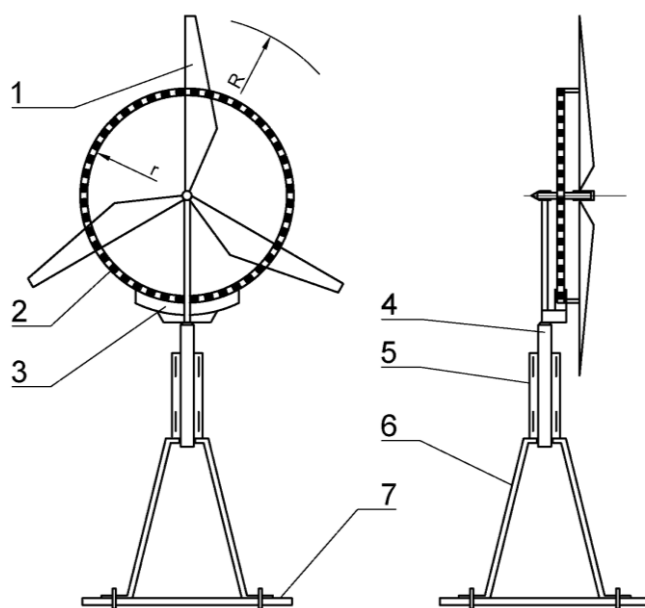


Рис.1. Загальна конструктивна схема БВЕУ із кільцевороторним дугостаторним електрогенератором:

1 – лопать; 2 – кільцевий ротор; 3 – дуговий статор; 4 – поворотна щогла; 5 – маточина поворотної щогли; 6 – опорний стояк; 7 – фундамент;
 R – радіус обертання кінців лопатей; r – радіус кільцевого ротора

Результати досліджень. Загальна конструктивна схема запропонованої [5] БВЕУ із кільцевороторним дугостаторним генератором зображена на рис.1.

Така конструкція БВЕУ принципово дозволяє отримати високі швидкості руху полюсних елементів ротора без енергетичних втрат у багаступінчастих механізмах мультиплікатора. Крім того, за кільцеподібної конструкції відкритого ротора електрогенератора із дуговим статором існує технічна можливість виконання магнітної підвіски усього корпусу вітродвигуна за рахунок притягувальної сили магнітного потоку через повітряний проміжок між ротором і статором, що може забезпечити часткове, або повне розвантаження підшипникового вузла і горизонтальної осі від радіального навантаження, викликаного силою ваги. Одночасно кільцевий корпус ротора, встановлений на спільній з лопатями горизонтальній осі, принципово підвищує їхню механічну міцність у порівнянні з традиційним одноточковим консольним кріпленням, що дозволяє виготовляти лопаті більш тонкими з вищою аеродинамічною якістю. Не менш важливою є принципова технічна можливість використання кільцеподібного корпусу ротора безпосередньо як безтрансмійного механічного акумулятора енергії, що суттєво зменшує вплив нерівномірності миттєвих швидкостей вітру.

Проте встановлення кільцевого ротора навіть обтічної форми на обв'язній площі вітродвигуна впливає на його аеродинамічні показники. Тому, була визначена [2] пріоритетна послідовність виконання головних умов мінімізації енергетичних втрат у загальній аеро-електромеханічній

системі перетворення енергії вітру. Загальна методика формулювання основних вимог до конструктивних параметрів і принципового типу вітроелектричного генератора полягала у ранжуванні їхньої пріоритетності та визначенні умов досягнення оптимальних співвідношень між ними. Так найбільш пріоритетними вважаються аеродинамічні вимоги, оскільки ними обумовлена енергоефективність процесу приймання енергії вітрового потоку аеромеханічною системою ВЕУ. У свою чергу система обмежень досконалості аеродинамічних форм і розмірів кільцевого ротора викликана необхідною механічною міцністю конструкції, а також технічними можливостями виконання вітроелектричного генератора заданої потужності. Таким чином, були сформульовані такі інтегровані вимоги до конструкції кільцевого ротора:

- кільцевий корпус ротора дугостаторного генератора повинен мати видовжену відносно напрямку вітру обтічну форму профілю з мінімальним аеродинамічним перетином, обмеженим лише умовами механічної міцності та радіальними розмірами полюсів;

- механічна міцність кільцевороторної конструкції повинна забезпечуватися виконанням монолітної структури електромагнітно функціональних і корпусних деталей кільцевого ротора, встановленого на горизонтальній осі та сполученого аксіальними тягами з лопатями, а також за рахунок використання безконтактної силової дії магнітного поля між ротором і статором;

- монолітна структура корпусних і функціональних деталей кільцевого ротора з мінімальним аеродинамічним профілем повинна забезпечувати технічну реалізацію максимальної кількості та необхідної геометричної форми і розмірів його полюсних елементів.

Наведені інтегровані технічні вимоги дозволяють синтезувати загальні контури конфігурації електромагнітної системи кільцевороторного дугостаторного вітроелектричного генератора. Так серед принципово можливих варіантів оптимальною визначено радіально-кільцеву конфігурацію електромагнітної системи БВЕУ, схематично зображену на рис.2.

Головними аргументами щодо визначення радіально-кільцевої конфігурації як оптимального варіанта електромагнітної системи були наявні принципові технічні можливості максимального порівняно з іншими варіантами виконання більшості спільних вимог. У межах визначеної конфігурації детально аналізували взаємозалежні розміри функціональних деталей електромагнітної системи генератора з метою оптимізації абсолютних і відносних геометричних параметрів.

Загальна методика оптимізації полягала у поєднанні варіаційного методу з однобічним обмеженням варіативних геометричних параметрів. Так радіальна висота h кільцевого ротора оптимізувалася компромісними вимогами аеромеханічної системи у напрямі забезпечення мінімального аеродинамічного опору та вимогами електромагнітної системи з необхідністю максимальної зміни величини магнітної провідності механічним рухом полюсних елементів ротора. Сегментна ширина b феромагнітного елемента не мала аеродинамічних обмежень, а її

оптимальний розмір визначався спільно із аксіальною довжиною ℓ взаємно альтернативними умовами виконання максимальної кількості полюсів ротора та максимальної магнітопровідної площі їх перетину. При цьому аксіальна довжина ℓ у межах заданих конструктивних розмірів також вважалася незалежною від аеродинамічних вимог.

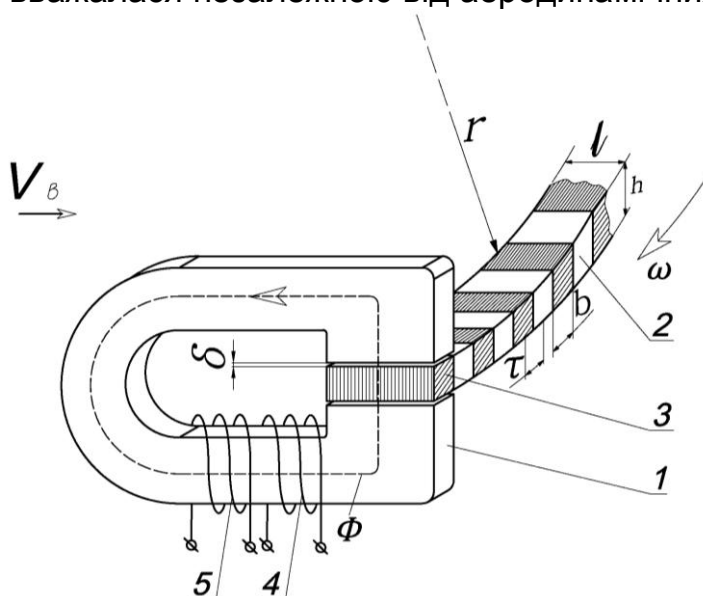


Рис. 2 Схематичне зображення елементарної ділянки електромагнітної системи індукторного генератора радіально-кільцевої конфігурації:

1 – магнітопровід секції статора; 2 – діамагнітна ділянка полюсного поділу ротора; 3 – феромагнітний полюсний елемент ротора; 4 – якірна обмотка; 5 – обмотка збудження; Φ – шлях магнітного потоку; δ – робочий повітряний проміжок; r – радіус кільцевого ротора; b , ℓ , h – габаритні розміри функціональних елементів ротора; V_β – орієнтовний напрямок вітру

Оскільки в цій системі величина потокозчеплення за незмінної кількості витків і сили струму збудження залежить лише від провідності Λ магнітного кола, то оптимальним геометричним розміром h прийнято таке його мінімальне значення, яке за певних аеродинамічних обмежень забезпечує максимальні зміни цього параметра від $\Lambda_{\text{макс}}$ до $\Lambda_{\text{мін}}$ для індуктування максимальної е.р.с.

Максимальне значення магнітної провідності кола $\Lambda_{\text{макс}}$ буде у положенні повного перекривання феромагнітним елементом ротора проміжку магнітопроводу статора і розраховуватиметься за виразом:

$$\Lambda_{\text{макс}} = \frac{1}{(R_\delta + R_\phi)} = \frac{1}{\frac{2\delta}{\mu_0 bl} + \frac{h}{\mu_\phi bl}} = \frac{bl}{\frac{2\delta}{\mu_0} + \frac{h}{\mu_\phi}}, \text{ Гн},$$

де R_δ – магнітний опір повітряного проміжку, Гн^{-1} ; R_ϕ – магнітний опір феромагнітного елемента ротора, Гн^{-1} ; μ_0 – магнітна проникність повітряного проміжку, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$; μ_ϕ – магнітна проникність феромагнітного елемента ротора, Гн/м .

Оскільки $\mu_{\phi} \gg \mu_0$, то $\Lambda_{\max}$ залежить головним чином від розмірів робочого повітряного проміжку δ , а радіальна висота h феромагнітного елемента ротора на цей показник практично не впливає.

За відсутності магнітного насичення магнітопроводу статора залежність мінімальної магнітної провідності $\Lambda_{\min}$ подібна до зміни провідності магнітного кола зміною величини повітряного проміжку поперечного перетину магнітопроводу. Мінімального значення магнітна провідність $\Lambda_{\min}$ набуватиме за повного перекривання міжполюсного проміжку діамагнітною ділянкою ротора висотою h і без врахування явища випинання силових ліній магнітного поля визначатиметься виразом:

$$\Lambda_{\min} = \frac{1}{(R_{\delta} + R_d)} = \frac{1}{\frac{2\delta}{\mu_0 bl} + \frac{h}{\mu_d bl}}, \text{ Гн},$$

де R_d – магнітний опір немагнітопровідної ділянки полюсного поділу ротора, Гн^{-1} ; μ_d – магнітна проникність діамагнітного матеріалу немагнітопровідної ділянки полюсного поділу ротора, Гн/м , яку для розрахунків з достатньо високою точністю можна вважати $\mu_d = \mu_0$. Тоді мінімальна магнітна провідність розраховується простою залежністю від геометричних розмірів:

$$\Lambda_{\min} = \frac{bl\mu_0}{(h + 2\delta)}.$$

Вплив цього ж розміру на аеродинамічний опір кільцевого корпусу ротора можна оцінити силою лобового опору F_a його обвійної поверхні, яка розраховується за виразом:

$$F_a = C_x S_M \frac{\rho V^2}{2}, \text{ Н},$$

де C_x – коефіцієнт сили лобового опору (довідкові значення); S_M – міделевий (максимальний поперечний) перетин корпусу кільцевого ротора, м^2 , який для аксіального профілю буде:

$$S_M = \pi h(2r + h),$$

де r – радіус внутрішньої доцентрової поверхні кільцевого ротора, м .

Тоді сила опору обвійної поверхні кільцевого ротора загалом матиме вираз:

$$F_a = C_x S_M \frac{\rho \cdot V^2}{2} = C_x \pi \rho V^2 (rh + 0.5h^2), \text{ Н}.$$

Подібним до залежності міделевого перетину буде також і вираз для кількісної оцінки зменшення обвійної площі вітроподвигуна вітровим затіненням кільцевим ротором:

$$\Delta S_K = S_M = \pi(2rh + h^2),$$

де ΔS_K – площа вітрового затінення кільцевим ротором, м^2 .

Ці вирази показують, що величина аеродинамічного опору кільцевого ротора і площа вітрового затінення ним вітроподвигуна мають слабовиражену параболічну залежність від радіальної висоти h кільця, оскільки $r \gg h$.

Ще одним важливим показником впливу розмірів кільцевого ротора на турбулентний характер обтікання його вітровим потоком є критерій Рейнольдса. Так за певної швидкості вітру і незмінної температури та в'язкості повітря, критерій Рейнольдса для ділянки кільцевого ротора описуватиметься виразом:

$$Re = \frac{Vh}{\eta_{\Pi}},$$

де V – швидкість вітру, м/с; h – радіальна висота кільцевого профілю варіативний лінійний розмір, м; η_{Π} – коефіцієнт в'язкості повітря, м²/с.

Висота профілю кільцевого ротора h у цьому критерії є характерним варіативним розміром, оскільки діаметр, а також аксіальна довжина профілю мають фіксовані значення. На графіку (рис.3) залежність критерію Рейнольдса від розміру h за певної швидкості вітру V зображатиметься прямою, що виходить із початку координат із кутом нахилу, пропорційним швидкості вітру.

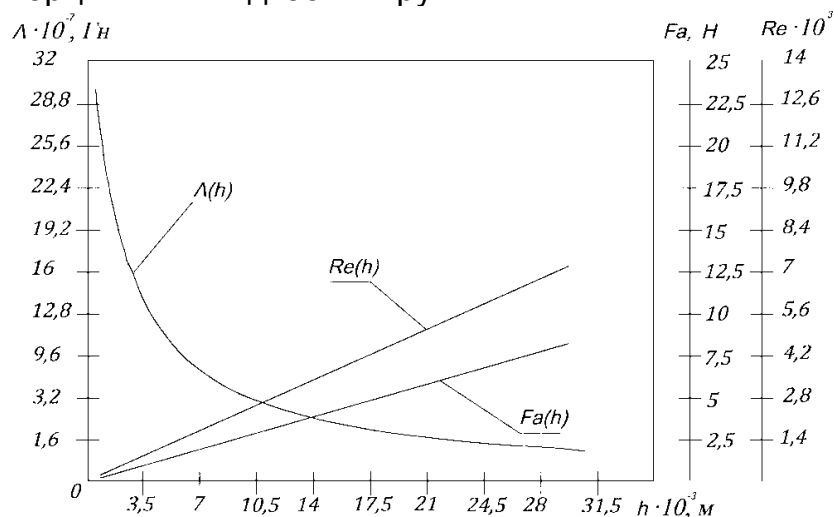


Рис.3. Залежності мінімальної магнітної провідності $\Lambda_{\min}$ немагнітної ділянки полюсного поділу ротора від радіальної висоти h та сили аеродинамічного опору F_a і критерію Рейнольдса Re від цього ж аргументу за незмінної швидкості вітру

Числові значення зображених функцій розраховані за незмінних конструктивних розмірів r , b , l і швидкості вітру 4 м/с.

З аналітичних залежностей можна отримати абсолютні значення максимальної та мінімальної магнітної провідності, а їх різниця $\Delta\Lambda$ визначитиметься за виразом:

$$\Delta\Lambda = \Lambda_{\max} - \Lambda_{\min} = \frac{bl}{\frac{2\delta}{\mu_0} + \frac{h}{\mu_\phi}} - \frac{bl\mu_0}{(h+2\delta)}, \text{ Гн.}$$

Принцип дії кільцевороторного індукторного генератора базується на індукванні е.р.с. за рахунок гармонійної зміни магнітної провідності механічним рухом полюсних елементів ротора. Для індукторних генераторів з електромагнітним збудженням значення електромагнітної

сили, яка створює електромагнітний момент, можна отримати через змінний параметр магнітної провідності Λ магнітного кола системи:

$$F_M = -0.5(iw)^2 \frac{d\Lambda}{dx}, \text{ Н},$$

де iw – добуток струму збудження на число витків обмотки; $d\Lambda/dx$ – похідна магнітної провідності в координатах лінійного руху феромагнітного елемента ротора через міжполюсний проміжок секції статора.

Тобто цільова функція зміни магнітної провідності буде:

$$\Delta\Lambda \rightarrow \text{MAX}.$$

На підставі аналізу наведених залежностей максимальне і мінімальне значення магнітної провідності розраховується за відомих геометричних розмірів і магнітних проникностей матеріалів відповідно феромагнітного полюсного елемента ротора та діамагнітної ділянки міжполюсного проміжку. Оскільки функції аеродинамічного опору та критерію Рейнольдса, а також магнітної провідності залежні від одного аргументу, то за умови сумірності масштабів оптимальні значення цього аргументу визначатимуться координатами точок перетину графіків (див. рис.3). Важливо, що всі названі функції скрізь безперервні, а в нижній частині мінімальна магнітна провідність із зростанням аргументу h асимптотично наближається до нульового значення, маючи виражену ділянку максимальної зміни похідної. Таким чином, система геометричних параметрів має голономний характер за рахунок фіксованих обмежень інших варіативних аргументів. Згідно з цією методикою множина оптимальних значень радіальної висоти h кільцевого ротора обмежується координатами точок перетину функції мініимальної магнітної провідності та функцій сили лобового опору і критерію Рейнольдса у діапазоні найімовірніших змін швидкості вітру. Оптимальне значення $h_{\text{опт}}$ може визначатися як середнє арифметичне значення аргументу між точками перетину графіків.

Очевидно, що наведені теоретичні розрахунки потребують суттєвих уточнень впливу розмірів міжполюсних відстаней ротора на додаткову магнітну провідність через потоки розсіювання, однак це можна просто врахувати числовою поправкою до абсолютного значення $\Lambda_{\text{мін}}$.

Крім узагальнених різносистемних вимог, сформульовані також принципи вимоги до конструктивного виконання безконтактних вітроелектричних генераторів, подібно до описаних у [1], із врахуванням специфіки використання їх на вітроустановці:

- відсутність на роторі обмоток з рухомими контактами;
- технічна можливість виконання мініимального аеродинамічного профілю;
- стійкість до механічних пошкоджень та дії атмосферних факторів;
- мініимальні масогабаритні показники одиниці об'ємної потужності;
- мініимальний магнітний момент за відсутності навантаження;
- мініимальні витрати дорогих магнітних та провідникових матеріалів.

За результатами теоретичного аналізу цих вимог визначено індукторний тип безконтактного кільцеворотного дугостаторного

вітроелектричного генератора та обґрунтовано спосіб мінімізації загального моменту, створеного магнітними потоками збудження окремих секцій статора. Таким чином, система обмежень визначає орієнтовні мінімально допустимі розміри полюсного поділу кільцевого ротора і за відомого його діаметра розраховується загальна кількість полюсів.

Однак діаметр кільцевого ротора є предметом оптимізації також і для аеромеханічної системи, оскільки повинен мати узгоджені показники швидкохідності з відповідними показниками основних лопатей. Згідно з цією методикою запропонована [5] конструкція кільцевого ротора, встановленого на внутрішньокільцевих лопатях, повинна мати кутову швидкість обертання, однакову із основними лопатями вітрогенератора, що принципово можливо лише за умови:

$$Z_r = Z_R \frac{r}{R},$$

де Z_r – швидкохідність кільцевого ротора, в.о.; Z_R – швидкохідність лопатевого вітрогенератора, в.о.; R – радіус кола обертання кінців основних лопатей вітрогенератора, м; r – радіус кільцевого ротора, м.

Оскільки розрахункова потужність БВЕУ залежить головним чином від розмірів основних лопатей, то радіус кільцевого ротора буде функціонально залежним від цього базового аргументу і визначатиметься виразом:

$$r = R \frac{Z_r}{Z_R}.$$

Ця залежність визначає загальну послідовність розрахунку оптимальних геометричних параметрів усієї аеро-електромеханічної системи БВЕУ, оскільки всі розміри взаємозалежні та згідно з наведеною методикою підпорядковані сформульованим у пріоритетній послідовності обмежувальним вимогам.

Висновки

1. Діаметр кільцевого ротора визначається за розрахованими відповідно до заданої потужності розмірами лопатей та співвідношенням відповідних швидкохідностей.

2. Оптимальний розмір радіальної висоти кільцевого ротора визначається методом знаходження мінімальної площі перетину його аксіального профілю та одночасно мінімальної магнітної провідності немагнітної ділянки полюсного поділу, залежних від спільного аргументу за незмінних інших габаритних показників.

3. Вибір оптимальної радіально-кільцевої конфігурації магнітного кола системи обумовлений максимальною відповідністю спільним головним вимогам аеродинамічної та електромеханічної систем.

Список літератури

1. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины / Д.А. Бут. – М.: Высш. шк., 1990. – 416 с.
2. Козирський В.В. Методологія вибору типу і геометричної конфігурації кільцеворотного дугостаторного генератора безредукторної вітроелектричної

установки. / В.В. Козирський, М.І. Трегуб // Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК: міжнар. наук.- практ. конф.: тези доповідей. – К., 2013. – С. 57 –58.

3. Ляхтер В.М. Что может дать энергия ветра / В.М. Ляхтер // Наука в СССР. – 1991. – №1. – С.58 – 65.

4. Пат. №101118 Україна, МПК H02K19/20, H02K21/38 Індукторний аксіальний генератор / Трегуб М.І., Козирський В.В. – № а 2012 00837; заявл. 27.01.2012; опубл.25.02.2013, Бюл.№4.

5. Пат. №32851 Україна, F 03D 1/00. Безредукторна вітроенергетична установка/ Трегуб М.І. № и 2007 02848; заявл.19.03. 2007; опубл.10.06.2008, Бюл.№11.

6. Пат. №79610 Україна, F 03D 1/00. Безредукторна електромеханічна вітроустановка / Трегуб М.І., Василенко О.С. – и 2012 12856; заявл.12.11. 2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. №8.

7. Трегуб Н.И. Обоснование типов и параметров электрогенераторов для безредукторных ветроэлектрических установок / Н.И. Трегуб, В.В. Гребеников, М.В. Приймак // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2012. – Вип. 31. – С. 67 – 73.

8. Шефтер Я.И. Изобретателю о ветродвигателях и ветроустановках./ Я.И. Шефтер, И.В. Рождественский. – М.: Изд-во МСХ СССР, 1957. – 145 с.

Приведены методы оптимизации геометрических параметров функциональных деталей кольцеобразного ротора бесконтактного дугостаторного индукторного ветроэлектрического генератора, которые соответствуют главным общим требованиям аэродинамической и электромеханической систем.

Ветроэлектрический индукторный генератор, кольцевой ротор, оптимальные геометрические размеры.

Considers the methods to optimization of geometrical parameters of functional elements annual rotor in the contactless arc-shape stator with induction wind power generator, which correspond to the main common requirements of the aerodinamic and wind electro-mechanic systems.

Induction wind power generator, annual rotor, optimal geometrical parameters

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СРЕД

**А.А. Долинский, академик НАН Украины
Б.Х. Драганов, доктор технических наук**

Приведены основы соотношения симметрии Онсагера-Казимира и принципы сопряжения термодинамических сил и потоков. Проанализированы закономерности гидродинамики многокомпонентных сред для ламинарных и турбулентных потоков.

Соотношения Онсагера-Казимира, принципы Кюри и Пригожина, энергия Гиббса, удельная плотность источника, конституальные соотношения, феноменологический метод, турбулентность.

Проблему гидродинамики многокомпонентных сред можно решать кинетическим или феноменологическим методами. Феноменологический метод, основанный на применении законов механики сплошной среды и неравновесной термодинамики к макроскопическому объему смеси, не связан с постулированием конкретной микроскопической модели взаимодействия частиц и применим для широкого класса сред.

Основываясь на положениях неравновесной термодинамики [1, 8], принципы взаимности Онсагера-Казимира могут сыграть существенную роль при моделировании реальных многоатомных газовых смесей. В этом отношении заслуживает внимание работа [4], в которой, одной из первых коэффициенты многокомпонентной диффузии определены как симметричные.

Цель исследований – приведение основ моделирования многокомпонентных ламинарных и турбулентных потоков методом неравновесной термодинамики.

Материалы и методика исследований. Прежде, чем применить формализм неравновесной термодинамики непрерывных сред к описанию процессов тепломассопереноса в потоке многокомпонентной смеси, приведем кратко суть тех основных постулатов, которые лежат в основе теории. Они могут быть практически использованы при термодинамическом анализе любого необратимого процесса (протекающего, в том числе, и в турбулизованном континууме).

В линейной неравновесной термодинамике в качестве определяющих соотношений, которые дополняют систему гидродинамических уравнений сохранения, применяются феноменологические соотношения необратимых процессов (соотношения Онсагера):

$$J_k = \sum_{l=1}^Q L_{kl} X_l, \quad (k=1,2,\dots,Q), \quad (1)$$

где Q – число независимых физических процессов: L_{kl} – матрица феноменологических (кинетических) коэффициентов, связывающая между собой потоки J_k и термодинамические силы X_l .

Для экстенсивных величин (таких как масса, энергия) существуют законы сохранения. Переносимые величины (такие как теплота) связаны с потоками в законах сохранения. Потоки и термодинамические силы в (1) являются, в общем случае, тензорными величинами любого ранга. Как было упомянуто выше, в рамках феноменологической теории явный вид кинетических коэффициентов в (1) не расшифровывается, однако их физический смысл может быть выяснен в молекулярно-кинетической теории (Ферцигер, Капер, [3]). Число отличных от нуля кинетических коэффициентов в (1) ограничивается принципом Кюри [1], согласно которому, в силу свойств симметрии рассматриваемой материальной среды, компоненты (здесь составляющие векторов вдоль осей координат) потоков будут зависеть не от всех компонентов термодинамических сил. Так, в частном случае изотропной системы (свойства которой в равновесном состоянии одинаковы во всех направлениях), процессы разной тензорной размерности не взаимодействуют друг с другом. Кроме того, при аксиоматическом подходе принимаются в качестве независимого постулата соотношения симметрии Онсагера-Казимира (принцип взаимности):

$$L_{kl}(\mathbf{B}, \Omega) = \varepsilon_k \varepsilon_l L_{lk}(-\mathbf{B}, -\Omega), \quad (2)$$

позволяющие свести до минимума число феноменологических коэффициентов в линейных соотношениях (1). Здесь B – магнитная индукция, $T\Omega$ – угловая скорость вращения системы, с^{-1} , а $e_k = 1$ для четных (энергия, концентрация), $e_k = -1$ для нечетных (плотность импульса) макроскопических параметров (четных и нечетных функций скоростей частиц). Для изотропной невращающейся системы

$$L_{kl} = L_{lk}, \quad (3)$$

где L_{kl} – скалярные величины. Соотношения симметрии (3) могут считаться эмпирически устойчивой аксиомой, независимо от них доказательства в рамках статистической механики.

Для определения потоков и сопряженных им термодинамических сил используется обычно конкретное представление скорости производства (плотности источника) энтропии $\sigma_{(s)}$ внутри системы в рассматриваемом необратимом процессе в виде билинейной формы:

$$T\sigma_{(s)} = \sum_{k=1}^Q J_k X_k \geq 0, \quad (4)$$

причем, после того как определены потоки J_k , сопряженные им силы X_k находятся однозначно, как коэффициенты перед соответствующими потоками.

Результаты исследований. Рассмотрим газовую смесь, состоящую из N компонентов. Термогидродинамическим параметрам, которые

относятся к разным компонентам смеси, будем присваивать различные индексы, в качестве которых используются буквы греческого алфавита α , β . Макроскопически смесь будем рассматривать как один континуум с усложненными свойствами, характеризуемый системой переменных состояний, к которым в первую очередь можно отнести среднемассовую плотность $\rho(r, t)$, температуру $T(r, t)$, термодинамическое давление $p(r, t)$ и числовые плотности $n_\alpha(r, t)$ ($\alpha = 1, 2, \dots, N$) химических компонентов смеси. Переменные состояния являются функциями времени t и пространственных координат x , y , z в относительной системе координат, неподвижной относительно планеты.

Уравнение субстанционального баланса для любого определяющего параметра смеси $A(r, t)$ (т.е. параметра, характеризующего состояние сплошной среды и ее динамику, в частности, мгновенное состояние турбулизованной смеси), может быть записано в следующем общем виде:

$$\rho dA / dt = -J_{(A)j} + \sigma_{(A)}. \quad (5)$$

Здесь ρ – суммарная массовая плотность смеси; A – удельное (локальное) значение какой-либо скалярной величины (например, массы, энергии, энтропии и пр.); $J_{(A)j}$ – соотношение вектора субстанциональной плотности молекулярного потока параметра A (суммарная величина всех видов переноса признака A через единичную поверхность, включающая конвективную составляющую $\rho A V_j$, а также потоки, определяющие поверхностные воздействия); $\sigma_{(A)}$ – объемная плотность источника признака A (скорость возникновения ($\sigma_{(A)} > 0$) или уничтожения ($\sigma_{(A)} < 0$) величины A в единице объема и в единицу времени).

Уравнение эволюции удельной энтропии S в непрерывной системе имеет вид:

$$\rho dS / dt = J_{(S)j} + \sigma_{(S)}; \quad (\sigma_{(S)} \geq 0); \quad (6)$$

в котором $J_{(S)j}$ – составляющие вектора субтанциональной плотности потока энтропии, причем дивергенция $J_{(S)j}$ описывает обратимый теплообмен между рассматриваемой и внешней средой, а неравенство $\sigma_{(S)} \geq 0$ соответствует второму закону термодинамики, согласно которому энтропия замкнутой системы не может уменьшаться.

Явный вид уравнения (6) может быть получен с учетом балансовых уравнений для удельного объема, удельной внутренней энергии смеси из тождества Гиббса для этих величин, записанного вдоль траектории движения центра масс физического элементарного объема [5]:

$$TdS / dt = d\varepsilon / dt + p dv / dt - \sum_{\alpha=1}^N \mu_\alpha dZ_\alpha / dt. \quad (7)$$

Здесь μ_α – химический потенциал компоненты α , рассчитываемый на одну частицу вещества [3].

$$\mu_\alpha = h_\alpha - TS_\alpha = \varepsilon_\alpha + p v_\alpha - TS_\alpha, \quad (8)$$

ε_α , v_α , S_α – соответственно парциальная внутренняя энергия, парциальный объем и парциальная энтропия компоненты α . Из (8) вытекает используемое далее выражение для удельной свободной энергии Гиббса (удельного термодинамического потенциала):

$$G = \sum_{\alpha=1}^N Z_\alpha \mu_\alpha = \varepsilon + pv - TS = h - TS, \quad (9)$$

Следует также отметить, что гипотеза о локальном равновесии среды эквивалентна предположению о справедливости не только соотношений Гиббса, но и всех остальных термостатических соотношений для бесконечно малых областей неравновесных систем. Так, допускается наличие удельного термодинамического потенциала и применимость известного соотношения [1]:

$$dG = -SdT - vdp + \sum_{\beta=1}^N \mu_\beta dZ_\beta, \quad (10)$$

из которого с помощью (7) может быть получено имеющее фундаментальное значение для термодинамики многокомпонентных систем соотношение Гиббса – Дюгема [3]

$$\rho \sum_{\alpha=1}^N Z_\alpha d\mu_\alpha = -\rho SdT + dp. \quad (11)$$

Проанализируем потоки диффузии и тепла в развитом турбулентном потоке. В мелкомасштабной турбулентности, для которой, как правило, наблюдается тенденция к установлению локальной статистической изотропности, статистические свойства турбулентного течения не зависят от направления. Данный методический подход легко обобщается в случае неизотропной (крупномасштабной) турбулентности.

Для турбулентных потоков диффузии $J_{\alpha j}^T$ ($\alpha=1,2,...,N$) и тепла J_q^{T*} , а также для потока энтропии турбулизации $J_{(S_F)j}$, можно записать следующие кинематические конститутивные соотношения [2]:

$$J_q^{T*} = L_{00}^T X_{0j}^T - \sum_{\beta=1}^N L_{0\beta}^T X_{\beta j}^{T*}; \quad (12)$$

$$J_{\alpha j}^T = L_{\alpha 0}^T X_{0j}^T - \sum_{\beta=1}^N L_{\alpha\beta}^T X_{\beta j}^{T*}, \quad (\alpha=1,2,...,N); \quad (13)$$

$$J_{(S_F)j} = -L_{FF}^T T_{F,j}, \quad (14)$$

причем скалярные феноменологические коэффициенты L^T , зависящие от осредненных параметров состояния $\bar{\rho}$, $\bar{T}$, Z_α ($\alpha=1,2,...,N$) и параметра $\bar{\varepsilon}$, характеризующего физическую природу турбулентной среды, удовлетворяют условиям симметрии Онсагера-Казимира.

$$\sum_{\alpha=1}^N M_\alpha L_{\alpha 0}^\Sigma = 0, \quad \sum_{\alpha=1}^N M_\alpha L_{\alpha\beta}^\Sigma = 0, \quad (\beta=1,2,...,N), \quad (15)$$

где M_α – молекулярная масса частицы α .

Выводы

Феноменологический подход позволяет промоделировать как ламинарные, так и осредненные турбулентные режимы течений в атмосфере. В рамках феноменологической теории турбулентности многокомпонентного химически активного континуума рассмотрен термодинамический подход к замыканию гидродинамических уравнений осредненного движения на уровне моделей, который позволяет найти более общие выражения для турбулентных потоков в многокомпонентной среде, чем те, которые выводятся с использованием понятия пути смешения.

Список литературы

1. Де Грот С. Неравновесная термодинамика / С. де Грот, П. Мазур. – М.: Мир, 1964. – 456 с.
2. Колесниченко А.В. Турбулентность многокомпонентных сред / А.В. Колесниченко, М. А. Макаров. – М.: МАИК «Наука», 1998. – 336 с.
3. Пригожин И. Химическая термодинамика / И. Пригожин, Р. Дефей. – Новосибирск: Наука, 1966. – 506 с.
4. Ферцигер Дж. Математическая теория процессов переноса в газах / Дж. Ферцигер, Г. Капер – М.: Мир, 1976. – 524 с.
5. Gills J.W. On the equilibrium of heterogeneous Substances. Trans Conn/ Acad. Sci., III, 1878. – С. 343 – 524.
6. Mason E.A. The Onsager reciprocal relations/ Experimental evidence // In: Foundations of continuum thermodynamics. – London and Basingstoke: Mac Millan. – 1974.
7. Miller D. G. Onsager relations. Experimental evidence // In: Foundations of continuum thermodynamics. – London and Basingstoke: Mac Millan. – 1974.
8. Prigogine I. Introduction to Thermodynamics in Irreversible Processes. – N. Y. – John Wiley, 1967.

Наведено основи співвідношення симетрії Онсагера-Казимира і принципи сполучення термодинамічних сил і потоків. Проаналізовано закономірності гідродинаміки багатоконпонентних середовищ для ламінарних і турбулентних потоків.

Співвідношення Онсагера-Казимира, принципи Кюрі і Пригожина, енергія Гіббса, питома щільність джерела, конституальні співвідношення, феноменологічний метод, турбулентність.

The foundations of the symmetry relations Onsager-Casimir and principles pairing thermodynamic forces and fluxes. Analyzed patterns of hydrodynamics of multicomponent media for laminar and turbulent flows.

Casimir-Onsager relations, principles Curie and Prigogine, Gibbs energy, the specific density of the source, constitutual relations, phenomenological method, turbulence.

ТЕПЛОГЕНЕРАТОР МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ НИЗЬКОСОРТНИХ ПАЛИВ

**А.А. Халатов, академік НАН України, доктор технічних наук
Г.В. Коваленко, О.В. Шіхабутінова, кандидати технічних наук
Інститут технічної теплофізики НАН України**

Створено конструкцію шарового теплогенератора малої потужності для спалювання низькосортних твердих палив і їх сумішей. Досліджено процес двостадійного спалювання таких палив, де в первинній камері проходить його газифікація, а у вторинній – допалювання летких. Експерименти показали, що на якість процесу спалювання істотно впливає фракційний склад палива і підмішування відходів деревини до торфу.

Низькосортні тверді палива, двостадійне спалювання, шкідливі викиди.

В наш час спостерігається зниження рівня видобутку і подорожчання традиційних джерел енергії. Це може мати катастрофічні наслідки для економіки країни, тому що енергомісткість ВВП в Україні в 3,5 рази вище, ніж енергомісткість ВВП країн Євросоюзу [1]. Тому, раціональне та екологічно безпечне використання дешевих місцевих низькосортних палив як додаткового енергоресурсу для зменшення енергетичної залежності від імпортованих енергоносіїв є нагальним завданням сьогодення для України. У багатьох випадках при спалюванні низькосортних (вологих, високосольних і таких що розтріскуються в процесі горіння) палив застосування двокамерного спалювання не вирішує всіх проблем, що виникають: підтримання високої температури, принаймні, на першій стадії згоряння; достатньо тривале перебування палаючих частинок в зоні високих температур; сепарація часточок з потоку.

Мета досліджень – вивчення процесу горіння низькосортних палив, таких як торф, відходи деревини та їх сумішей, розробка методу екологічно чистого їхнього спалювання за рахунок раціональної організації аеродинаміки камери згоряння та пропорцій їх змішування.

Матеріали та методика досліджень. Робота виконувалася в рамках договору з Державним фондом фундаментальних досліджень України та Білоруським республіканським фондом фундаментальних досліджень, проект № Ф54.2/001.

Досліджено процес двостадійного спалювання низькосортних палив, де в первинній камері проходить газифікація палива, а у вторинній – допалювання його летких. Створено конструкцію двостадійного

шарового теплогенератора малої потужності для спалювання низькосортних твердих палив і їх сумішей з потрібною повнотою згоряння та забезпеченням екологічних вимог. Схема установки наведена на рис.1.

Паливо 1 періодично подавалося через завантажувальні дверцята 2 до первинної камери 3 на ступінчасті колосникові ґрати 4. Повітря під дією вентилятора 16 надходило до порожнини 6 між корпусом та тепловою ізоляцією 7, розділялося на первинне 8, що подавалося в первинну камеру 3, та вторинне 9, що надходило до камери допалювання 10. Співвідношення витрат повітря було підбрано так, що в первинній камері згоряння йшло з нестачею окислювача (відбувався піроліз). Вторинне повітря 9, що подавалося в камеру 10 через тангенційні щілини, забезпечувало перемішування та допалювання продуктів піролізу, а далі гази викидалися в газохід 14. Незгорілі частинки палива провалювалися через колосникові ґрати до зольника 15.

У процесі експериментальних досліджень вимірювалися і реєструвалися такі параметри: температура на виході з первинної камери – t_1 , температура на виході з теплогенератора – $t_{\text{вих}}$, температура на виході з підігрівача повітря – $t_{\text{вп}}$; швидкість потоку на вході V_0 і виході V з печі, статичний тиск у нагнітальному тракті вентилятора і на виході з печі P , напруга на двигуні вентилятора U . З ґартувального пристрою відбиралися проби газу G , що аналізувалися на хроматографі «Газохром 3101». Для експрес – аналізу використовувалися хімічні газовизначники ГХ–М.

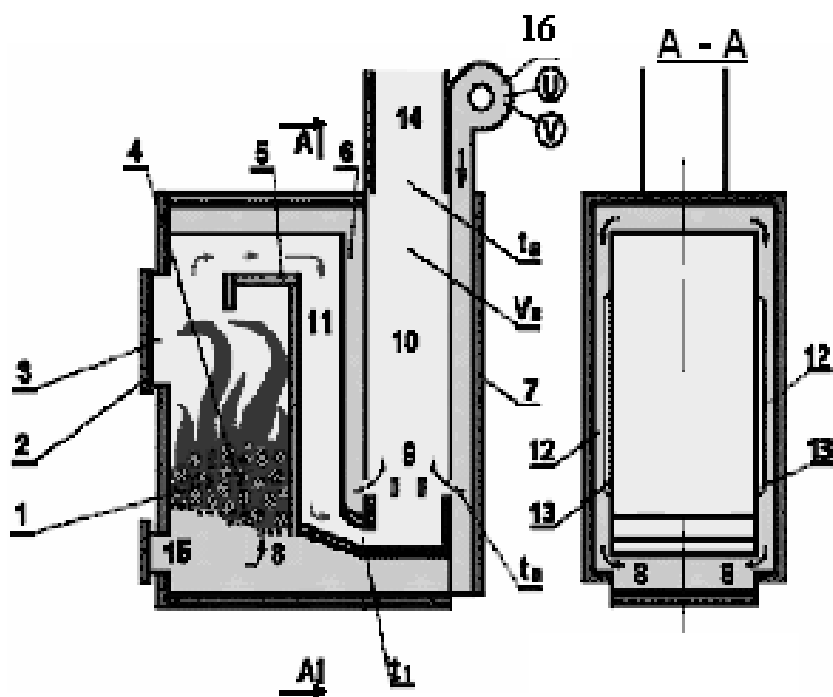


Рис.1. Схема експериментальної установки:

- 1 – паливо; 2 – завантажувальні дверцята; 3 – первинна камера; 4 – колосникові ґрати; 5 – вогнетривкий щиток; 6 – порожнина подачі та підігріву повітря; 7 – теплова ізоляція; 8 – первинне повітря; 9 – вторинне повітря; 10 – камера допалювання; 11 – камера з опускною течією газів; 12 – короби для подачі первинного повітря під колосникові ґрати; 13 – ребра для інтенсифікації

теплообміну з повітряної сторони; 14 – газохід; 15 – зольник; 16 – вентилятор

Досліджені види палив (брикетований торф родовища сел. Логін Житомирської обл. і відходи деревини) відрізняються температурою початку виходу летких горючих. У деревини – це 160 °С, у торфу – 100 °С. Значна різниця і в самих величинах виходу летких: від 85 % – у деревини (сосна), і до 65 % – торфу. Теплота згоряння летких речовин найбільша у торфу 20,9...23,8 МДж/кг, а найменша у деревини – 19,3 МДж/кг [2]. Поєднання палив з різними наведеними характеристиками дає принципову можливість поліпшити процес спалювання. Вміст золи в досліджуваних видах палив такий: деревина (сосна) – 1,4 %; торф – 23,5 %. Швидкість газів у вихідному газоході у процесі спалювання 6 кг навіски палива змінювалася у порівняно вузькому діапазоні 0,90...1,5 м/с.

Результати досліджень. Експерименти показали, що на якість процесу спалювання істотно впливає транспорт окислювача, фракційний склад палива, від якого залежить поруватість шару, що горить, і підмішування відходів деревини до торфу. Все це покращило процес спалювання не тільки щодо зменшення викидів окислів азоту, а й окису вуглецю (рис.2). У деяких випадках додавання 50 % відходів деревини зменшувало шкідливі викиди вдвічі. Внаслідок того, що температури початку виходу летких у торфу та деревини близькі, а також їх леткі мало відрізняються за калорійністю, вплив добавок деревини незначний. Час вигорання порції чистого торфу більший за час горіння суміші 50 % торфу та 50 % деревини всього на 6 %. «Двогорбистість» кривої зміни температури t_1 для суміші з деревиною пояснюється різницею початку виходу летких у деревини та торфу. При горінні чистого торфу концентрація викидів окису вуглецю вище, ніж при горінні сумішей з деревиною при приблизно однакових концентраціях оксидів азоту. Порівняння концентрацій СО при відповідних температурах дає різницю від 36 % до 50 %. Збільшення концентрації СО завжди спостерігається при знижених температурах підігріву повітря, що надходило до первинної камери.

Експерименти проводилися при декілька витратах повітря. У більшості досліджень на початковій стадії процесу коефіцієнт надлишку повітря знаходився в діапазоні 1,4...2,7, у той час як на стадії догорання його значення становили від 6,4 до 9,0. Трикамерна піч забезпечувала підігрів первинного повітря до 93 °С. Організація додаткової камери, підведення первинного повітря під шар палива та додатковий його підігрів істотно (приблизно в 1,5 раза) зменшували тривалість процесу спалювання.

Максимальні концентрації окислів азоту при трикамерному спалюванні виявилися менше, ніж при двокамерному – більш ніж в 20 разів. Збільшення часу перебування газів у первинній камері призвело до поліпшення процесу горіння твердих палив і зменшенню шкідливих викидів. Зустрічний рух палива й окислювача дозволив ефективно спалювати у шарі навіть низькосортні палива, такі як торф, відходи деревини та їх суміші.

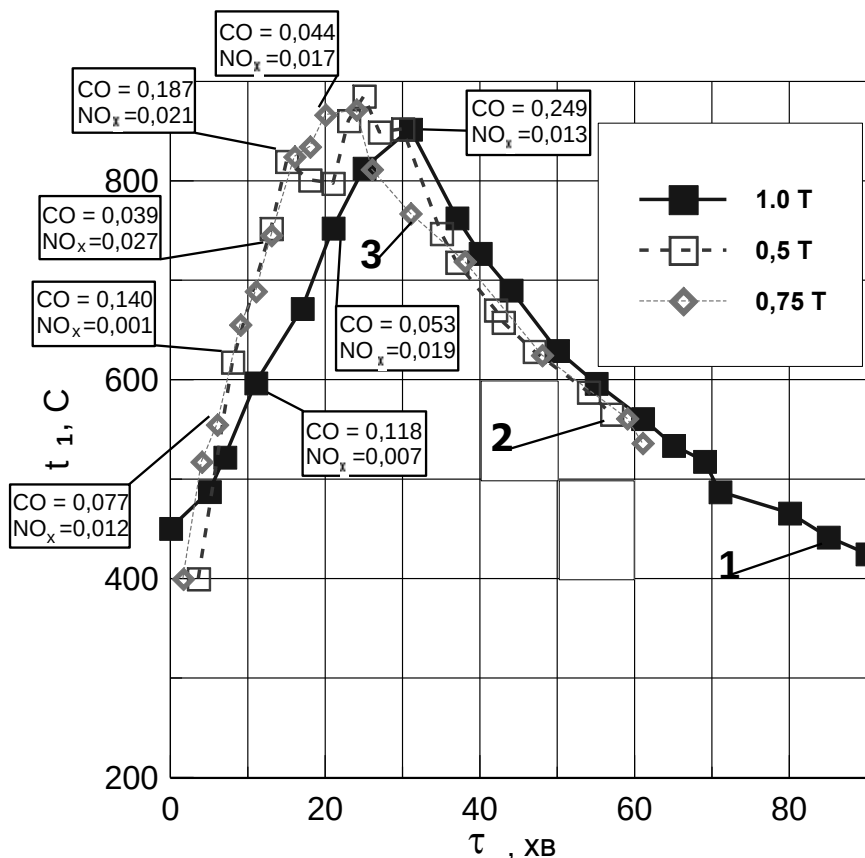


Рис. 2. Температура на вході до камери допалювання t_1 при спалюванні торфу та його сумішей з деревиною:
 1 – 100 % торфу, 2 – 50 % торфу, 50 % деревини, 3 – 75 % торфу, 25 % деревини (у прямокутниках наведені значення концентрацій окису вуглецю та оксидів азоту, перераховані до умов $\alpha = 1$)

Висновки

Організація проміжної камери в зоні високих температур між первинною і камерою допалювання призвела до поліпшення процесу горіння твердих палив і зменшення шкідливих викидів. Зустрічний рух палива та окислювача дозволив ефективно спалювати в шарі навіть низькосортні палива. Підігрів повітря, що подається до первинної камери, істотно покращує якість процесу спалювання. Навіть у теплогенераторах малої потужності невелика (висотою до 3 м) витяжна труба долає гідравлічний опір додаткової камери й підігрівача повітря. Додавання до торфу 50...25% відходів деревини значно зменшило не тільки концентрацію викидів окислів азоту, а й окису вуглецю. Обладнання запропонованого теплогенератора пристроєм для безперервного або періодичного завантаження палива дозволить рекомендувати його для широкого впровадження.

Список літератури

1. Паливно-енергетичні ресурси України : Статистичний збірник. – К.: Держкомстат України, 2013. – 334 с.
2. Хзмалян Д.М. Теория горения и топочные устройства / Д.М. Хзмалян, Я.А. Каган – М.: Энергия, 1976. – 488 с.

Создана конструкция слоевого теплогенератора малой мощности для сжигания низкосортных твердых топлив и их смесей. Исследован процесс двухстадийного сжигания таких топлив, где в первичной камере проходит его газификация, а во вторичной - дожигание летучих. Эксперименты показали, что на качество процесса сжигания существенно влияет фракционный состав топлива и подмешивание отходов древесины к торфу.

Низкосортные твердые топлива, двухстадийное сжигание, вредные выбросы.

The construction of low-power layer was heat generator for combustion of low-grade solid fuels and mixtures thereof created. The process of two-stage combustion of such fuels, where in the primary chamber take place its gasification, and in the secondary one afterburning of volatiles. Experiments have shown that the quality of the combustion process substantially affect the fractional composition of the fuel and mixing of the waste wood to the peat.

Low-grade solid fuel, two-stage combustion, harmful emissions.

УДК 631.3

ЭНЕРГООСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕПЛОХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ

Б.П. Коршунов, кандидат технических наук

А.И. Учеваткин, доктор технических наук

Ф.Г. Марьяхин, А.Б. Коршунов, кандидаты технических наук

**Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства, г. Москва**

Установлено, что использование природного холода наружного воздуха или грунтовой воды позволяет полностью или частично охлаждать молоко природной средой. Разработано энергосберегающую теплохолодильную установку для охлаждения молока на животноводческих фермах.

Теплохолодильные системы, природный холод, охлаждение молока, животноводческие фермы.

Создание теплохолодильных систем (ТХС) на животноводческих фермах объясняется требованиями рационального использования природных ресурсов тепла, холода, а также электроэнергии при производстве, охлаждении и хранении молока, санитарной обработке оборудования, поении скота и выполнении других весьма энергоемких операций.

© Б.П. Коршунов, А.И. Учеваткин,
Ф.Г. Марьяхин, А.Б. Коршунов, 2014

Создана конструкция слоевого теплогенератора малой мощности для сжигания низкосортных твердых топлив и их смесей. Исследован процесс двухстадийного сжигания таких топлив, где в первичной камере проходит его газификация, а во вторичной - дожигание летучих. Эксперименты показали, что на качество процесса сжигания существенно влияет фракционный состав топлива и подмешивание отходов древесины к торфу.

Низкосортные твердые топлива, двухстадийное сжигание, вредные выбросы.

The construction of low-power layer was heat generator for combustion of low-grade solid fuels and mixtures thereof created. The process of two-stage combustion of such fuels, where in the primary chamber take place its gasification, and in the secondary one afterburning of volatiles. Experiments have shown that the quality of the combustion process substantially affect the fractional composition of the fuel and mixing of the waste wood to the peat.

Low-grade solid fuel, two-stage combustion, harmful emissions.

УДК 631.3

ЭНЕРГООСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕПЛОХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ

Б.П. Коршунов, кандидат технических наук

А.И. Учеваткин, доктор технических наук

Ф.Г. Марьяхин, А.Б. Коршунов, кандидаты технических наук

**Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства, г. Москва**

Установлено, что использование природного холода наружного воздуха или грунтовой воды позволяет полностью или частично охлаждать молоко природной средой. Разработано энергосберегающую теплохолодильную установку для охлаждения молока на животноводческих фермах.

Теплохолодильные системы, природный холод, охлаждение молока, животноводческие фермы.

Создание теплохолодильных систем (ТХС) на животноводческих фермах объясняется требованиями рационального использования природных ресурсов тепла, холода, а также электроэнергии при производстве, охлаждении и хранении молока, санитарной обработке оборудования, поении скота и выполнении других весьма энергоемких операций.

© Б.П. Коршунов, А.И. Учеваткин,
Ф.Г. Марьяхин, А.Б. Коршунов, 2014

Цель исследований – разработка энергосберегающих теплохолодильных систем (ТХС), позволяющих сократить эксплуатационные расходы и повысить энергоэффективность производства молока на животноводческих фермах.

Материалы и методика исследований. Для сокращения эксплуатационных расходов и повышения энергоэффективности производства молока на животноводческих фермах, целесообразно устанавливать ТХС, которые должны удовлетворять следующим условиям.

1. Обеспечивать наиболее выгодное взаимодействие потоков тепла, холода и электроэнергии.
2. Соответствовать системе машин и технологий, принятых на данной животноводческой ферме.
3. Наиболее рационально использовать природные источники тепла и холода, такие, как рекуперативная энергия охлаждаемого продукта, природный холод атмосферного воздуха, грунтовой воды.
4. Широко использовать оборотное водоснабжение с сохранением гидрологического режима и экологического состояния грунтовых вод.
5. Аккумулировать энергию тепла и холода для эффективной работы во время действия льготного тарифа на электроэнергию, снижения установленной мощности и стоимости оборудования.
6. Применяемое оборудование должно отвечать условиям эксплуатации на фермах и не требовать специальной подготовки персонала.

Результаты исследований. Для обоснования сбалансированного обеспечения тепло- и холодоснабжения животноводческих ферм в ГНУ ВИЭСХ разработаны математическая модель и метод расчета параметров двух типов теплохолодильных систем: с использованием естественного холода грунтовой воды и двухсекционных теплообменников для предварительного охлаждения молока, и с применением комбинированных теплохолодильных машин, используемых для сбалансированного тепло- и холодоснабжения на фермах как при помощи искусственных, так и природных источников тепла и холода [2].

Предложенный метод расчета энергосберегающих теплохолодильных систем основан на сравнительном анализе энергетического баланса этих систем при различных вариантах их выполнения и использования на животноводческих фермах в центральном регионе страны. Рассматривались основные варианты энергосберегающих систем охлаждения молока с аккумуляцией тепла и холода: при утилизации низкопотенциальной тепловой энергии охлаждаемого продукта (молока); при нагреве воды и воздуха для технологических нужд; при использовании природного холода комбинированными аккумуляторами-теплообменниками воздуха-вода внутренней и наружной установки.

Проведенными испытаниями установлено, что использование природного холода наружного воздуха или грунтовой воды позволяет полностью или частично охлаждать молоко природной средой, а в северных регионах страны практически круглый год и при этом рекуперировать энергию, которая бесполезно сбрасывается в окружающую среду. Для

этих целей в составе ТХС могут быть использованы холодильные машины различных типов: парокомпрессионные (механическая энергия); абсорбционные (тепловая энергия); термоэлектрические (электроэнергия) и др.

Наиболее перспективными на данном этапе при производстве т.н. умеренного холода оказались парокомпрессионные холодильные машины. Для ТХС на животноводческих фермах испытывались машины этого типа. Теплообмен между теплоносителями осуществляется непосредственно через разделяющую стенку. Для нагрева и охлаждения воздуха, газа, жидкостей в испарителях и конденсаторах применялись специально разработанные теплообменники [1, 4].

При испытаниях ТХС в хозяйствах в качестве рекуператоров тепла применялись в основном теплообменники проточного типа.

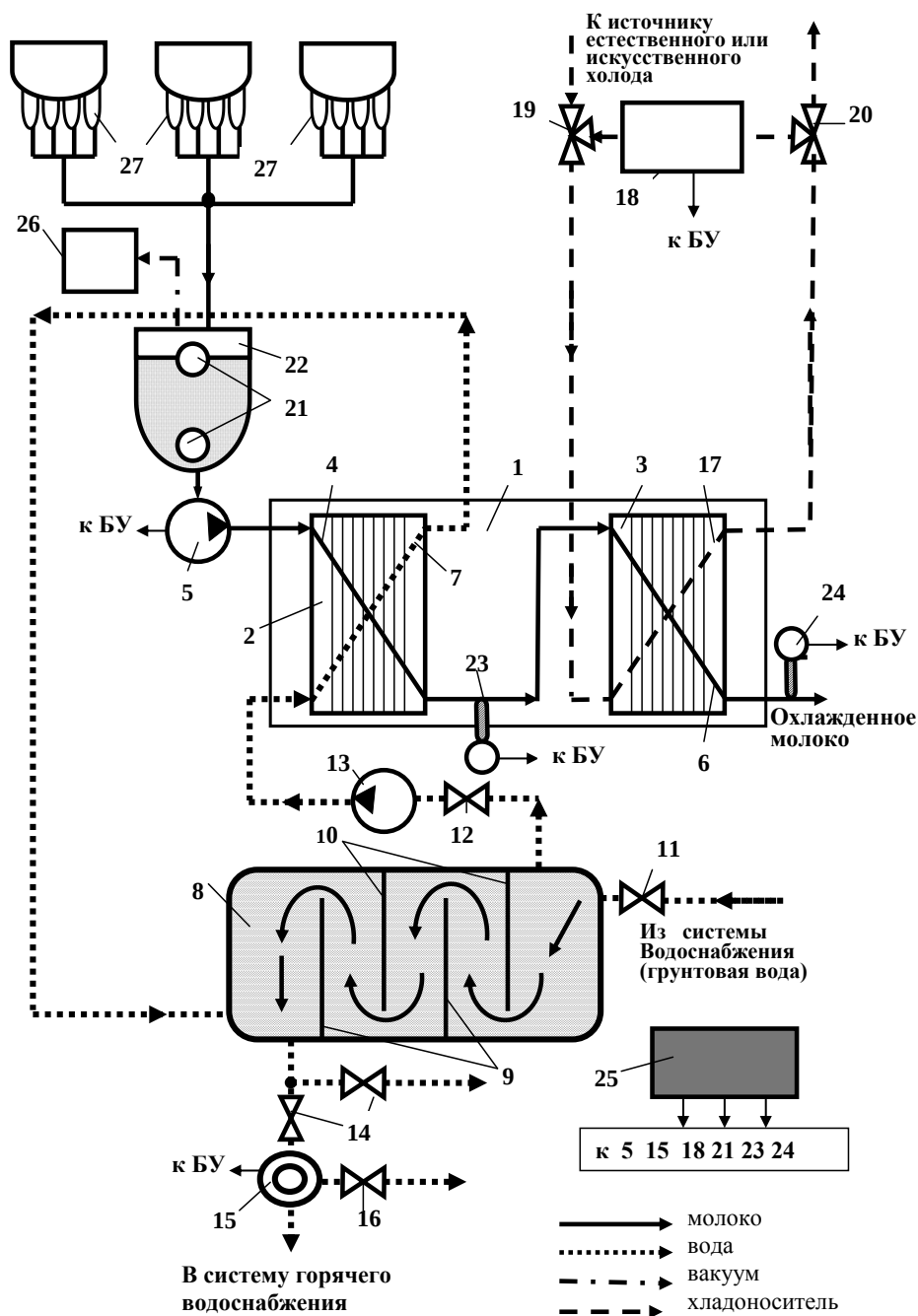
Схема одного из вариантов ТХС, разработанная в ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии, представлена на рисунке [3].

Теплохолодильная установка для ферм работает следующим образом.

Релизер 22 вакуумируется вакуумным насосом 26 и молоко из доильных аппаратов 27 попадает в него. Датчики уровней 21 последовательно включают и отключают универсальный молочный насос 5 при достижении уровня молока датчиков уровня в релизере 22. Молоко насосом 5 подается в канал для молока 4 первой секции 2 теплообменника 1, а затем в канал для молока 6 второй секции 3 теплообменника 1. Таким образом, молоко по каналам для молока 4 и 6 первой 2 и второй 3 секций теплообменника 1 движется дискретно «импульсами». Герметизированный резервуар 8 через вентиль 11 заполняется водой из системы водоснабжения фермы. С блока управления 25 синхронно с молочным насосом 5 включается насос для хладоносителя (воды) 13 и холодная вода через вентиль 12 поступает в канал для хладоносителя 7 первой секции 2 теплообменника 1 и возвращается по трубопроводу в нижнюю, крайнюю секцию герметизированного резервуара 8, образованную боковой стенкой этого резервуара и теплоизолированной перегородкой группы теплоизолированных перегородок 9. Граница нагретого и холодного хладоносителя будет подниматься по мере перекачки хладоносителя в секции, перейдет над кромкой перегородки в соседнюю секцию, начнет опускаться в этой секции, потом перейдет под нижней кромкой теплоизолированной перегородки 10 в соседнюю секцию и так далее, пока теплая вода не заполнит весь резервуар 8. Но в это время и в период между дойками нагретая вода из крайней нижней секции будет через вентили 14 и 16 расходоваться на бытовые и технологические нужды: на поение животных, подмыв вымени, промывку технологического оборудования, санитарную обработку и др.

Догрев воды до высокого уровня осуществляется при помощи теплового доводчика 15. Таким образом, холод, поступающий с водой из источников водоснабжения, используется для предварительного охлаждения молока и регенерации тепловой энергии. Окончательное охлаждение молока производится во второй секции 3 теплообменника 1. Моло-

ко, протекающее по каналу для молока 6, охлаждается хладоносителем (ледяной водой) протекающей по каналу для хладоносителя 17. Охлажденный хладоноситель поступает в этот канал из приемника-аккумулятора естественного холода.



Теплохолодильная установка для ферм:

1 – теплообменник; 2, 3 – секции теплообменника; 4, 6 – входное отверстие канала для молока; 5 – молочный насос; 7 – канал для хладоносителя; 8 – герметизированный резервуар; 9, 10 – группы перегородок; 11, 12, 14, 16 – вентиль; 13 – насос; 15 – тепловой доводчик; 17 – канал для хладоносителя; 18 – водоохлаждающие доводчики; 19, 20 – переключающие краны; 21 – датчики уровней; 22 – релизер; 23, 24 – датчики температуры; 25 – блок управления; 26 – вакуумный насос; 27 – доильные аппараты.

Подключение источника холода осуществляется кранами 19 и 20 с блока управления 25 по сигналам датчиков температуры 23 и 24. Так как в предлагаемом типе теплохолодильной установки 18 установленная мощность доводчика-охладителя 18 не превышает 25...30 % от номинальной мощности холодильной установки по традиционной технологии, то в качестве доводчика – охладителя 18 может быть использован в теплое время года значительно более надёжный источник холода, например парокомпрессионная холодильная установка с герметичным компрессором или термоэлектрические батареи высокой надежности, работающие на эффекте Пельтье.

Выводы

Испытания показали, что применение теплохолодильной установки для ферм предлагаемого типа экономит 25...30 % электроэнергии, уменьшает капитальные и эксплуатационные затраты, повышает надежность системы. Например, при вместимости резервуара для ледяной воды равным одной тонне, около 300 кг молока, полученного при одной дойке, может быть охлаждено до 15 °С уже на предварительном этапе. В холодное время для охлаждения 1 т молока потребуется не более 3 кВт·ч/т, а при охлаждении традиционными, применяемыми на фермах системами охлаждения удельные затраты энергии на 1 т молока составляют 28...30 кВт·ч/т. При этом регенерируется энергия для нагрева воды на технологические нужды фермы.

Список литературы

1. Захаров А.А. Применение теплоты в сельском хозяйстве / А.А. Захаров. – М.: Агропромиздат, 1986. – 288 с.
2. Математическая модель и метод расчета параметров энергосберегающей теплохолодильной системы для животноводческих ферм/ Б.П. Коршунов, Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин [и др.] // Вестник ВИЭСХ.– М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. – №4. – С. 34–38.
3. Пат. № 2206215 Российская Федерация. Теплохолодильная установка для ферм / Марьяхин Ф.Г, Учеваткин А.И., Коршунов Б.П., Мальнев В.П., Орсик Л.С., Лавров В.А.; заявл. 25.01.2002; опуб. 20.07.2003, Бюл. № 17.
4. Энергетическая эффективность применения холодильной машины для тепло-и хладоснабжению / А.Я. Кокорин, Н.Б. Товарас, Е.В. Фирсов [и др.] // Холодильная техника. – 2011. – № 6. – С. 40–44.

Встановлено, що використання природного холоду зовнішнього повітря або ґрунтової води дозволяє повністю або частково охолоджувати молоко природним середовищем. Розроблено енергозберігаючу теплохолодильну установку для охолодження молока на тваринницьких фермах.

Теплохолодильні системи, природний холод, охолодження молока, тваринницькі ферми.

Found that the use of natural cold outside air or ground water allows you to fully or partially cool milk natural environment. Developed energy-saving cooling installation for cooling milk on livestock farms.

Cooling system, natural cold, cooling milk, cattle farms.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В СОЛНЕЧНОМ ВОЗДУШНОМ КОЛЛЕКТОРЕ ТРАНСПИРАЦИОННОГО ТИПА

***И.К.Жмакин, кандидат технических наук
Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства, г. Москва***

***Л.И.Жмакин, доктор технических наук
Д.Г.Иванов, аспирант*
Московский государственный университет
дизайна и технологии, г. Москва***

Описана экспериментальная установка и методика исследования теплообмена в транспирационном солнечном коллекторе с плоским пористым абсорбером из нетканого материала. Приведены опытные данные по коэффициентам объемной теплоотдачи в абсорбере и его теплотехническим характеристикам в зависимости от скорости воздуха.

Транспирационный солнечный коллектор, плоский пористый абсорбер, нетканый материал, фильтрация воздуха, коэффициент объемной теплоотдачи.

Для солнечного нагрева воздуха перспективны транспирационные коллекторы, т.е. радиационно-конвективные теплообменники, в которых организована фильтрация воздуха через пористый абсорбер [2]. Такой абсорбер может быть выполнен, например, из нетканого текстильного материала, полотно которого натянуто внутри корпуса и с одной стороны обогревается солнечным излучением. Поглощенное тепло переносится вглубь пористого слоя теплопроводным каркасом (волокнистой матрицей) и передается движущемуся в нем воздуху. Поскольку площадь контакта воздушного потока с развитой поверхностью микроканалов абсорбера обычно не определена, то интенсивность теплообмена в порах принято описывать с помощью объемного коэффициента теплоотдачи, имеющего размерность $Вт/м^3 \cdot гр$. Найти же этот коэффициент можно только экспериментально.

Цель исследований – разработка методики и экспериментальное определение коэффициентов объемной теплоотдачи и гидравлического сопротивления при движении воздуха в пористом абсорбере транспирационного солнечного коллектора в зависимости от скорости воздуха и интенсивности радиационного теплового потока.

*Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Л.И. Жмакин

© И.К.Жмакин, Л.И.Жмакин, Д.Г.Иванов, 2014

Материалы и методика исследований. На рис. 1 приведена схема опытной установки для исследования объемной теплоотдачи в плоском слое нетканого абсорбера при фильтрации через него воздуха.

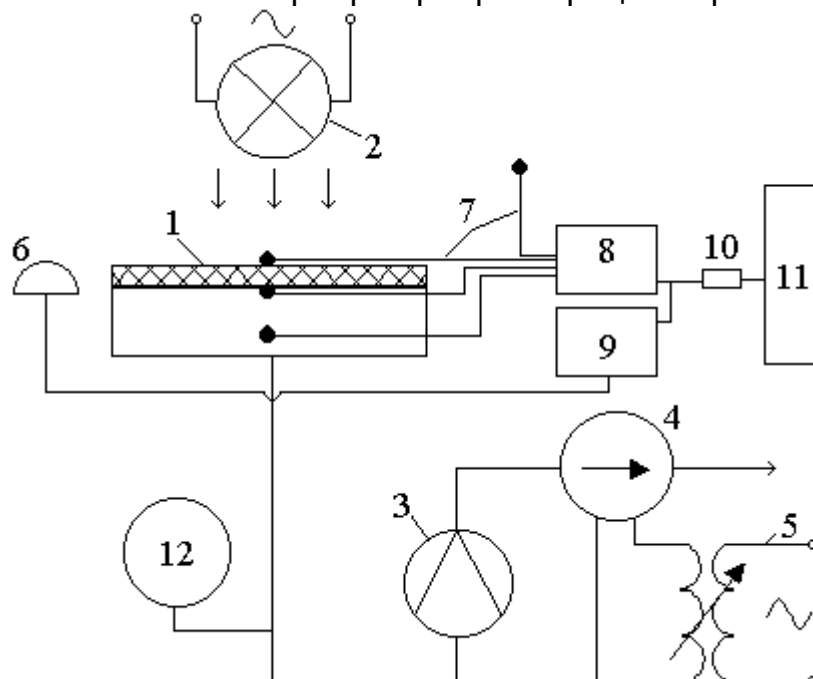


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Рабочий участок 1 установки выполнен из тонкой жести и имеет форму цилиндра диаметром 190 мм и высотой 60 мм. В его верхней части имеется сетка, на которой закреплен образец нетканого материала, а в днище цилиндра смонтирован патрубок для отвода воздуха. Радиационный тепловой поток создавался инфракрасной лампой 2, установленной на кронштейне. Фильтрацию воздуха обеспечивал вытяжной вентилятор 4, обороты которого регулировались автотрансформатором 5. Расход воздуха измерялся ротаметром 3, а перепад давления на образце находилась с помощью микроманометра с наклонной трубкой 12 серии ММН-2400. Для измерения температур на поверхностях образца, а также температур воздуха до и после пористого слоя использовались хромель-копелевые термопары 7. Плотность лучистого потока определялась пиранометром 6 марки М-80. Сигналы с термопар и пиранометра поступали на промышленные контроллеры 8 и 9 типа ТРМ 138 и ТРМ 201. Эти контроллеры через преобразователь интерфейсов 10 АС3-М-220 были подключены к персональному компьютеру 11. Такая автоматизированная система измерений позволяла получать и архивировать большие массивы опытных данных с заранее заданным шагом по времени.

Эксперименты проводились на образцах нетканого материала с пористостью 96 %. Они имели форму дисков диаметром 170 мм и толщиной 5 и 8 мм, были изготовлены из полиэфирных волокон с линейной плотностью 0,82 текс и окрашены в черный цвет. Плотность теплового потока на поверхности образцов и скорость фильтрации воздуха изменялись в диапазонах 440...670 Вт/м² и 0,002...0,007 м/с, соответственно.

Для определения степени черноты облучаемой поверхности образцов использовался инфракрасный пирометр TPT 64P фирмы «Agema infrared systems», который имел устройство, задающее степень черноты объекта. Изменяя настройку этого устройства, добивались равенства показаний термопар и пирометра. На основании таких измерений степень черноты образцов составила $0,9 \pm 0,02$.

Коэффициенты объемной теплоотдачи находились обратным методом теории теплообмена. Для этого привлекалась математическая модель, описывающая распределения температур в пористой нетканой матрице и движущемся через нее газе в одномерном приближении [1].

Эта модель включает дифференциальное уравнение теплопроводности пористой матрицы и уравнение энергии для газа.

$$\lambda_1 \frac{d^2 t_1}{dx^2} - \alpha_v (t_1 - t_2) = 0 \quad (1)$$

$$\rho_2 c_{p2} w \frac{dt_2}{dx} = \lambda_2 \frac{d^2 t_2}{dx^2} + \alpha_v (t_1 - t_2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); ρ – плотность, кг/м³; α_v – объемный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м³·К); c_p – изобарная теплоемкость, Дж/(кг·К); t – температура, К; w – средняя скорость движения воздуха в микроканалах, м/с; x – координата поперек слоя нетканого материала. Индексы 1 и 2 относятся к матрице и газу, соответственно.

В этих уравнениях выражение $\alpha_v (t_1 - t_2)$ можно рассматривать как некоторый источниковый член; он имеет размерность $Вт/м^3$ и описывает сток тепла от матрицы к газу за счет теплообмена между ними. Средняя скорость воздуха в микроканалах связана со скоростью фильтрации w_ϕ выражением $w = w_\phi / \Pi$, где Π – пористость.

Система дифференциальных уравнений (1) решалась численно конечно-разностным методом на равномерной сетке. В вариантных расчетах плотность лучистого потока, поступающего на образец, температура воздуха на входе и теплофизические параметры сред считались известными, а коэффициент объемной теплоотдачи выбирался так, чтобы расчетные значения температур на поверхностях нетканого материала совпадали с экспериментальными.

Результаты исследований. Полученные с помощью этой методики коэффициенты объемной теплоотдачи для образцов различной толщины показаны на рис. 2 в зависимости от скорости фильтрации воздуха.

Обработка данных, приведенных на этом рисунке, в безразмерной форме позволила получить следующее критериальное уравнение

$$\overline{Nu_d} = 0,085 Re_d^{1,67}, \quad (2)$$

в котором числа Нуссельта и Рейнольдса определены по среднему диаметру волокон d пористой среды, т.е.

$$\overline{Nu_d} = \frac{\alpha_v d^2}{\lambda_\theta}; \quad Re_d = \frac{w d}{\nu_\theta} . \quad (3)$$

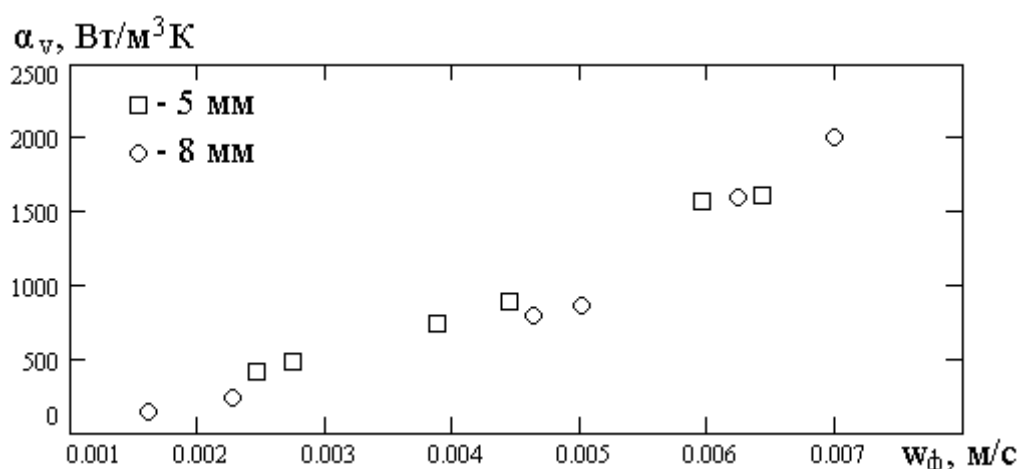


Рис. 2. Коэффициенты объемной теплоотдачи в нетканом материале

Таким образом, уравнение (2) получено для условий внешнего теплообмена, когда в пористом теле рассматривается наружное обтекание воздухом его элементарных волокон.

На рис. 3 показаны температуры (t_Π) на внешней (облучаемой) поверхности нетканого абсорбера толщиной 5 мм и температуры прошедшего через него воздуха (t_B) в зависимости от скорости фильтрации; данные приведены для двух значений интенсивности лучистого теплового потока. При этом температура воздуха на входе в абсорбер составляла +23 °С. На рис. 4 представлены опытные данные по гидравлическому сопротивлению абсорбера толщиной 5 мм для различных скоростей фильтрации.

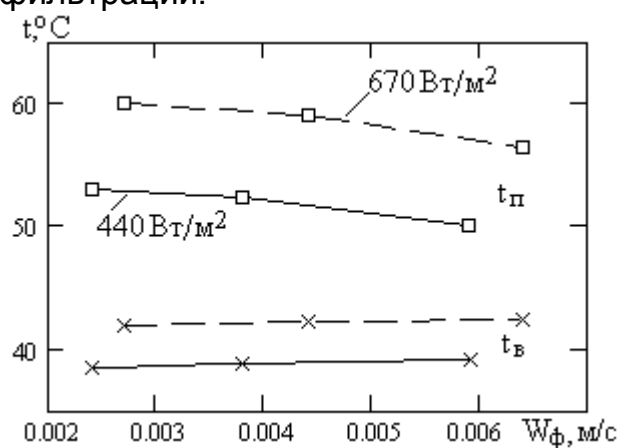


Рис. 3. Температуры облучаемой поверхности абсорбера и подогретого воздуха

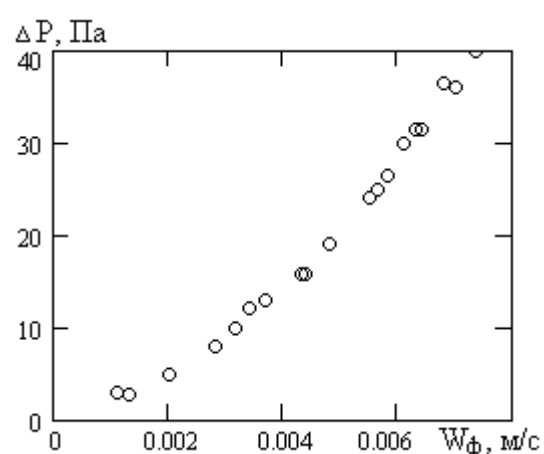


Рис. 4. Гидравлическое сопротивление нетканого абсорбера

Простейшие расчеты показали, что в экспериментах на описанной выше лабораторной установке КПД преобразования радиационного теплового потока в теплоту был низким и не превышал 25 %. Это обусловлено значительными тепловыми потерями, т.к. корпус рабочего участка не имел ни теплоизоляции, ни прозрачного покрытия над абсорбером. В натурных образцах транспирационных воздушных коллекторов эти недостатки будут устранены, что позволит существенно повысить их теплотехническое совершенство.

Выводы

Проведено экспериментальное исследование теплообмена в солнечном воздушном коллекторе транспирационного типа с пористым абсорбером из нетканого материала. Определены температуры на поверхностях абсорбера и температуры воздуха при различных скоростях его фильтрации и плотностях радиационного потока; измерено также гидравлическое сопротивление абсорбера. Обратным методом теории теплообмена найдены коэффициенты объемной теплоотдачи в нетканом абсорбере солнечного коллектора.

Список литературы

1. Жмакин И.К. Моделирование теплопереноса в солнечном воздушном коллекторе транспирационного типа / И.К. Жмакин, Л.И. Жмакин, Д.Г. Иванов / Науковий вісник НУБІП України. – К., 2014. – Вип. 194, ч. 1. – С. 31–36.
2. Duffie J.A, Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 2 Ed., J.Wiley □ Sons, USA, 1991. – 919 p.

Описано експериментальну установку і методику дослідження теплообміну в транспіраційному сонячному колекторі з плоским пористим абсорбером з нетканого матеріалу. Наведено дослідні дані щодо коефіцієнтів об'ємної тепловіддачі в абсорбері та його теплотехнічних характеристик залежно від швидкості повітря.

Транспіраційний сонячний колектор, плоский пористий абсорбер, нетканий матеріал, фільтрація повітря, коефіцієнт об'ємної тепловіддачі.

The experimental unit and the method have been described concerned the heat transfer investigations in transpired solar collector provided with flat porous absorber fabricated from nonweave material. The data obtained on coefficients of volume heat transfer and some thermal characteristics of the absorber depending on air velocities have been presented.

Transpired solar collector, flat porous absorber, nonweave material, air filtration, coefficient of volume heat transfer.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ТЕПЛОВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

***В.В. Харченко, доктор технических наук
Б.А. Никитин, А.Т. Беленов, кандидаты технических наук
П.В. Тихонов, аспирант
Московский государственный университет дизайна
и технологии, г. Москва***

Рассмотрены возможности повышения эффективности солнечных когенерационных установок на базе фотоэлектрических тепловых (ФЭТ) модулей. Предложена конструкция установки, обеспечивающей получение горячей воды с заданной температурой при сохранении высоких значений КПД фотоэлектрического преобразования.

Когенерационная система теплоэлектроснабжения, фотоэлектрический тепловой модуль, возобновляемые источники энергии, источники генерации, системы аккумулирования.

В настоящее время солнечная энергия является одним из наиболее широко используемых видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В основном она используется для выработки тепловой энергии (горячая вода), которая производится в солнечных коллекторах (СК) и для выработки электрической энергии с помощью фотоэлектрических модулей (ФЭМ).

Фотоэлектрические модули зарекомендовали себя как надежные и простые в эксплуатации устройства, а солнечные тепловые коллекторы как надежные средства генерации тепловой энергии. Теория и практика применения как гелиоводонагревателей (СК), так и фотоэлектрических преобразователей солнечной радиации (ФЭМ) подробно и широко описаны в литературе. При организации энергоснабжения объектов (главным образом автономных) обычно используются и солнечные коллекторы (для выработки тепловой энергии), и фотоэлектрические панели (для выработки электроэнергии). И те и другие могут устанавливаться либо на близрасположенных свободных площадках, либо на крышах зданий.

В последние годы в мировой практике стали использоваться более удобные комбинированные системы, совмещающие и ФЭМ, и СК, функционирующих в одном энергетическом устройстве, создаваемом по так называемой ФЭТ технологии (photovoltaic-thermal technology) [4].

Отличительной особенностью ФЭТ модулей является то обстоятельство, что в его конструкции изначально заложено одно противоречие. Для обеспечения необходимых параметров горячей воды, используемой в системах горячего водоснабжения и отопления, требуется достижение максимально высоких температур (60° или даже 90°). Но

*Научный руководитель – доктор технических наук, профессор В.В. Харченко

© В.В. Харченко, Б.А. Никитин,
А.Т. Беленов, П.В. Тихонов, 2014

повышение температуры влечет за собой снижение КПД солнечных элементов. По этой причине установки теплоэлектроснабжения на базе ФЭТ модулей не всегда могут обеспечить потребности потребителей.

Цель исследований – изучение функционирования фотоэлектрического теплового модуля (PV-Thermal module) и на этой основе разработка подходов и технических средств, обеспечивающих максимальную эффективность этих когенерационных устройств.

Материалы и методика исследований. Для создания ФЭТ модуля наиболее подходящим представляется плоский гелиоколлектор, поскольку его конструкция наиболее удобна для объединения с фотоэлектрическими преобразователями, которые легко располагаются на его приемной поверхности.

В литературе (например [3]) описан ряд конструкций таких агрегированных устройств (рис.1) и приведены результаты теоретических оценок эффективности работы ФЭТ модулей.

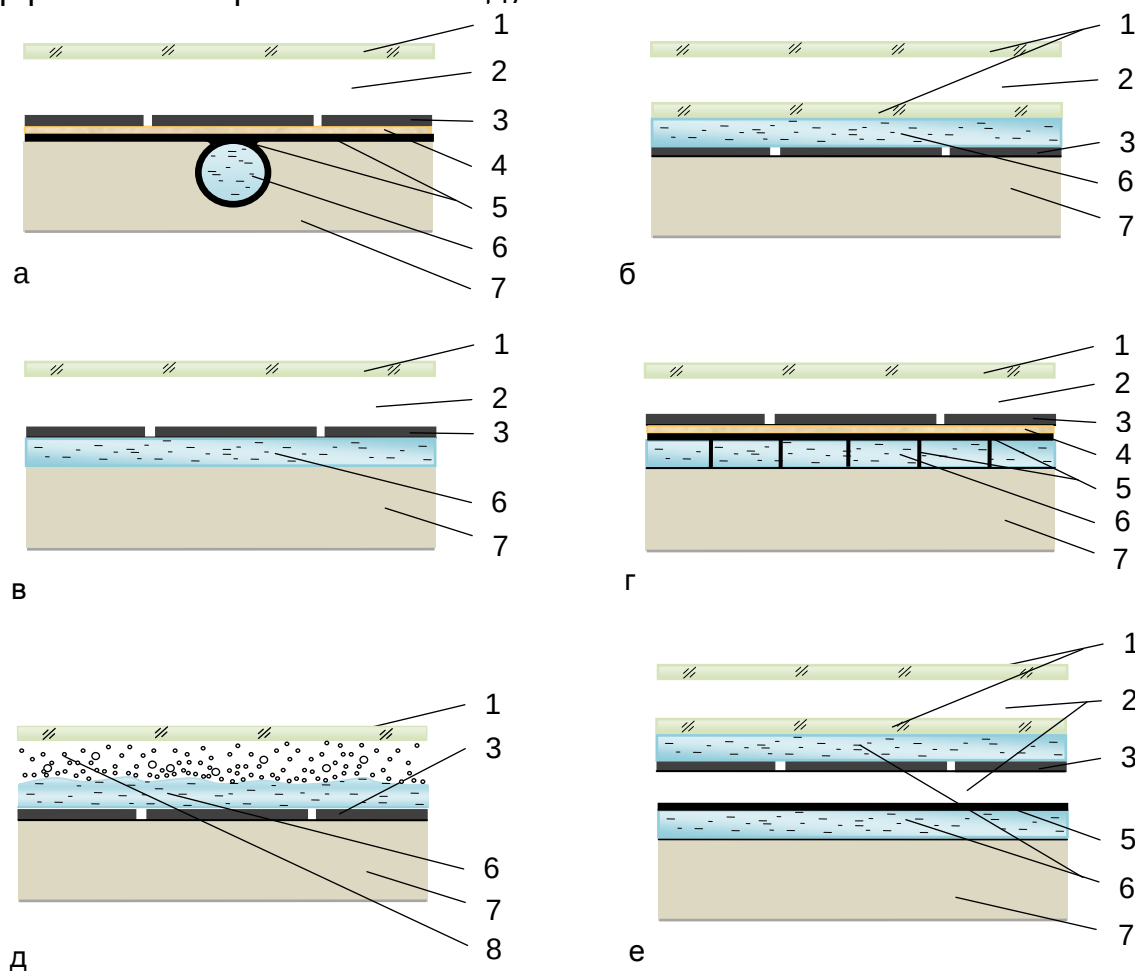


Рис.1. Наиболее распространенные конструкции ФЭТ модуля:

- а – с абсорбером типа «лист-труба»; б – с абсорбером в виде канала жидкости над ФЭ панелью; в – с абсорбером в виде канала жидкости под ФЭ панелью;
- г – с абсорбером из прямоугольных каналов; д – с абсорбером в виде канала частично заполненного жидкостью, расположенным над ФЭ панелью; е – с двойным абсорбером и воздушной прослойкой; 1 – светопрозрачное покрытие; 2 – воздух;
- 3 – фотоэлектрическая панель; 4 – теплопроводящее электроизоляционное

скрепляющее вещество; 5 – тепловой абсорбер; 6 – теплоноситель (жидкость);
7 – теплоизоляционный материал; 8 – пары жидкости

При проведении теоретических расчетов было принято, что модули работают с принудительной циркуляцией теплоносителя, солнечная радиация (R) принималась равной 800 Вт/м^2 , температура окружающей среды равной 20°C , скорость ветра – 1 м/с , температура неба – 4°C , а угол наклона коллектора соответствовал значению 45° .

Было показано, что перспективной представляются конструкция с каналом для жидкости, располагаемым за фотоэлектрической панелью, поскольку помимо простоты и надежности в эксплуатации она при серьезных преимуществах по выработке электроэнергии имеет незначительно меньшую выработку по теплоте в сравнении с другими конструкциями. К аналогичным выводам привели и проведенные нами исследования.

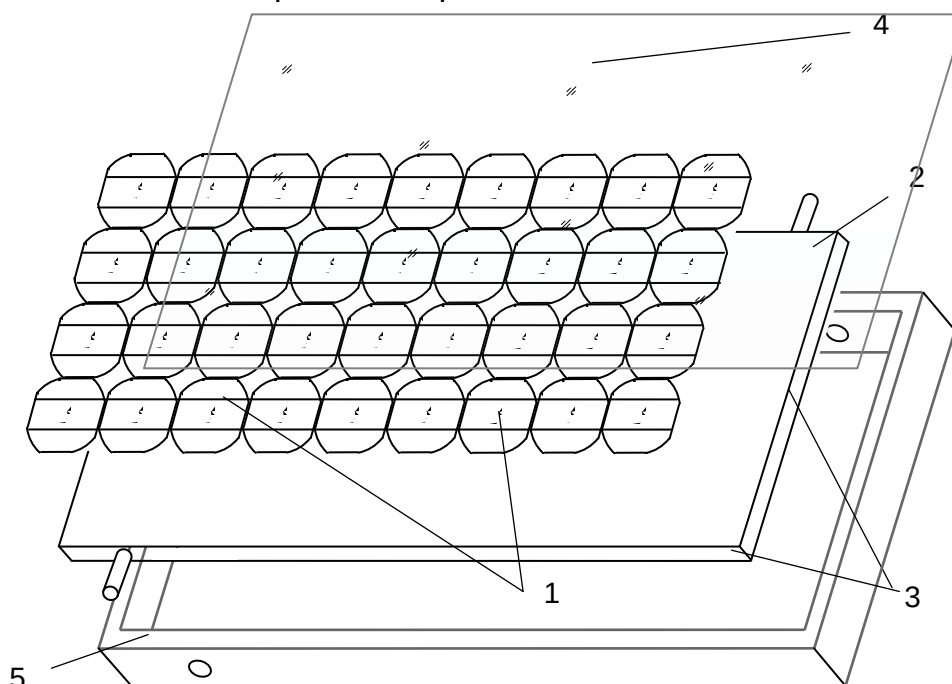


Рис.2. Конструкция ФЭТ модуля, разработанного в ВИЭСХ:

1 – фотоэлектрическая панель (батарея СЭ); 2 – тепловой поглощающий элемент (абсорбер); 3 – резервуар с теплоносителем; 4 – прозрачная изоляция (остекление); 5 – теплоизоляционный пенал

Результаты исследований. Нами был разработан макет ФЭТ модуля вышеуказанной конструкции, принципиальная схема и внешний вид которого приведены на рисунках 2 и 3.

При изготовлении модуля особое внимание было уделено созданию хорошего теплового контакта между обратной стороной фотоэлементов и поверхностью принимающей панели при обеспечении надежной изоляции между ними.

ФЭТ модуль был исследован в натурных условиях при различных условиях эксплуатации. Для этого была разработана специальная система одновременного мониторинга метеопараметров, контроля

электрических и тепловых параметров ФЭТ модуля и температуры самых разных точек модуля [3].



Рис.3. Внешний вид разработанного макета ФЭТ модуля

Собственно установка для натурных исследований разработанного макета ФЭТ модуля представлена на рис.4.

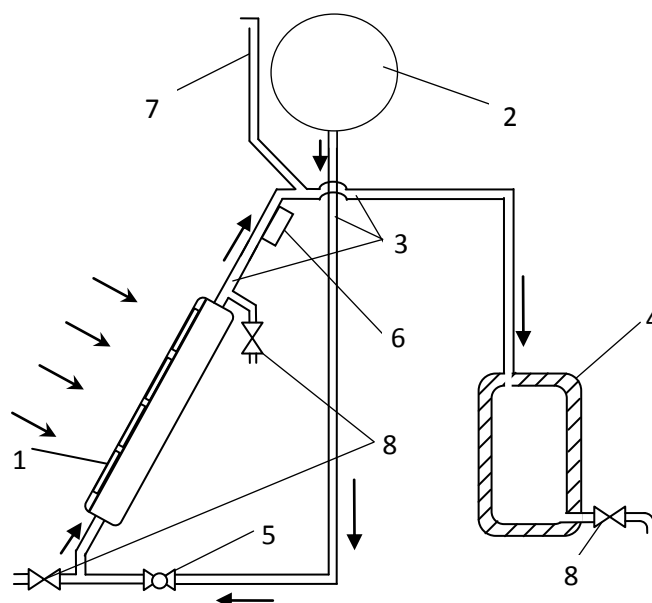


Рис.4. Схема установки для исследования макета ФЭТ модуля:

1 – ФЭТ модуль; 2 – напорный бак; 3 – трубопровод; 4 – бак-аккумулятор;
5 – электромагнитный клапан; 6 – термореле; 7 – воздушник; 8 – вентиль

Был проведен комплекс исследований характеристик ФЭТ модуля в различных условиях эксплуатации, разным уровне приходящей солнечной радиации и изменяющихся метеопараметрах. Было показано, что изменения уровня солнечной радиации в течение дня существенно влияют на выходные параметры ФЭТ модуля. Так, на рис.5 приведены данные по корреляции максимальной мощности фотоэлектрической части модуля с уровнем приходящей солнечной радиации. На этом

рисунке четко видно, что снижение уровня солнечной радиации влечет за собой практически безинерционное изменение электрической мощности модуля.

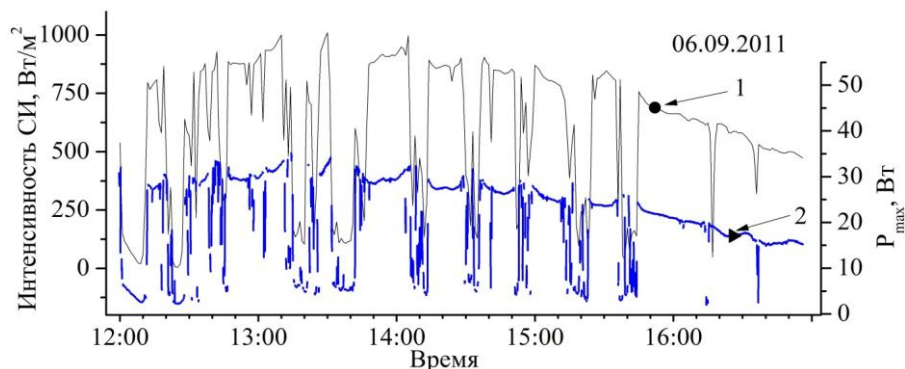


Рис.5. Изменения интенсивности солнечного излучения и максимальной мощности фотоэлектрической части ФЭТ модуля в течение дня:

1 – уровень солнечного излучения; 2 – электрическая мощность ФЭТ модуля

Совершенно по-разному колебания интенсивности солнечного излучения влияют на температуру рабочей поверхности ФЭТ модуля и температуру теплоносителя (воды) в резервуаре ФЭТ модуля. Если температура поверхности заметно изменяется синхронно с колебаниями радиации, то температура теплоносителя в резервуаре ФЭТ модуля практически не реагирует на эти кратковременные колебания (рис.5). В то же время в одном и в другом случае температура имеет тенденцию к повышению.

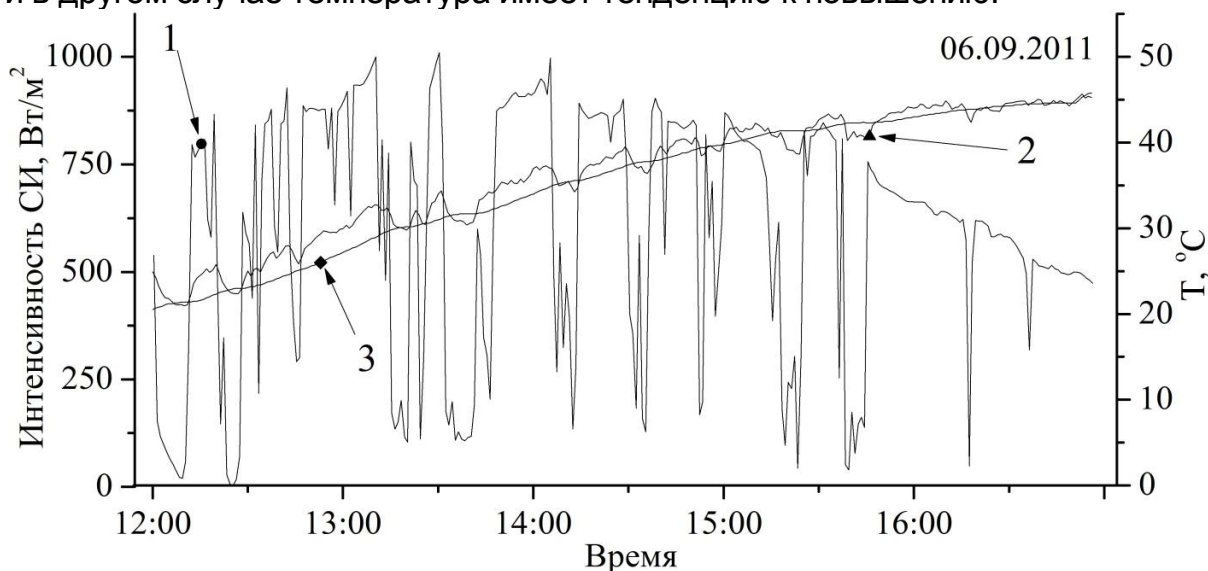


Рис.6 Влияние колебаний интенсивности солнечной радиации в течение дня (1) на температуру рабочей поверхности ФЭТ модуля (2) и температуры теплоносителя в резервуаре ФЭТ модуля (3)

Испытуемая схема показала достаточно высокие эксплуатационные характеристики. На основе результатов ее испытаний была предложена и запатентована [2] фотоэлектрическая водогрейная установка. Однако указанная система имела серьезные недостатки, поскольку ее

эффективность существенно снижалась при повышении температуры вырабатываемой воды.

Нами был сделан вывод, что режимы работы такой установки следует выбирать в соответствии с запросами конечного потребителя. В частности, режимы работы могут выбираться таким образом, чтобы обеспечить: максимальную выработку электроэнергии, максимальную выработку тепловой энергии, либо максимальную выработку тепловой и электрической энергии суммарно (максимальный эксергетический КПД установки). По-видимому, наиболее востребованными могут стать системы, отвечающие первому и третьему режимам эксплуатации.

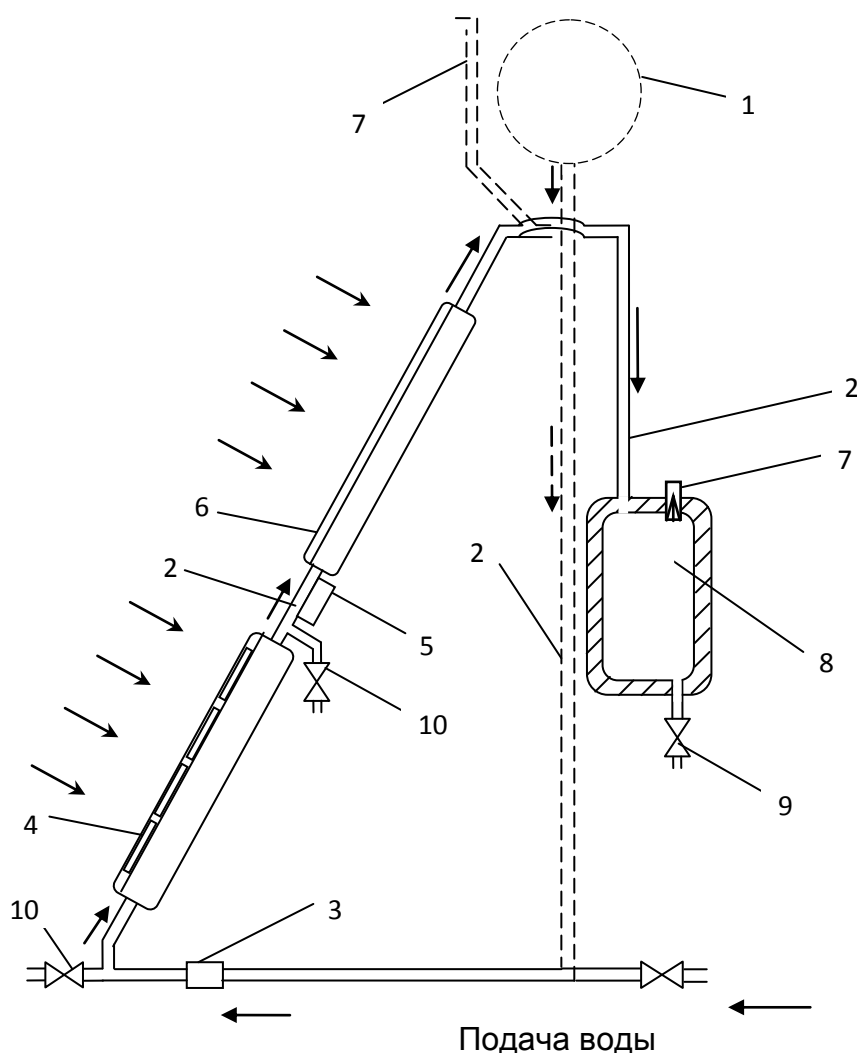


Рис. 7. Схема модернизированной солнечной станции с ФЭТ модулем:

1 – напорный бак; 2 – трубопровод; 3 – электромагнитный клапан; 4 – ФЭТМ;
5 – термореле; 6 – СК; 7 – воздушник; 8 – бак-аккумулятор; 9, 10 – вентили

В случае, если необходимо обеспечить максимальную выработку электроэнергии, но при этом получить достаточно высокую температуру горячей воды, целесообразно использовать установки, принципиальная схема которой представлена на рис. 7. Такая схема имеет ряд

преимуществ, поскольку при получении воды с допустимо высокой температурой в ФЭТ модуле 4, ее догрев до заданной температуры можно осуществить в дополнительном водонагревателе 6. Приведенная установка защищена патентом РФ [1].

В Западной Европе ФЭТ модули применяются достаточно широко, в то время как в России в настоящее время такие устройства практически не применяются, несмотря на всю очевидность эффективности их использования. Кроме общих причин, сдерживающих развитие ВИЭ в России, это объясняется отсутствием опыта применения таких систем и исследований в данном направлении.

Выводы

Для содействия ускоренному внедрению ФЭТ модулей в практику целесообразно разработать и освоить в производстве выпуск серийных образцов ФЭТ модулей собственной разработки и реализовать демонстрационные проекты по использованию ФЭТ модулей в крупных системах теплоэлектрообеспечения потребителей.

Список литературы

1. Пат. № 2509268 Российская Федерация, МКП F24J. Когенерационная фотоэлектрическая тепловая система / Стребков Д.С., Харченко В.В., Тихонов П.В., Тихонов А.В., Никитин Б.А., Сычев А.О.; заявл. 28.04.2012; опубл. 10.03.2013, Бюл.№7.
2. Пат. № 126436 Российская Федерация, МКП F24J 2/42. Фотоэлектрическая водогрейная установка / Харченко В.В., Тихонов П.В., Тихонов А.В., Никитин Б.А., Тухов И.И.; заявл. 28.04.12; опубл. 27.03.13, Бюл. №9.
3. Харченко В.В. Комплекс мониторинга основных параметров гелиоустановок с фотопреобразователями / В.В. Харченко, П.В. Тихонов // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 02 (119). – С.32–36.
4. Zondag H.A., deVries D.W., van Helden W.G.J., van Zolengen R.J.C., Steenhoven A.A. The yield of different combined PV-thermal collector designs, Solar Energy, №74 (3), 2003. с. 253-269.

Розглянуто можливості підвищення ефективності сонячних когенераційних установок на базі фотоелектричних теплових (ФЕТ) модулів. Запропоновано конструкцію установки, яка забезпечує отримання гарячої води із заданою температурою при збереженні високих значень ККД фотоелектричного перетворення.

Когенераційна система теплоелектропостачання, фотоелектричний тепловий модуль, поновлювані джерела енергії, джерела генерації, системи акумуляування.

The possibilities of increasing the efficiency of solar cogeneration plants based on photovoltaic thermal (FEE) modules. The design of the installation, which provides hot water to a set temperature while maintaining high efficiency photoelectric conversion values.

Cogeneration system heat power supply, photoelectric thermal module, renewable energy, sources for generation, storage systems.

КОГЕНЕРАЦИОННАЯ КОНЦЕНТРАТОРНАЯ УСТАНОВКА СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

***П.А. Нестеренков, студент магистратуры
А.Г. Нестеренков, кандидат технических наук
АО «КазНИИ Энергетики им. академика Ш.Ч. Чокина»,
г. Алматы, Казахстан***

***Л.А. Нестеренкова, кандидат физико-математических наук
КазНУ им аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан***

***В.Н. Лаптев, кандидат физико-математических наук
АО «Алматинский институт энергетики и связи»,
г. Алматы, Казахстан***

***В.В. Харченко, доктор технических наук
Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства, г. Москва, Россия***

Приведено описание разработанной когенерационной системы теплоэлектроснабжения с концентрацией солнечного излучения. Рассмотрена методика исследования теплообмена коллекторов с окружающей средой в гибридных солнечных установках с концентрацией излучения. Изучены на экспериментальном стенде процессы формирования тепловых потоков вдоль стенок коллекторов

Солнечная энергия, коллектор, фотомодуль, концентратор, теплоноситель, теплообмен, методика тестирования, эффективность коллектора.

В последнее время на рынке возобновляемой энергетики начали появляться солнечные установки, обеспечивающие одновременную выработку тепловой и электрической энергии. При этом используются как плоские фотоэлектрические тепловые (ФЭТ) модули, так и модули, в которых используется концентрированное солнечное излучение, концентраторные фотовольтаик-термальные системы с водяным охлаждением (PVT/w) [1].

Среди этих систем следует различать установки с высокой (≥ 500) и малой (≈ 10) концентрацией излучения. В обоих случаях в указанных установках выделяющаяся теплота отводится жидким теплоносителем.

Дополнительные затраты на введение концентраторов и систем слежения за Солнцем оправдываются снижением числа относительно дорогих фотоэлементов и повышением вырабатываемой за год электрической и тепловой энергии.

© П.А. Нестеренков, А.Г. Нестеренков,
Л.А. Нестеренкова, В.Н. Лаптев,
В.В. Харченко, 2014

Цель исследований – разработка новой конструкции гибридной концентраторной установки, обеспечивающей получение максимальных энергетических выходных характеристик фотоэлектрических преобразователей и тепловых коллекторов.

Материалы и методика исследований. В конструкции использовано размещение на одной несущей платформе в оптическом поле концентраторов двух фотомодулей и между ними двусторонних коллекторов [2]. Температура теплоносителей в каналах фотомодулей не превышает 50°C , а в каналах коллекторов может быть доведена до кипения. Предусмотрено регулирование плотности фокусируемого на фотоприемных поверхностях солнечного излучения в соответствии с сезонным изменением инсоляции Солнца.

Оптическая схема установки и процесс ее монтажа представлены на рис. 1. На несущей металлической платформе размещаются модульные концентраторы из зеркал (фацет), фокусирующие отраженное солнечное излучение на фотоэлементы, работающие с более чем пятикратной концентрацией солнечного излучения, а также на селективные поверхности коллектора, установленного между ними в плоскости симметрии несущей платформы.

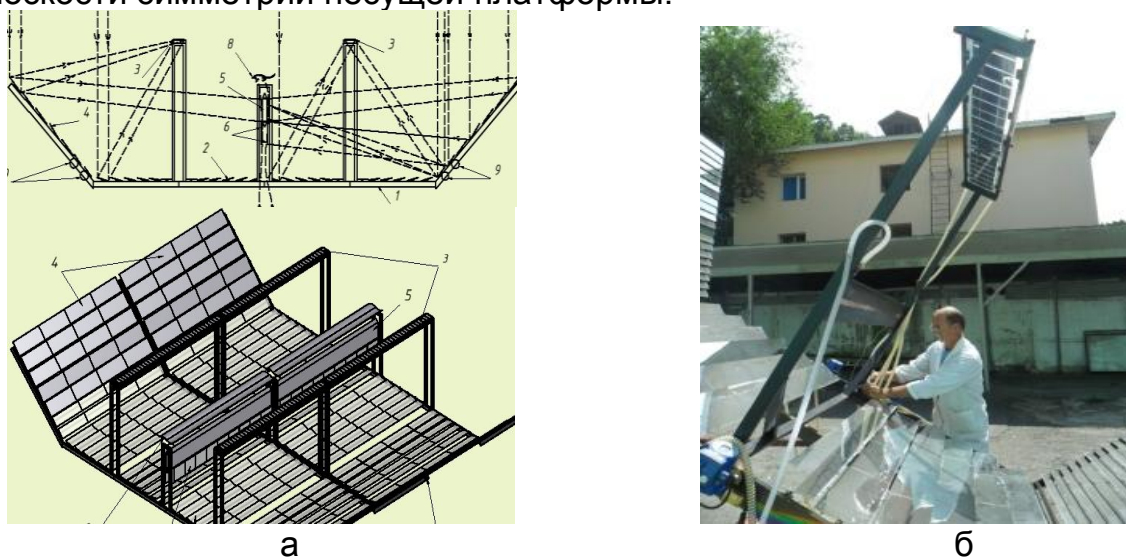


Рис. 1. Оптическая схема PVT/w установки (а) и фотография ее монтажа (б)

Новым в данной конструкции является размещение ниже коллектора в один ряд фотоэлементов относительно большой площади, работающих с одно-, двукратной концентрацией отраженного излучения. Практически 95 % общей поверхности коллектора является рабочей и покрыто селективной пленкой, поэтому нет необходимости в теплоизоляции. Плоский коллектор изготавливается из алюминия или меди. Могут применяться также серийно выпускаемые вакуумные трубки, которые модернизируются для увеличения производительности по отводу тепла.

Варианты солнечных установок с металлическим коллектором и вакуумными трубками имеют конструкторские и технологические особенности и

оптимизируются для решения специального круга задач. Пропорционально увеличению концентрации солнечного излучения уменьшается необходимая площадь поглощаемой поверхности коллектора и, соответственно, снижаются затраты на селективные пленки, стекло, крепеж, теплоизоляцию и другие материалы. С уменьшением площади каналов коллекторов возрастает скорость теплоносителей, что интенсифицирует теплообмен на стенках. Стенки плоского коллектора из алюминия покрываются селективной пленкой на основе алюминия толщиной 0,3 мм TINOX [3].

Нами рассмотрено влияние защитного теплового слоя на эффективность коллектора.

Известно, что любой нагретый предмет создает естественную конвекцию вдоль своей поверхности. В нашем случае мы вводим дополнительный источник энергии в виде выделяемого тепла пластинами фотоэлементов, который к естественной конвекции коллектора добавляет потоки тепловой конвекции от фотоэлементов. При этом в силу превышения температуры стенок коллектора над температурой фотоэлементов, возникает физический эффект увеличения расхода воздуха естественной конвекции самих фотоэлементов, что повышает интенсивность их охлаждения.

Теоретически описать формирование неизотермических потоков в сплошной двумерной среде у поверхности коллектора достаточно сложно. Мы провели экспериментальное изучение рассматриваемых процессов на специальном лабораторном стенде.

Процесс преобразования солнечной энергии в тепловую происходит следующим образом. Солнечное излучение через стекло и слой воздуха поступает на тонкую селективную пленку, в которой поглощается и преобразуется в тепло, передаваемое далее теплоносителю через стенку канала. При оценке конечного результата важно оценить интегральное значение выделяемой на поверхности канала и передаваемой теплоносителю тепловой энергии, а также той ее части, которая теряется в окружающую среду излучением и конвекцией.

На экспериментальном стенде с помощью тонкой фольги из нихрома, наклеенной на поверхность каналов через слой теплопроводящей пасты, имитируются тепловые процессы, происходящие при работе установки в реальных условиях. Получая ту же среднюю температуру стенок при тех же внешних параметрах среды, мы имитируем процессы теплообмена стенок канала с теплоносителем и окружающей средой. В этом случае теплообмен теплопроводностью и излучением между стенками изучаемого канала и окружающей средой будет аналогичен натурному эксперименту с Солнцем. На рис. 2, а изображены установленные на стенде коллектор из нержавеющей стали, датчики температуры и скорости воздушного потока вдоль стенок коллектора и ниже него – фольга из нихрома. На рис. 2, б показан процесс измерения температуры стенок коллектора и фольги пирометром при тестировании коллектора на экспериментальном стенде в зимний сезон.



а



б

Рис. 2. Коллектор и пластины из нихрома, датчики температуры и скорости потока в лаборатории (а) и на улице при тестировании коллектора (б)

Питание стенда осуществляется с помощью низковольтных сварочных выпрямителей, которые подключаются к исследуемым коллекторам через медный адаптер, позволяющий равномерно по ширине распределить электрический ток. Величина тока измеряется с применением токовых шунтов и милливольтметров с точностью $\pm 5\%$. Температура формируемого теплового потока на различном расстоянии от стенки коллектора измеряется шестью хромель-копелевыми термопарами с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$. Скорость потока вдоль стенок тонкой пластины и коллектора – ручным анемометром (ГОСТ 6376-52) с точностью $\pm 15\%$. Температура теплоносителей, стенок коллектора на входе и выходе и нихромовой фольги измеряется хромель-копелевыми термопарами с точностью $\pm 7^\circ\text{C}$, а также пирометром UT 300A с точностью $\pm 15^\circ\text{C}$.

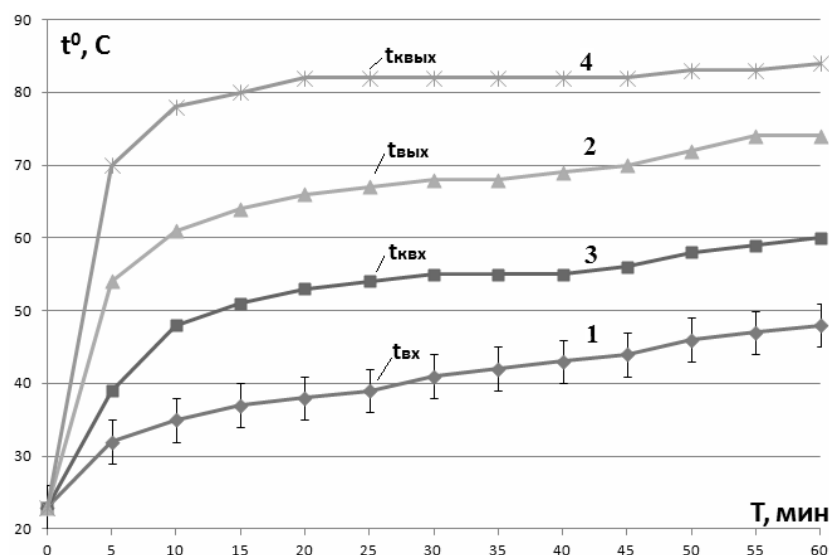


Рис. 3. Изменение температуры теплоносителя (воды) $t_{вх}$ (1) и $t_{вых}$ (3), стенок коллектора $t_{квх}$ (2) и $t_{квых}$ (4)

Методика проведения исследований включает предварительную настройку и калибровку датчиков измеряемых параметров, выход исследуемых процессов теплообмена на стационарный режим, обработку полученных результатов измерений в этом режиме с применением справочных данных.

Результаты исследований. На рис. 3 представлены усредненные данные нескольких опытов по измерению температуры на входе и выходе коллектора при расходе теплоносителя $G = 12,6 \cdot 10^{-3}$ кг/с и выделяемой мощности в стенках коллектора $P_k = 1780$ Вт. На нижней кривой приведена точность измерения температур. Как видно из графиков, примерно через 10 мин после включения источников тока и циркуляционных насосов разность температур на входе и выходе канала стабилизируется. По начальному темпу роста температур оценивалась тепловая инерционность циркуляционных контуров, которая для параметров коллектора $L/b \geq 15$ (отношение длины к ширине) составляла менее двадцати минут.

На рис. 4 представлен график зависимости эффективности коллектора от выделяемой мощности на фольге. Видно, что тепловая энергия, генерируемая ниже стенок коллектора, увеличивает его эффективность. Количественно эффект достигает 25 % при генерируемой тепловой мощности 400 Вт, что соответствует уровню мощности фотоэлементов с двукратной концентрацией излучения.

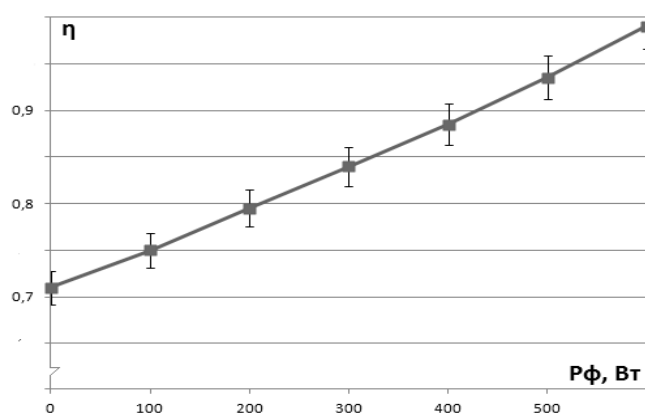


Рис. 4. Рост эффективности коллектора от генерируемой пластинами тепловой мощности. $G = 10,2 \cdot 10^{-3}$ кг/с, $P_k = 510$ Вт.

Выводы

Предложенная конструкция гибридной солнечной установки с установленным между фотомодулями двусторонним коллектором расширяет область применения кремниевых фотоэлементов большой площади как источников тепла для формирования теплового защитного слоя вдоль стенок коллектора. В области реально выделяемой пластинами фотоэлементов тепловой мощности (≈ 400 Вт) эффективность коллектора за счет защитного теплового слоя увеличивается на 25 %. Совместное использование коллектора и фотоэлементов с более

высокой температурой поверхности коллектора создает эффект усиления расхода воздушного потока вдоль пластин фотоэлементов, что увеличивает интенсивность охлаждения фотоэлементов и количество вырабатываемой ими электроэнергии.

Результаты измерений тепловых параметров коллектора на теплотехническом стенде с применением электрического тока в качестве нагревателей могут быть перенесены на натурные условия взаимодействия коллектора с окружающей средой и приходящей солнечной радиацией.

Список литературы

1. T.T. Chow. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology//Applied Energy, Volume 87, Issue 2, February 2010, Pages 365–379
2. A.G. Nesterenkov, etc. Innovative patent № 26293 from 21.10.2011, the “PVT Solar Power Station.”
3. http://www.viessmann-rus.ru/product/solar/vitosol_100f/

Наведено опис розробленої когенераційної системи тепло-електропостачання з концентрацією сонячного випромінювання. Розглянуто методику дослідження теплообміну колекторів з навколишнім середовищем у гібридних сонячних установках з концентрацією випромінювання. Вивчено на експериментальному стенді процеси формування теплових потоків уздовж стінок колекторів.

Сонячна енергія, колектор, фотомодуль, концентратор, теплоносій, теплообмін, методика тестування, ефективність колектора.

The description of the cogeneration system of heat power supply with a concentration of solar radiation developed. The method of heat transfer studies of collectors and the environment in the hybrid solar thermal systems with a concentration of radiation. Studied in experimental stand the processes of formation of heat flows along the walls of collectors

Solar energy, collector, photo module, hub, heat transfer fluid, heat transfer, testing methodology, efficiency of the collector.

ЭЛЕКТРООБРАБОТКА ФУРАЖНОГО ЗЕРНА С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ЕГО КОРМОВОЙ ЦЕННОСТИ

**И.В. Юдаев, доктор технических наук
Азово-Черноморский инженерный институт
Донского ГАУ, г. Зерноград**

**С.Н. Родионов, кандидат сельскохозяйственных наук
Волгоградский ГАУ, г. Волгоград**

В.В. Гамага, кандидат биологических наук

**С.Е. Грачев, старший преподаватель
МГГУ им. М.А. Шолохова, г. Москва**

**Н.А. Соколова, старший преподаватель
Волжский политехнический институт, г. Волжский**

Изучены процессы электрофизической обработки фуражного зерна для повышения его биологической ценности. Проанализировано экспериментально полученные данные по откорму цыплят-бройлеров и перепелов, которые свидетельствуют о возможной перспективе применения такой операции в технологии выращивания сельскохозяйственной птицы.

Фуражное зерно, обработка фуражного зерна электрофизическими методами, кормление цыплят-бройлеров и перепелов.

Эффективность производства птицеводческой продукции во многом зависит от наличия хорошей кормовой базы, а также современных технологий используемых при производстве комбикормов.

Основной компонент комбикормов для выращивания птицы – это фуражное зерно, недостатком которого является низкая усвояемость. В связи с чем, большое значение имеет технология подготовки зерновых кормов к скармливанию, направленная на повышение их биологической ценности, чтобы полнее удовлетворять существующую потребность птицы в энергии, питательных и биологически активных веществах. Такая предварительная обработка может быть реализована любым из следующих методов воздействия на зерно: механически, термически, гидротермически, термомеханически и др [9]. Причем осуществить это можно как при промышленном производстве комбикормов (на комбикормовых заводах), так и в кормоцехах птицеводческих хозяйств [1. 6].

В настоящее время разработано более двух десятков различных способов подготовки фуражного зерна к скармливанию [2–5].

Большинство существующих технологий обработки фуражного зерна основано на принципах внешнего энергоподвода, при которых проникновение теплоты внутрь материала происходит за счет теплопроводности и теплодиффузии [8]. Интенсификация процессов обработки зерна,

имеющего низкую теплопроводность, обычно осуществляется повышением градиента температуры, приводящим к снижению качества корма, повышению энергетических, трудовых и материальных затрат. Все способы предкормовой обработки исходного материала характеризуются большим потреблением электроэнергии (от 120 до 300 кВт·ч/т), т.к. она расходуется на нагрев сырья за счет косвенного подвода энергии.

Необходимость совершенствования процессов обработки зерна, возникающие трудности с топливо- и теплообеспечением сельскохозяйственного производства, современные тенденции по разработке энергосберегающих технологий обуславливают применение электротехнологических методов обработки сырья перед скармливанием [7].

Цель исследований – улучшение кормовой ценности фуражного зерна с выявлением наиболее эффективных режимов его электрической обработки.

Материалы и методика исследований. На базе проблемной научно-исследовательской лаборатории «Биоэнергетических исследований и эффективных электротехнологий» Волгоградского ГАУ проведено экспериментальное изучение сущности процессов по электрофизической обработке фуражного зерна с целью улучшения его кормовой ценности. Зернофураж подвергался предкормовой обработке за счёт воздействия на него электрических импульсов высокого напряжения, а также переменного тока промышленной частоты. Известно, что зерновая масса обладает большим омическим сопротивлением, поэтому для повышения электропроводности зерновую массу, помимо обработки ее в сухом виде, увлажняли раствором бишофита. Являясь природным минералом, он применяется в рационах животных и сельскохозяйственной птицы в качестве экологически чистой минеральной подкормки, что повышало ценность проводимых исследований. Структурная схема исследовательской установки состояла из следующих элементов: источник переменного тока промышленной частоты, высоковольтный трансформатор, киловольтметр, амперметр, выпрямитель, косинусный конденсатор, управляемый разрядник и экспериментальная ячейка. В процессе проведения опытов по электроимпульсной обработке фуражного зерна пшеницы основным, контролируемым и поддерживаемым параметром, являлась энергия обработки. Во время экспериментов давление между электродами на зерновую массу в экспериментальной ячейке поддерживалось постоянным. Изменение температуры после электрообработки зерна фиксировалось электронным термометром. Температура обрабатываемой массы изменялась незначительно в пределах $t=0...12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При обработке фуражного зерна переменным током промышленной частоты контролировали значения приложенного к электродам напряжения и протекающего тока. Структурная схема установки практически копировала схему предыдущего опыта, только с учетом изменений – из нее были исключены блоки, формирующие электрические импульсы. Температура после обработки зерна пшеницы током промышленной частоты также существенно не изменялась.

Кормовое достоинство любого растительного сырья оценивается по его влиянию на продуктивность животных, в нашем случае сельскохозяйственной птицы.

На базе лабораторно-клинического корпуса Волгоградского ГАУ для изучения влияния кормов, обработанных электрофизическими методами, на продуктивность сельскохозяйственной птицы были проведены научно - хозяйственные опыты на цыплятах-бройлерах и перепелах. Целью зоотехнических исследований было изучение кормовой ценности зерна до и после электрофизической обработки.

Для проведения опыта на цыплятах-бройлерах кросса «КОББ-500» было сформировано шесть групп по 35 голов в каждой. Продолжительность опыта составила 39 дней. Обработанное электричеством зерно пшеницы вводили в состав комбикормов с десятого дня эксперимента. Контрольная группа цыплят - бройлеров получала комбикорм, содержащий необработанное зерно пшеницы; вторая опытная - комбикорм, содержащий зерно пшеницы, обработанное током промышленной частоты в сухом виде с удельной энергией обработки 2,5 кДж/кг; третья опытная – комбикорм, содержащий зерно пшеницы, смоченное водой и обработанное током промышленной частоты с удельной энергией обработки 2,5 кДж/кг; четвертая опытная – комбикорм, содержащий зерно пшеницы, смоченное бишофитом и обработанное током промышленной частоты с удельной энергией обработки 2,5 кДж/кг; пятая опытная - комбикорм, содержащий зерно пшеницы, смоченное бишофитом и обработанное импульсным током с удельной энергией обработки 40,7 кДж/кг; шестая опытная – комбикорм, содержащий зерно пшеницы, смоченное бишофитом и обработанное импульсным током с удельной энергией обработки 65,1 кДж/кг.

Для научно-хозяйственного опыта на перепелах было сформировано пять групп по 40 голов в каждой. Контрольная группа получала комбикорм, содержащий необработанное зерно пшеницы, ячменя, овса и гороха, вторая опытная - комбикорм, содержащий зерно пшеницы, ячменя, овса и гороха без обработки, смоченное 1,5 %-ным раствором бишофита, третья опытная – комбикорм, содержащий зерно пшеницы, ячменя, овса и гороха, смоченное 1,5 %-ным раствором бишофита, обработанное переменным током контактно с удельной энергией обработки 2500 Дж/кг, четвертая опытная – комбикорм, содержащий зерно пшеницы, ячменя, овса и гороха, смоченное 1,5 %-ным раствором бишофита, обработанное электрическими импульсами с удельной энергией обработки 52,65 кДж/кг, пятая опытная – комбикорм, содержащий зерно пшеницы, ячменя, овса и гороха, смоченное 1,5 %-ным раствором бишофита, обработанное электрическими импульсами с удельной энергией обработки 2,5 кДж/кг.

Результаты исследований. Проведенные исследования показали, что лучшие результаты по приросту живой массы как в опыте на цыплятах-бройлерах, так и на перепелах наблюдались в группах, где в комбикорм вводили зерно, смоченное бишофитом и обработанное импульсным током с удельной энергией обработки 65,1 кДж/кг (для бройлеров) и 2,5 кДж/кг (для перепелов).

К убою, в возрасте 39 дней средняя живая масса цыплят-бройлеров в лучшей шестой опытной группе составила 2274 г, что на 174 г. или на 8,3 % больше, чем в контрольной группе, в которой средняя живая масса птицы составила 2100г. В остальных группах увеличение живой массы по сравнению с контрольной было на уровне 2,04–5,4 %. Важным показателем, характеризующим мясную продуктивность, также является отношение съедобных частей тушки к несъедобным частям. В шестой опытной группе этот показатель составил 1,88. Самым низким этот показатель оказался в первой контрольной группе – 1,52.

Оценить эффективность использования комбикормов, в состав которых входила зерносмесь, обработанная электрофизическим методом, можно и по затратам кормов на единицу продукции. В контрольной группе этот показатель составил 1,95 кг комбикорма на кг прироста живой массы, в лучшей шестой опытной группе – 1,67 кг.

Средняя живая масса перепелов к убою в контрольной группе составила - 250,3 г, что на 5,23 % меньше, чем в лучшей пятой опытной группе, масса птицы в которой составила 263,4 г.

Выводы

Критерием правильности кормления сельскохозяйственной птицы является соответствие нормативам их интенсивности прироста, а живая масса является важным показателем роста и развития, одним из основных хозяйственно-полезных признаков их мясной продуктивности.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что наилучшие результаты были получены при использовании в комбикормах для цыплят-бройлеров зерна, обработанного импульсным током и предварительно смоченного раствором бишофита (2 %) при удельной энергии обработки 65,1 кДж/кг, что позволило повысить прирост живой массы на 8,3 % по сравнению с контролем при более низких затратах корма на единицу продукции. Для перепелов лучший результат был получен в пятой опытной группе, где прирост наблюдался на 5,23 % выше, чем в контроле. В этой группе птица получала комбикорм, содержащий зерно пшеницы, ячменя, овса и гороха, смоченное 1,5 %-ным раствором бишофита, обработанное электрическими импульсами с удельной энергией обработки 2,5 кДж/кг.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о перспективности внедрения в практику птицеводства предкормовой обработки зерновой части комбикормов электрофизическими методами.

Список литературы

1. Архипов А.В. Пути повышения эффективности использования кормов / А.В. Архипов // Птицеводство. – 1989. – № 2. – С. 14–17.
2. Афанасьев В.А. Специальная обработка зерна и комбикормов / В.А. Афанасьев, А.И. Орлов // Комбикорма. – 1999. – № 7. – С. 15–17.
3. Афанасьев В.А. Тепловая обработка зернового сырья с применением ИК-нагрева при производстве комбикормов / В.А. Афанасьев // Тр. ВНИИКП. – 1978. – Вып. 14. – С. 29–30.

4. Дринча В.М. Технология химического консервирования кормового зерна / В.М. Дринча // Техника и оборудование для села. – 2009. – №8. – С.22–25.
5. Дринча В.М. Химическое консервирование кормового зерна / В.М. Дринча // Аграрный эксперт. – 2008. – №12. – С. 48–51.
6. Заготовка, хранение и использование кормов / [Г.Т. Клиценко, Н.М. Карпусь, В.К. Юрченко и др.]. – К.: Урожай, 1987. – С. 287–302.
7. Корко В.С. Разработка электрогидротермического способа обработки фуражного зерна: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / В.С. Корко. – М.:ВИЭСХ, 1984. – 24 с.
8. Технология переработки зерна / [под ред. Г.Л. Егорова]. – М.: Колос, 1977. – 375 с.
9. Aspinall, J.O. Aspects of the chemistry of cereal polysaccharides / J.O. Aspinall. // Inst. Brewing. – 1962. – V. 68. – P. 167-168.

Вивчено процеси електрофізичної обробки фуражного зерна для підвищення його біологічної цінності. Проаналізовано експериментально отримані дані з відгодівлі курчат-бройлерів і перепелів, які свідчать про можливу перспективу застосування такої операції в технології вирощування сільськогосподарської птиці.

Фуражне зерно, обробка фуражного зерна електрофізичними методами, годівля курчат-бройлерів і перепелів.

The processes for the treatment of electro feed grain to increase its biological value are studied. Analyzed experimentally obtained data on the fattening of broiler chickens and quails, which suggest a possible application of such term operation in the technology of growing poultry.

Feed grain, processing feed grains electric methods, feeding broiler chickens and quails.

УДК 631.1

ФЕНОМЕНАЛЬНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, ЗАКОН ВЫЖИВАНИЯ: ИХ УЧЕТ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

***И.И. Свентицкий, доктор технических наук
В.А. Королев, И.К. Жмакин, кандидаты технических наук
А.Г. Свентицкий, инженер
Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства, г. Москва***

Разработана естественнонаучная методология совместного эксергетического анализа биоконверсии природной энергии растениями и преобразований техногенной энергии в агротехнологиях. Это

*© И.И. Свентицкий, В.А. Королев,
И.К. Жмакин, А.Г. Свентицкий, 2014*

4. Дринча В.М. Технология химического консервирования кормового зерна / В.М. Дринча // Техника и оборудование для села. – 2009. – №8. – С.22–25.
5. Дринча В.М. Химическое консервирование кормового зерна / В.М. Дринча // Аграрный эксперт. – 2008. – №12. – С. 48–51.
6. Заготовка, хранение и использование кормов / [Г.Т. Клиценко, Н.М. Карпусь, В.К. Юрченко и др.]. – К.: Урожай, 1987. – С. 287–302.
7. Корко В.С. Разработка электрогидротермического способа обработки фуражного зерна: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / В.С. Корко. – М.:ВИЭСХ, 1984. – 24 с.
8. Технология переработки зерна / [под ред. Г.Л. Егорова]. – М.: Колос, 1977. – 375 с.
9. Aspinall, J.O. Aspects of the chemistry of cereal polysaccharides / J.O. Aspinall. // Inst. Brewing. – 1962. – V. 68. – P. 167-168.

Вивчено процеси електрофізичної обробки фуражного зерна для підвищення його біологічної цінності. Проаналізовано експериментально отримані дані з відгодівлі курчат-бройлерів і перепелів, які свідчать про можливу перспективу застосування такої операції в технології вирощування сільськогосподарської птиці.

Фуражне зерно, обробка фуражного зерна електрофізичними методами, годівля курчат-бройлерів і перепелів.

The processes for the treatment of electro feed grain to increase its biological value are studied. Analyzed experimentally obtained data on the fattening of broiler chickens and quails, which suggest a possible application of such term operation in the technology of growing poultry.

Feed grain, processing feed grains electric methods, feeding broiler chickens and quails.

УДК 631.1

ФЕНОМЕНАЛЬНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, ЗАКОН ВЫЖИВАНИЯ: ИХ УЧЕТ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

***И.И. Свентицкий, доктор технических наук
В.А. Королев, И.К. Жмакин, кандидаты технических наук
А.Г. Свентицкий, инженер
Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства, г. Москва***

Разработана естественнонаучная методология совместного эксергетического анализа биоконверсии природной энергии растениями и преобразований техногенной энергии в агротехнологиях. Это

*© И.И. Свентицкий, В.А. Королев,
И.К. Жмакин, А.Г. Свентицкий, 2014*

позволяет оптимизировать энергообеспечение сельских потребителей и рационально использовать основные средства аграрного производства.

Феноменальные явления, второе начало термодинамики, закон выживания, эволюция биосферы.

Феноменальными называются явления, которые надежно экспериментально или математически установлены, но естественнонаучно не объяснены общепризнанными научными законами. Они свидетельствуют о неполноте общепризнанных законов, существовании невыявленных законов природы. В настоящее время к таким феноменам относятся: золотая пропорция, фрактальные структуры, солитоны, фазовые переходы, онтогенез или биогенетический закон, а также закон (правило) электромагнитной инерции Ленца, феноменальные физико-химические принципы: Ле Шателье, Ферма, наименьшего действия. Последних два, как известно, использованы в качестве исходных положений теорий разделов физики соответственно классической механики и оптики.

В XIX столетии с работы С.Карно, посвященной корректному определению КПД тепловой машины, началось развитие классической термодинамики. Ее главный закон – второе начало и его функция энтропия обусловили проявление ряда проблем в науке. Второе начало явилось «инородным телом в стройной системе классической физики». Оно противоречило основным разделам физики. Главная функция второго начала термодинамики энтропия повсеместно и непрерывно возрастала, разрушая природные структуры, рассеивала их энергию. Возникла проблема опасения «тепловой смерти Земли и Вселенной». В дискуссии по этой проблеме ряд ученых: В. И. Вернадский, Г.Гельмгольц, К. А. Тимирязев, К.А. Циолковский и др. высказывали положение о том, что, наряду со вторым началом существует не открытый закон, сущность которого противоположна сущности второго начала.

Цель исследований – выявление влияния структуры самоорганизации вещества в установлении требуемых свойств создаваемых объектов (технологий, технических устройств, материалов).

Материалы и методика исследований. Для достижения поставленной цели общепризнанных положений фундаментальной науки недостаточно. Об этом свидетельствуют существующие проблемы фундаментальной науки, проблемы, обусловленные классической термодинамикой.

На основании этой гипотезы в 1977 г. И.И. Свентицким был обоснован подобный закон, названный в последствии законом выживания [8]. Сущность его в следующем: каждый элемент живой природы в своем развитии (индивидуальном, эволюционном) самопроизвольно устремлен к состоянию наиболее полного использования доступной свободной энергии системой того трофического уровня, в которую он входит. Этот закон направляет прогрессивную эволюцию самоорганизующейся природы. В 1981 г. этот закон был представлен в докладе автора на 1-м

Всемирном конгрессе по управлению мировыми запасами энергии, как закон для решения проблем: энергетической, продовольственной и экологической. Доклад опубликован в сборнике, изданном Оксфордским университетом и Нью-Йоркской академией (Изд. Пергамон Пресс) [14].

Результаты исследований. Все, что нас окружает в космосе и на планете Земля, возникло в процессе прогрессивной эволюции. На ней возникла жизнь и мыслящий человек. Земля не имеет регулярного обмена со своим окружающим веществом, входящим в состав организмов. Она термодинамически закрытая по веществу система. Эволюция на ней возможна только при наличии на ней круговорота биофильных веществ. Экспериментально такой круговорот установлен: только доли процента, от общего количества находящихся на поверхности Земли, важных биофильных элементов – азота и углерода – по замкнутому циклу обращаются в живой части биосферы [1, 2]. Это свидетельствует о высокой энергетической и вещественной экономности прогрессивной эволюции. После выхода из самоорганизованного (живого) состояния системы становятся равновесными. Благодаря второму началу термодинамики и его функции энтропии их структуры повсеместно и непрерывно разрушаются до состояния вещества, пригодного для повторного использования в самоорганизующихся (живых) системах. Отметим, это относится только к объектам, вышедшим из самоорганизованного состояния. Второе начало термодинамики относится только к равновесным, не самоорганизующимся системам. Главная его роль и функции энтропии – утилизация систем, вышедших из самоорганизованного состояния, высвобождение из них веществ для вновь образующихся самоорганизованных систем.

Явления феноменальные, как правило, не согласуются со вторым началом, их сущность противоположна его сущности, но согласуется с сущностью закона выживания. Феноменальные явления представляются энерго-, ресурсоэкономными явлениями. В этом их положительное свойство для совершенствования технологий и создании высокоэффективных энергетических систем. Традиционно второе начало термодинамики считают главным законом энергетики, поэтому все, что с ним не согласуется, как правило, официально отвергают. Распространение приложения второго начала термодинамики на самоорганизующиеся природные явления, нередко встречающиеся в науке, принесли немало огорчений изобретателям в несправедливом обвинении их в «изобретении вечного двигателя». Явное несоответствие второму началу используемых изобретателями феноменальных, самоорганизующихся структур и процессов в изобретениях нередко вызывает у них представление о необоснованности второго начала. К такому выводу приходят не только рядовые изобретатели, но и изобретатели-ученые. В новые разделы квантовой физики и теории относительности второе начало в явном виде не вошло, поэтому в них возникла проблема отрицательной энергии (рис. 1).

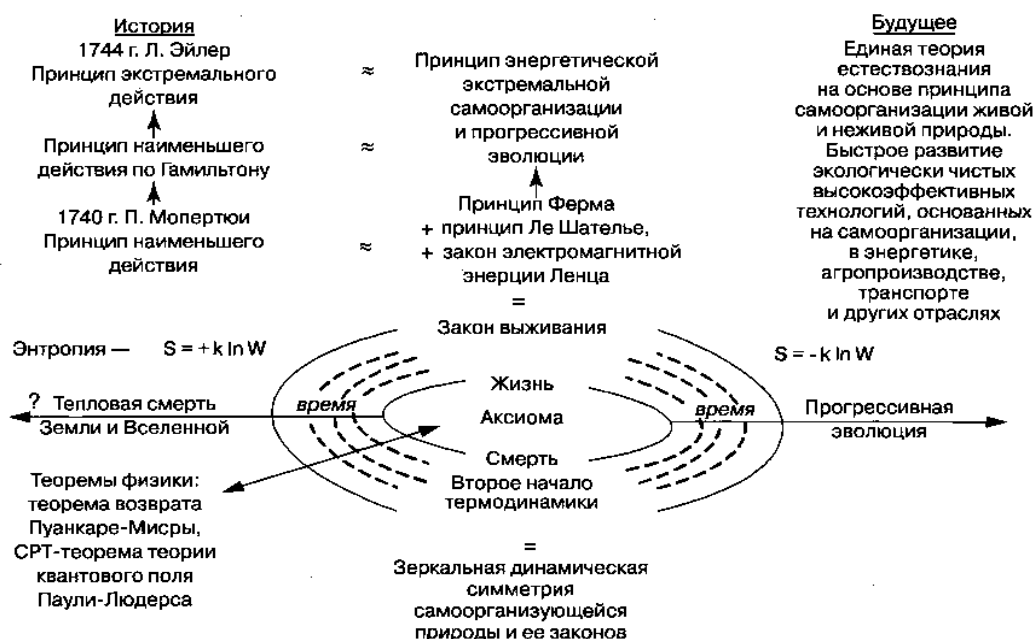


Рис. 1. Логическая схема связи основной сущности закона выживания, второго начала, энергетической экстремальности самоорганизации с аксиомой жизни и смерти, феноменальными физико-химическими принципами, и основными теоремами физики [11]

Эти инновационные научные достижения являются исходной естественнонаучной основой всеединства знаний. Они позволили решить главную проблему биофизики: логически, концептуально объединить теории физики и биологию. На их основе удалось решить проблемы науки, обусловленные классической термодинамикой [11], и выявить самопроизвольную общую направленность прогрессивной эволюции к экономии основных сущностей природы: энергии, вещества, информации [7]. Прогрессивная эволюция немыслящей природы имеет идеально реальные свойства, которые очевидно необходимо соблюдать также человечеству в своем историческом развитии.

Эту необходимость подтверждает антропный принцип, который является следствием прогрессивной эволюции и уровнем ее прецизионности [13]. Самопроизвольная устремленность прогрессивной эволюции к экономии энергии, вещества и информации соблюдается с прецизионностью, при которой физические постоянные необходимо вычислять с точностью не меньше, чем 9 – 12 знаков после запятой. Антропный принцип для социологии и антропологии в целом является таким же важным и точным законом как закон гравитации для физики и техники. Этот принцип является научной основой перехода от биосферы к ноосфере, устойчивому развитию человечества и немыслящей природы. Эти результаты доложены на XXIII Всемирном конгрессе по философии «Философия как познание и образ жизни» [13].

Рассматриваемые научные инновации позволяют осуществить концептуальную логическую теоретизацию неформализованных эмпирических отраслей знаний, объединить их с фундаментальной наукой. На

их основе разработана естественнонаучная методологи совместного эксергетического анализа биоконверсии природной энергии растениями и преобразований техногенной энергии в агротехнологиях, позволяющая оптимизировать энергообеспечение сельских потребителей и рационально использовать основные средства аграрного производства: земельные угодия, генетический потенциал растений (видов, сортов, гибридов), а также сортовые зональные технологии и средства их осуществления. Методология эксергетического анализа преобразований энергии растениями при фотосинтезе была доложена на III международной конференции по моделированию биофизических процессов преобразования энергии растениями в 1983 г. (г. Берлин, Университет им. Гумбольдта) и опубликована в научном журнале Гумбольдтовского университета [9].

Традиционные агроэкологические величины, взаимно не согласованы и не имеют количественного определения. На основе рассматриваемых инноваций они количественно взаимно согласовано определены и выражены в одинаковых эксергетических единицах. Величина эксергии солнечного излучения для растениеводства, поступающей на поверхность земельного угодия, при этом принята за исходную. Эта величина является началом исчисления, точкой отсчета для определения как продуктивности растений в заданных экологических условиях, так и плодородия земельных угодий в отношении определенных видов (сорт, гибридов) растений. С использованием этих величин создана компьютерная система эколого совместимой, энерго-, ресурсосберегающей оптимизации производства продукции растениеводства. Эта система позволяет оценивать уровень эффективности агротехнологий с учетом экологических условий земельных угодий. Разработана эксергетическая теория урожая, объединяющая агроэкологию и разработку агротехнологий с основами фундаментальной науки. На этой основе необходимо модернизировать оценку земель аграрного назначения и ввести земельную ренту в РФ. Это позволит перевести отечественное производство сельскохозяйственной продукции на принципиально новый научный уровень и за короткий срок восстановить продовольственную безопасность РФ.

Исходная модель теоретизации аграрно-экологических знаний и агротехнологий также обсуждена на 111 международной конференции по моделированию преобразований энергии растениями и опубликована в международном журнале «Фотосинтетика» [15]. До сих пор аграрно-экологические знания и агротехнологии развиваются на эмпирической основе, а хозяйственно-экономическая и кадастровая оценки земель не соответствуют интенсивности их использования. Только на основе модернизации оптимального энергообеспечения производителей сельскохозяйственной продукции и при введении земельной ренты в РФ на рассматриваемой инновационной основе можно в короткий срок восстановить продовольственную безопасность России и обеспечить конкурентоспособность отечественной сельскохозяйственной продукции на международном рынке. Россия, имея два процента мирового

населения, располагает 10 % мировых площадей пашни и 8 % мирового производства минеральных удобрений. Она должна иметь продовольственную безопасность и быть мировым экспортером продовольствия.

Несмотря на более чем столетний период, прошедший со времени изобретений и оригинальных опытов Н.Тесла по беспроводной передаче электроэнергии, ученым в области макроэлектромагнитной динамики не удалось объяснить их на основе теории Максвелла, полноценность которой подвергают сомнению, или создать теорию, обеспечивающую их надежное понимание. Это свидетельствует о том, что сущность изобретений Тесла имеет фундаментальную новизну. На основе рассмотренных выше научных инноваций выявлено, что закон (правило) электромагнитной инерции Ленца тождествен закону механической инерции и принципу Ле Шателье [6]. При выводе уравнений макроэлектромагнитной динамики Максвелл использовал уравнение Гамильтона, отображающее механическую сущность принципа наименьшего действия. Закон Ленца отображает электромагнитную сущность этого принципа, поэтому на его основе более просто и надежно можно вывести аналитические зависимости макроэлектромагнитной динамики, позволяющие объяснить изобретения Н. Теслы.

Тема, начинающаяся со слов «структура вещества», одна из наиболее распространенных тем в современных академических программах многих стран. Рассмотренные научные инновации позволяют сделать вывод о том, что самопроизвольная устремленность прогрессивной эволюции самоорганизующейся природы к экономности: энергетической, вещественной, информационной и, очевидно, пространственной должна быть отражена в структурной организации эволюционирующих объектов. Этот вывод наглядно подтверждает схема эволюционного дерева организмов биосферы (рис. 2).



Рис. 2. Дерево эволюции организмов биосферы [12]

Это дерево эволюции организмов биосферы выведено на основе последовательного анализа цитохрома С организмов по Дикерсону (заимствована из [12].). В каждом узле этого дерева имеет место только

два ответвления. Вся структура его можно представить в виде бинарного трехзвенного фрактала. Случайно ли природа избрала такую структуру самоорганизации вещества на этапе биологической эволюции? И почему она совпадает со структурогенезом микрочастиц, как это видно из рис. 3.

Организация из микрочастиц протона представляет собой десятикомпонентную самоподобную структуру типа бинарного трёхзвенного фрактала и имеет вид (рис. 3) [3]. Известно, что фрактальные структуры и графические изображения их аналитических зависимостей обладают красотой, но до работ И.И. Свентицкого не была известна их экономность: энергетическая, вещественная, информационная. Этими свойствами в определенной мере можно ответить на возникшие вопросы. Эти же свойства представляются подтверждением реально идеальных свойств прогрессивной эволюции самоорганизующейся немыслящей природы, которые до работ И.И. Свентицкого не были замечены. Напротив, второе начало и его функция энтропия вызывали опасение «тепловой смерти Земли и Вселенной». Наряду с фрактальным кодом самоорганизации вещества в прогрессивном филогенезе на уровне микрочастиц было обнаружено также проявление золотой пропорции в распределении энергии при взаимодействии микрочастиц [5]. Известно также, что энергоэкономный механизм золотой пропорции – механизм проявления закона выживания – возникнув на физическом этапе эволюции, перешел в биологические объекты и далее в социальные. В самом этом процессе последовательного перехода по существу отображено явление экономии информации. Общеизвестно, что протон представляется исходной вещественной основой всего мироздания. Рисунки 2 и 3 наглядно показывают однотипность эволюционного фрактального единства самоорганизации вещества природы от протона до человека.

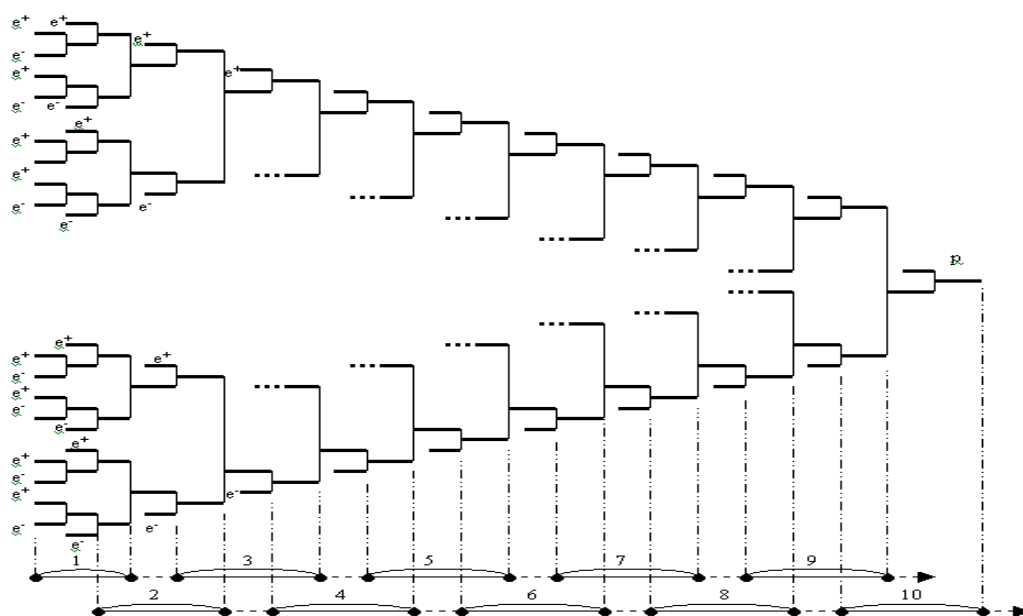


Рис. 3. Схема фрактальной самоорганизации структурогенеза протона [3]

Следовательно, эволюцию всех организмов биосферы можно характеризовать как последовательный процесс отбора, осуществленного по трехзвенному бинарному фракталу. Фрактальные структуры характеризуются экономностью сущностей, в том числе и вещественной экономностью.

Этим механизмом структурогенеза вещества природы с очевидностью обеспечиваются выявленные неразделимые свойства прогрессивной эволюции. Одним из доказательств этого могут служить высокоэнергетически эффективные протон-нейтронные взаимодействия. Они позволяют получать неограниченное количество свободной энергии (эксергии). Этот природный механизм энергоэкономности (механизм проявления закона выживания) на микроуровне представляется наиболее перспективным в развитии глобальной энергетики. Попытка последовательного рассмотрения энергетического, вещественного, информационного, документального и интеллектуального эволюционного отбора с позиций второго начала термодинамики осуществлена в работе проф. МЭИ Б. И. Кудрина [4].

Проявление структурной самоорганизации вещества на самом раннем этапе прогрессивной эволюции природы по бинарному фракталу и проявление этой закономерности на этапе биологической эволюции подтверждают общую самопроизвольную устремленность прогрессивного филогенеза природы к экономии сущностей. Этот детерминизм связан с основными силовыми (энергетическими) взаимодействиями: слабыми, сильными, гравитационными, электромагнитными. Для протона наиболее характерны сильные и гравитационные взаимодействия. Переход протона в нейтрон и возможность взаимодействия его с электроном, очевидно, способствует расширению его энергетики слабых и электромагнитных взаимодействий. Этим можно объяснить высокую энергетическую эффективность протон-нейтронных взаимодействий с выделением свободной энергии.

У объектов биологического этапа эволюции прогрессивная направленность ее характеризуется, прежде всего, совершенствованием информации. Для человека, как завершающего звена биологического ее этапа, главным его информационным свойством является интеллектуальное свойство – мышление, самопознание. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что последовательный детерминизм самоорганизации вещества по бинарному фрактальному коду относится, прежде всего, к информационным, управляющим процессам эволюционирующих природных объектов. Не случайно оказалось столь сложным раскрытие и понимание сущности интеллекта как человеческого, так и искусственного. Эволюционный отбор по бинарному фрактальному коду очевидно универсален для всех сущностей энергетической, вещественной, информационной и интеллектуальной.

Рисунки 2 и 3 показывают феноменальное явление глобального процесса прогрессивной эволюции немыслящей самоорганизующейся природы – единство общего механизма отбора – бинарного фрактала -

при огромном многообразии отобранных самоорганизующихся, выживших и выживающих объектов физико-химической и живой природы. Этот феномен выявлен на основе научной инновации: закона выживания и энергетической экстремальности самоорганизации. На этой же основе, очевидно, возможно его естественнонаучное объяснение.

Выводы

Рассмотренные научные инновации позволяют осуществить концептуальную логическую теоретизацию неформализованных эмпирических отраслей знаний, объединить их с фундаментальной наукой. На их основе разработана естественнонаучная методологии совместного энергетического анализа биоконверсии природной энергии растениями и преобразований техногенной энергии в агротехнологиях, позволяющая оптимизировать энергообеспечение сельских потребителей и рационально использовать основные средства аграрного производства: земельные угодия, генетический потенциал растений (видов, сортов, гибридов), а также сортовые зональные технологии и средства их осуществления.

Список литературы

1. Деви Э. Круговорот минеральных веществ / Э. Деви // Биосфера. – М.: Мир, 1972. – С. 120 – 138.
2. Дельвич К. Круговорот азота / К. Дельвич // Биосфера. – М.: Мир, 1972. – С. 105 – 119.
3. Косинов Н.В. Генетический код вещества во вселенной [Электронный ресурс] / Н.В. Косинов, В.И. Гарбарук. – Режим доступа: <http://www.inventors.ru/index.asp?mode=2823>.
4. Кудрин Б.И. Об эволюции: отбор энергетический, вещественный, информационный, документальный, интеллектуальный / Б.И. Кудрин. // Теория эволюции: наука или идеология?; тр. XXV Любимцевских чтений, 1998, Москва-Абакан. – М.: МОИП, 1998. – С. 22–42.
5. Саврухин А.П. Природа элементарных частиц и золотое сечение / А.П. Саврухин. – М.: Изд.-во Моск. гос. ин-та леса, 2004. – 202 с.
6. Свентицкий И.И. Закон электромагнитной инерции Ленца и феноменальные принципы физики / И.И. Свентицкий // Электротехника, 2003. – № 8. – С. 16 – 20.
7. Свентицкий И.И. Идеальность прогрессивной эволюции и ее телеологическое отражение в познании / И.И. Свентицкий, Е.О. Алхазова // Методология науки и антропология. – М.: ИФ РАН, 2012. – С. 103–1011.
8. Свентицкий И.И. К обоснованию биоэнергетической целенаправленности структур и функций живых систем / И.И. Свентицкий. – М., 1977. – 120 с. – Деп. в ВИНТИ, 1977, №3204–77.
9. Свентицкий И.И. Определение свободной энергии на входе в растения / И.И. Свентицкий. // Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt Universität zu Berlin. Math. –Nat. R., V. XXXIII, 1984. – N 4. – S. 330–331.
10. Свентицкий И.И. Энергетическая экстремальность самоорганизации – исток решения проблем человеческих. Ч.2. [Электронный ресурс] / И.И. Свентицкий, А.Н. Обыкновенный. – Уч. – метод. центр РАГС по аттестации научно-педагогических работников ВУЗов. – Режим доступа: http://ido-rags.ru/?page_id=1095.

11. Свентицкий И.И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации / И.И. Свентицкий. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – 466 с.
12. Эбелинг В. Физика процессов эволюции / Эбелинг В., Энгель А. Файстель Р. – М.: УРСС, 2001. – 267 с.
13. Kasumov N., Sventitskij I., Mudrik V. а) Антропный принцип как следствие прогрессивной эволюции и уровень ее прецизионности. //XX111 Congress of Philosophy. Philosophy as inquiry and Way of Life. Abstrakts, Athens, P. 330. 808 p. б) Kasumov N., Sventitsky I., Mudrik V. The anthropic principle as consequence of progressive evolution and level of its precision // Research in Agricultural Electric Engineering. 2013. – № 3. – P. 108-112.
14. Sventitskij I.I. Bioenergetics trends – a key to solving energy, food and ecological problems. // Beyond energy crisis opportunity and challenges. Pergamon press, Oxford and New York, 1981, p. 1863 – 1870.
15. Sventitskij I.I., Antoninova M.V. Photosynthetic Model for nceptual Combination of Plant Growing and Enviroment // Photosynthetica, 1989. – N 23(4). – P. 617 – 628.

Розроблено природничонаукову методологію спільного ексергетичного аналізу біоконверсії природної енергії рослинами і перетворень техногенної енергії в агротехнологіях. Це дозволяє оптимізувати енергозабезпечення сільських споживачів і раціонально використовувати основні засоби аграрного виробництва.

Феноменальні явища, другий початок термодинаміки, закон виживання, еволюція біосфери.

Developed naturalistic methodology joint exergetic analysis of bioconversion of natural energy plants and technological transformations of energy in agro-technologies. This allows you to optimize the energy supply of rural consumers and rational use of the basic means of agricultural production.

Phenomenal phenomena, the second law of thermodynamics, the law of survival, the evolution of the biosphere.

УДК 621.315.592

НАПРЯЖЕНИЕ ХОЛОСТОГО ХОДА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЕГО ОСВЕЩЕННОСТИ

**В.В. Харченко, доктор технических наук
В.А. Гусаров, Б.А. Никитин, кандидаты технических наук
Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства, г. Москва**

Рассмотрены значения напряжения холостого хода солнечного элемента (U_{xx}) при различных уровнях освещенности. Показано, что

© В.В. Харченко, В.А. Гусаров, Б.А. Никитин, 2014

11. Свентицкий И.И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации / И.И. Свентицкий. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – 466 с.
12. Эбелинг В. Физика процессов эволюции / Эбелинг В., Энгель А. Файстель Р. – М.: УРСС, 2001. – 267 с.
13. Kasumov N., Sventitskij I., Mudrik V. а) Антропный принцип как следствие прогрессивной эволюции и уровень ее прецизионности. //XX111 Congress of Philosophy. Philosophy as inquiry and Way of Life. Abstrakts, Athens, P. 330. 808 p. б) Kasumov N., Sventitsky I., Mudrik V. The anthropic principle as consequence of progressive evolution and level of its precision // Research in Agricultural Electric Engineering. 2013. – № 3. – P. 108-112.
14. Sventitskij I.I. Bioenergetics trends – a key to solving energy, food and ecological problems. // Beyond energy crisis opportunity and challenges. Pergamon press, Oxford and New York, 1981, p. 1863 – 1870.
15. Sventitskij I.I., Antoninova M.V. Photosynthetic Model for nceptual Combination of Plant Growing and Enviroment // Photosynthetica, 1989. – N 23(4). – P. 617 – 628.

Розроблено природничонаукову методологію спільного ексергетичного аналізу біоконверсії природної енергії рослинами і перетворень техногенної енергії в агротехнологіях. Це дозволяє оптимізувати енергозабезпечення сільських споживачів і раціонально використовувати основні засоби аграрного виробництва.

Феноменальні явища, другий початок термодинаміки, закон виживання, еволюція біосфери.

Developed naturalistic methodology joint exergetic analysis of bioconversion of natural energy plants and technological transformations of energy in agro-technologies. This allows you to optimize the energy supply of rural consumers and rational use of the basic means of agricultural production.

Phenomenal phenomena, the second law of thermodynamics, the law of survival, the evolution of the biosphere.

УДК 621.315.592

НАПРЯЖЕНИЕ ХОЛОСТОГО ХОДА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЕГО ОСВЕЩЕННОСТИ

**В.В. Харченко, доктор технических наук
В.А. Гусаров, Б.А. Никитин, кандидаты технических наук
Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства, г. Москва**

Рассмотрены значения напряжения холостого хода солнечного элемента (U_{xx}) при различных уровнях освещенности. Показано, что

© В.В. Харченко, В.А. Гусаров, Б.А. Никитин, 2014

величина U_{xx} может адекватно характеризовать уровень освещенности поверхности солнечного элемента и использоваться для оценки уровня освещенности поверхности различных объектов.

Солнечный элемент, вольт-амперная характеристика, напряжение холостого хода, уровень освещенности, плотность фотонного потока.

В литературе, посвященной фотоэлектричеству, уровни освещенности преобразователей подразделяются на несколько различных областей. Так, в частности, в [1] предложено рассматривать слабые, сильные, сверхсильные и промежуточные уровни освещенности фотопреобразователей. В качестве критерия такой градации принято соотношение концентрации генерированных излучением неравновесных электронно-дырочных пар и концентрации основной легирующей (акцепторной или донорной) примеси в базовом слое преобразователя.

Цель исследований – использование напряжения холостого хода солнечного элемента как критерия оценки уровня его освещенности.

Материалы и методика исследований. В практическом плане вышеуказанный подход качественного определения уровня освещенности затруднен в силу того, что примесная концентрация базовой области преобразователя, как правило, величина недостаточно конкретная. Она может существенно отличаться от образца к образцу, концентрация неравновесных носителей заряда заведомо непостоянна по толщине базового слоя, как в планарных, так и в матричных [4] солнечных элементах. Поэтому следует специально рассматривать вопрос о том, к какому качественному поддиапазону излучения из вышеупомянутых областей следовало бы отнести освещенность на уровне стандартного солнечного излучения AM 1,5 (1000 Вт/м^2), характеристики которого директивно утверждены Международным электротехническим комитетом [5].

Результаты исследований. Несложные математические расчеты на основе спектра излучения AM 1,5 показывают, что за время жизни носителей зарядов $\tau \approx 10 \text{ мкс}$, характерное для кремния солнечного качества (Solar Grade Silicon), плотность фотоактивных фотонов, поступающих на рабочую поверхность преобразователя, более чем в 500 раз меньше поверхностной плотности атомов кремния (рис.1).

Учитывая непрерывность силовых линий электрического поля в p-n переходе солнечного элемента на уровне поверхностной плотности атомов полупроводника, насыщенность p-n перехода по разделению генерированных излучением зарядов можно оценить величиной порядка 0,2 % от теоретического предела.

Поскольку в работе [1] качественная оценка уровня освещенности связана с сопоставлением концентрации неравновесных носителей зарядов с концентрацией доминирующей примеси в базовой области преобразователя, то стало быть речь идет об излучении, проникшем в его базу, а не о внешнем излучении, которое явно больше первого в силу световых потерь.

К причинам прямых световых потерь следует отнести три основных фактора. Во-первых, это потери, обусловленные затенением части рабочей поверхности преобразователя контактной сеткой (до 10 % у планарных ФЭП). Во-вторых, это потери, обусловленные отражением части светового потока от рабочей поверхности преобразователя. Для преобразователей, содержащих селективное покрытие, коэффициент отражения оценивается величиной 6–9 %, в то время как без покрытия величиной около 32 %.

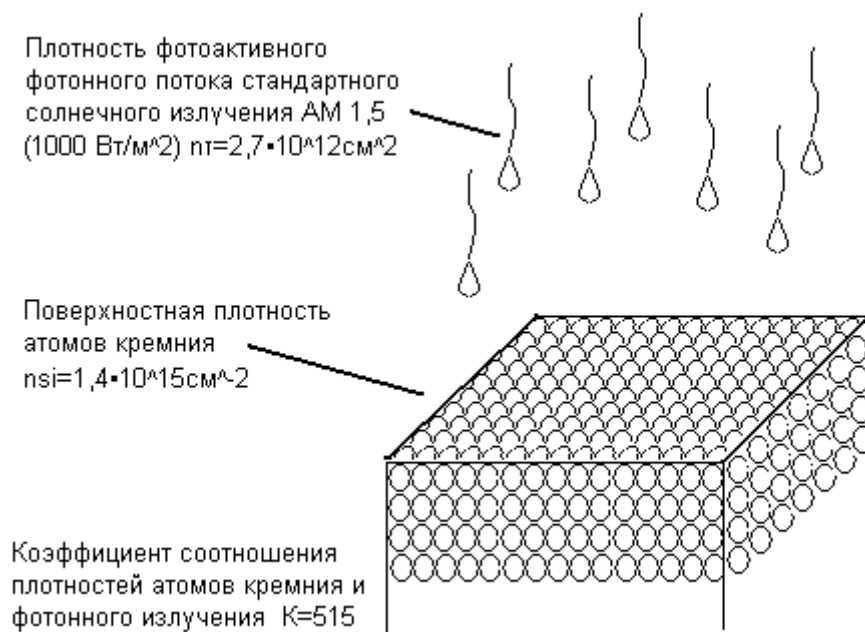


Рис. 1. Расчётные данные соотношения поверхностных плотностей атомов кремния фотопреобразователя и фотоактивного для него фотонного потока стандартного солнечного излучения AM 1,5 (1000 Вт/м²) за время жизни $\tau = 10$ мкс неосновных носителей зарядов (величина τ характерна для кремния солнечного качества ($S = 1 \text{ см}^2$)).

К третьему фактору следует отнести потери светового потока в сильно легированном фронтальном слое преобразователя за счет быстрой рекомбинации генерированных излучением зарядов, поскольку в этом слое их время жизни τ весьма мало. Согласно работе [2] в легированном слое толщиной 1 мкм полупроводника (кремния) теряется до 18 % фотоактивного потока излучения.

К косвенным причинам потерь светового потока относится рекомбинация генерированных носителей зарядов в базовой области преобразователя, в которой время жизни носителей зарядов заметно больше, чем в легированной области, однако оно ограничено указанной выше величиной порядка 10 мкс. Играет также важную роль и сток части разделенных p-n переходом зарядов через шунтирующее сопротивление в преобразователе.

Итоговая концентрация генерированных излучением неравновесных носителей зарядов в базовой области вблизи p-n перехода

непосредственно отражается на величине напряжения холостого хода U_{xx} . Эта физическая величина есть функция концентрации неравновесных носителей зарядов в базе преобразователя.

В связи с этим представляется возможным проводить идентификацию уровня освещенности на поверхности конкретного фотопреобразователя по величине напряжения холостого хода.

В [3] показано, что напряжение холостого хода кремниевого преобразователя экспоненциально зависит от величины освещенности. При нулевой освещенности преобразователя (температура 25 °С) U_{xx0} (т.е. потенциал на р-п переходе) составляет величину 0,53 В. При этом теоретически предельное значение U_{xx} преобразователя составляет величину равную удвоенному значению темнового потенциала U_{xx0} .

На основании вышеизложенного, уровни освещенности преобразователей можно оценивать по величине напряжения холостого хода, разделив весь диапазон потенциального роста его на пять соответствующих поддиапазонов, например равновеликих.

Результаты решения поставленной задачи представлены в таблице для двух типов кремниевых преобразователей, планарного и матричного, с учетом экспериментально полученных параметров исследуемых образцов. На рис.2 показана реальная вольт–амперная характеристика, снятая при пятидесятикратной концентрации солнечного излучения.

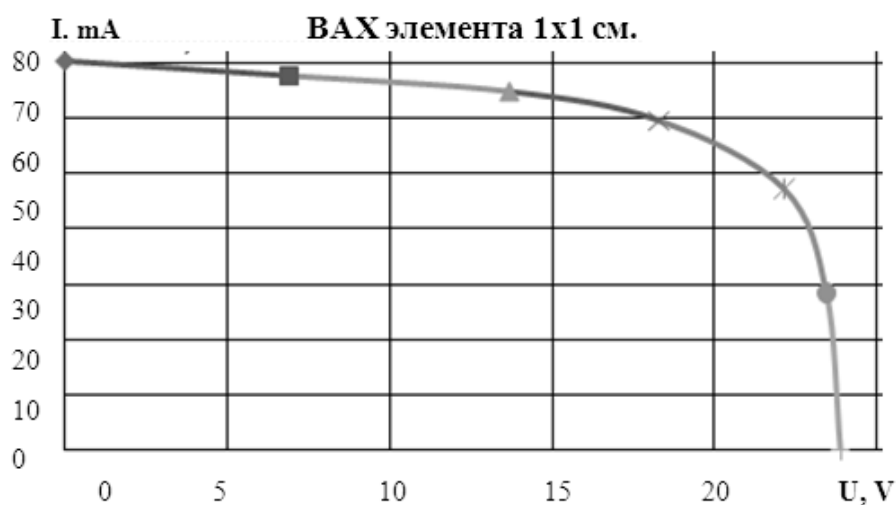


Рис. 2. Вольт–амперная характеристика матричного солнечного элемента $S=1\text{см}^2$, содержащего 30 структур с р-п переходом при концентрированном (50 крат) освещении (напряжение холостого хода одной структуры составляет 0,727 В).

Оценка величины концентрированного излучения на границах условного перехода из одного поддиапазона в другой осуществлялись с учетом индивидуальных параметров исследуемых образцов согласно выражению (1).

$$U_{xxi} = U_{xx0} \left[2 - \exp \left(- \frac{(R_i/R_0)^{0.5}}{k_0} \right) \right], \quad (1)$$

где U_{xxi} – расчетное значение напряжения холостого хода преобразователя, согласно выбранного алгоритма, В; U_{xx0} – потенциал р-п перехода преобразователя при нулевой освещенности (темновой), В; R_i/R_0 – концентрация солнечного излучения, обеспечивающая получение расчетного значения напряжения холостого хода преобразователя; k_0 – параметр экспоненты, учитывающий факторы потерь световых и зарядовых в данном преобразователе. Величины k_0 для исследуемых преобразователей найдены согласно выражению (1) при $R_i/R_0 = 1$ с учетом соответствующих вольт-амперных характеристик.

Расчётные данные уровней освещённостей кремниевых фотопреобразователей планарного и матричного типов на основе экспериментальных значений U_{xx} .

Напряжение холостого хода, В	Уровень освещенности (качественная оценка)	$K = \frac{U_{xxmax}}{U_{xx0}}$	Освещённость в АМ 1,5	
			План. ФЭП $K_0 = 7$	Матр. ФЭП $K_0 = 17$
0,53	Нулевой	1	0	0
0,53-0,636	Сверхслабый	1.2	2,6	15,355
0,636-0,742	Слабый	1.4	12,816	74,96
0,742-0,848	Умеренный	1.6	41,628	243,36
0,848-0,954	Сильный	1.8	127,69	751,811
>0,954	Сверхсильный	2.0	>127,69	>751,811

На рис. 3 представлены расчетные зависимости напряжения холостого хода исследуемых кремниевых преобразователей от освещенности при переходе от одного качественного уровня к другому для двух типов: планарного и матричного. На этом же рисунке показаны экспериментально полученные точки при освещенности одного солнца (АМ 1,5) и при некоторой (около 50 крат) концентрированного излучения.

Расчетные данные хорошо согласуются с результатами эксперимента.

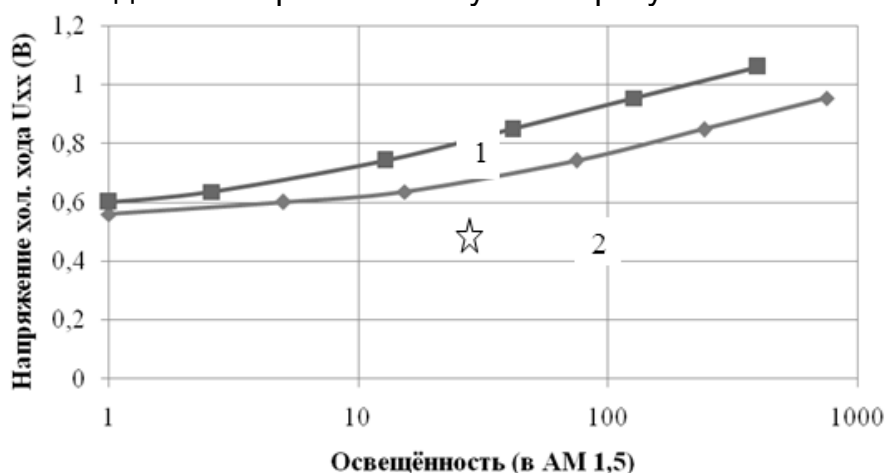


Рис.3. Ожидаемые зависимости напряжения холостого хода кремниевых фотопреобразователей от освещённости:

1 – для планарных ФЭП; 2 – для матричных солнечных элементов
(экспериментальное значение U_{xx} согласно данным рис.2.)

Заметное отставание в увеличении напряжения холостого хода с возрастанием уровня освещенности для матричных солнечных элементов относительно планарных можно объяснить конструктивными особенностями этого типа

Выводы

Из анализа представленных в таблице и на рис.3 данных следует, что стандартное солнечное излучение AM 1,5 (т.е. одно Солнце) для кремниевых преобразователей следует отнести к категории сверхслабого.

Предложенное деление диапазона возможных значений напряжения холостого хода преобразователя в сопоставлении с экспериментально полученными значениями этого параметра позволяет оперативно оценивать как качественный уровень освещенности поверхности различных объектов, так и его количественную величину.

Список литературы

1. Арбузов Ю.Д. Основы фотоэлектричества, UNESCO-BRESCE 2007, / Ю.Д. Арбузов, В.М. Евдокимов/. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 292 с.
2. Никитин Б.А. Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. / Б.А. Никитин, В.А. Гусаров, В.С. Вершинин/ Труды 7-й Международной науч. – практ. конф. –М.: ВИЭСХ, 2010. – С 42– 6.
3. Никитин Б.А. Анализ стандартного спектра наземного солнечного излучения интенсивностью 1000 Вт/м^2 и оценка на его основе ожидаемых характеристик кремниевых фотоэлектрических преобразователей / Б.А. Никитин, В.А. Гусаров // Автономная энергетика: технический прогресс и экономика. – М.: НПП «Квант», 2008-2009 гг. – № 24-25. С. 50–60.
4. Стребков Д.С. Матричные солнечные элементы: в 3 т. / Д.С. Стребков. – М.:ГНУ ВИЭСХ, 2009. – Т.1. – 228 с.
5. R.E. BIRD, R.L. Hulstrom, L.J. LEWIS: "Terrestrial Solar Spectral, data Sets", "Solar Energy", v.30, №6, 1983, p. 563-573.

Розглянуто значення напруги холостого ходу сонячного елемента (U_{xx}) при різних рівнях освітленості. Показано, що величина U_{xx} може адекватно характеризувати рівень освітленості поверхні сонячного елемента і використовуватися для оцінки рівня освітленості поверхні різних об'єктів.

Сонячний елемент, вольт-амперна характеристика, напруга холостого ходу, рівень освітленості, щільність фотонного потоку.

Consider the value of the open circuit voltage of the solar cell (U_{xx}) at various levels of illumination. It is shown that the magnitude U_{xx} can adequately characterize the level of illumination of a surface of the solar cell and used to evaluate the level of surface illumination of different objects.

Solar cell, current-voltage characteristic, the open circuit voltage, the light level, the density of the photon flux.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ СРЕДНЕЙ ПО СТАДУ ЖИВОЙ МАССЫ ЖИВОТНОГО ИЛИ ПТИЦЫ ПРИ СЛУЧАЙНОМ ВЫБОРОЧНОМ ВЗВЕШИВАНИИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ОСОБИ

***А.В. Дубровин, доктор технических наук
Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства, г. Москва
В.А. Гусев, кандидат сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский и технологический
институт птицеводства, г. Сергиев Посад***

Рассмотрены вопросы информатизации и автоматизации технологий в птицеводстве, где производство осуществляется в автоматизированном режиме по технико-экономическому критерию.

Информационные технологии при автоматизации технологических процессов, эффективность производства, технико-экономический параметр.

Для экономически наилучшего управления производством необходима автоматизированная оценка средней по стаду живой массы животного или птицы с заданной достоверностью и с заданной точностью при случайном выборочном взвешивании произвольной особи стада. Это важно для последующего точного управления технологиями и технологическими процессами животноводства и птицеводства.

Цель исследований – создание новых научно-технических решений для оценки средней живой массы бройлеров по стаду.

Материалы и методика исследований. В результате использования предлагаемых научно-технических решений устанавливается с заданной достоверностью значение сигнала оценки средней живой массы животного или птицы по всему стаду поголовья в производственном помещении или в пространстве его обитания. Сущность предлагаемой статистической обработки сигналов выборочного взвешивания особей стада поголовья поясняется следующим. С уменьшением предельной ошибки выборки Δ существенно увеличивается требуемый объем выборки n , который пропорционален дисперсии σ^2 и квадрату критерия Стьюдента t [2, 3 и др.]. Если задано значение доверительной вероятности, то сразу же по этому значению функции Лапласа становится известным значение заданного аргумента функции Лапласа. Задание значения допустимой выборочной погрешности сразу же даёт заданное значение *предельной ошибки* (абсолютной, т.е. в единицах измерения случайной величины, в данном случае в кг). Значение среднего квадратического отклонения случайной величины определяется

размерностью в кг. Поэтому определить требуемый объем выборки n можно лишь после определения среднего квадратического отклонения σ . Используя величину оценки коэффициента вариации V^* , равного отношению оценки среднего квадратического отклонения σ^* к оценке m_{cp}^* математического ожидания M_x , получаем окончательную формулу определения оценки требуемого объема выборки:

$$n^* = (\sigma^{*2} t^2) / (\Delta_{\%}^{*2} m_{cp}^{*2}) = (V^{*2} t^2) / \Delta_{\%}^{*2}, \quad (1)$$

Из выражения для предельной ошибки $\Delta_{ке}$ (абсолютной, т.е. в единицах измерения случайной величины, в данном случае в кг) оценка требуемого объема выборки:

$$n^* = (\sigma^{*2} t^2) / (\Delta_{ке}^{*2}), \quad (2)$$

где $\Delta_{\%}^*$ – оценка относительной погрешности измерения средней живой массы особи по стаду, %; σ^* – оценка среднего квадратического отклонения живой массы особи по стаду от оценки математического ожидания живой массы особи по стаду m_{cp}^* , кг; n – количество взвешиваний произвольной особи поголовья животных или птицы, отн. ед.; V^* – оценка коэффициента вариации, %.

Зависимость (1) используется при преобразовании соответствующих сигналов в предлагаемом способе и устройстве для получения достоверного сигнала оценки погрешности измерения средней живой массы особи по стаду. Технолог животноводства или птицеводства задаёт уровень достоверности и допустимую относительную или абсолютную погрешность измерения средней живой массы особи по стаду поголовья данного вида и возраста. Другими словами, задаётся требуемая точность определения этой величины, от значения которой прямо зависит точность управления технологией выращивания и сопровождающими эту технологию многочисленными технологическими процессами [1 и др.].

Этой погрешности соответствует требуемый объем выборки, то есть наименьшее допустимое количество взвешиваний особей для получения результатов с заданной достоверностью. Как только количество случайных по времени взвешиваний случайных единичных особей станет равным и превысит вычисленное значение требуемого объема выборки, появляется достоверная информация о средней живой массе особи по стаду животных или птицы. Поэтому только непрерывная в ходе технологии выращивания стада животных или птицы высокоточная автоматизированная оценка средней по стаду живой массы животного или птицы при дискретном во времени случайном выборочном взвешивании единичных особей стада позволяет при управлении выращиванием поголовья найти выгодные компромиссы между затратами корма и приростом живой массы поголовья. А также между затратами энергии на обогрев, на другие технологические процессы и расчетными потерями результирующей продуктивностью поголовья в их ценовом выражении.

При этом *необходима статистическая обработка измеряемых и вычисляемых сигналов о живой массе особи стада.*

Результаты исследований. Особь стада поголовья в ходе нормально протекающих технологических процессов технологии выращивания заходит на грузоприёмную платформу электронных весов. Формируется сигнал живой массы случайной особи. По этому сигналу в целом уже можно, но с весьма большим приближением (с большой ошибкой), судить о средней живой массе особи по всему стаду поголовья: для точной оценки надо взвесить всех особей стада. Однако, это технологически невозможно из-за чрезмерных потерь поголовья в результате стрессовых ситуаций, связанных с вмешательством персонала, или специального дополнительного оборудования, в среду обитания животных или птицы. Также велики эксплуатационные (труд, энергия, отчисления на капитальные вложения и т.п.) и капитальные затраты.

Поэтому измеряемые, формируемые, сравниваемые и другие сигналы (материальные объекты информационных характеристик процессов) в ходе материальных действий по предлагаемому способу подвергаются математической статистической обработке другими соответствующими сформированными сигналами. Производят дискретное во времени, в момент захода на весоизмерительную платформу весов, случайное выборочное взвешивание произвольной особи стада в ходе технологии выращивания стада животных или птицы, задают сигнал технологически минимального количества обязательных взвешиваний. По нормативным документам бройлерного птицеводства количество взвешиваемых птиц в выборке из всего многотысячного поголовья птицеводческого помещения равно ста бройлерам. Задают сигнал наибольшей допустимой погрешности измерения средней живой массы особи по стаду животных или птицы, задают сигнал доверительной вероятности попадания сигнала оценки средней по стаду живой массы животного или птицы в доверительный интервал сигналов случайного выборочного взвешивания произвольной особи стада. Формируют сигнал аргумента функции Лапласа. Определяют сигнал факта события размещения особи на грузоприёмной платформе весов и формируют сигнал события взвешивания, измеряют количество событий взвешиваний единичных особей стада и формируют сигнал количества взвешиваний произвольных особей стада. Измеряют живую массу произвольной особи стада, формируют сигнал измеренной живой массы произвольной особи стада и запоминают полученные сигналы измеренной живой массы произвольных особей стада. Формируют сигнал оценки математического ожидания живой массы особи. Формируют сигнал оценки среднего квадратического отклонения живой массы особи по стаду. Сравнивают сформированный сигнал оценки требуемого объёма выборки со сформированным сигналом количества взвешиваний произвольных особей стада. В зависимости от результата сравнения либо продолжают статистическую обработку сигналов процесса взвешивания произвольных особей при превышении значения первого указанного сигнала значения второго указанного сигнала.

ла. Либо прекращают статистическую обработку сигналов процесса взвешивания произвольных особей при равенстве значений этих указанных сигналов и при превышении значения второго указанного сигнала значения первого указанного сигнала и при дополнительном условии равенства и превышения значения сигнала количества случайных взвешиваний значения заданного сигнала технологически минимального количества обязательных взвешиваний.

Последнее действие производят при дополнительном условии равенства и превышения значения сигнала количества случайных взвешиваний значения заданного сигнала технологически минимального количества обязательных взвешиваний. Используют полученные сигналы оценки средней живой массы особи по стаду животных или птицы, оценки среднего квадратического отклонения живой массы особи по стаду, оценки коэффициента вариации живой массы особей по стаду, заданный сигнал оценки погрешности измерения средней живой массы особи по стаду для достоверного информирования персонала сельскохозяйственного помещения, цеха или предприятия. Это необходимо при осуществлении управленческих операторских действий с техническими средствами обеспечения технологии выращивания поголовья, а также для подачи этих сигналов на соответствующие измерительные, управляющие и задающие входы автоматизированного технологического оборудования управления технологией выращивания поголовья.

Дополнительное условие достижения или превышения заданного по технологии минимального количества взвешиваний имеет простое объяснение. Пусть первые два случайных взвешивания дали одинаковый результат. Это означает, что по всего-навсего только двум опытам сразу получена оценка математического ожидания средней живой массы особи по стаду поголовья. При этом и дисперсия (мощность) отклонения оценки случайной величины живой массы от оценки её среднего значения оценки (от оценки математического ожидания), и собственно среднее квадратическое отклонение оценки случайной величины живой массы от оценки её среднего значения оценки (от оценки математического ожидания) равны нулю. Тогда равен нулю и коэффициент вариации, и зависящая от этого коэффициента вариации величина сигнала требуемого объёма выборки. Полученное значение величины сигнала требуемого объёма выборки формально равно нулю. Тогда можно, казалось бы, сразу останавливать процесс выборочного взвешивания, даже не приступая к нему. Однако этот вывод в корне неверен. Продолжение взвешиваний и последующие их результаты покажут, что достоверный сигнал оценки требуемого объёма выборки связан и с величиной сигнала оценки среднего квадратического отклонения, и с величиной сигнала оценки погрешности выборочного взвешивания. Поэтому задание по технологии *минимального количества обязательных взвешиваний* имеет глубокий и теоретический, и практический смысл.

Первое устройство работает следующим образом (рис. 1). Весы с грузоприёмной платформой и электронным выходом (электронные весы) 1

выдают устойчивый сигнал живой массы взвешиваемой произвольно зашедшей на грузоприёмную платформу случайной особи стада животных или птицы. С выхода третьего формирователя сигнала количества взвешиваний произвольной особи стада (могут быть: генератор пилообразного напряжения, фантастрон, линейка триггеров, счетчик импульсов и т.п.) 7 в устройство поступает сигнал количества взвешиваний произвольной особи стада. Первый задатчик технологически минимального количества обязательных взвешиваний 2, второй задатчик сигнала допустимой выборочной погрешности измерения средней живой массы особи по стаду 3, третий задатчик сигнала доверительной вероятности попадания сигнала оценки средней по стаду живой массы животного или птицы в доверительный интервал сигналов случайного выборочного взвешивания произвольной особи стада 4 и первый формирователь сигнала аргумента функции Лапласа 5 формируют соответствующие сигналы.

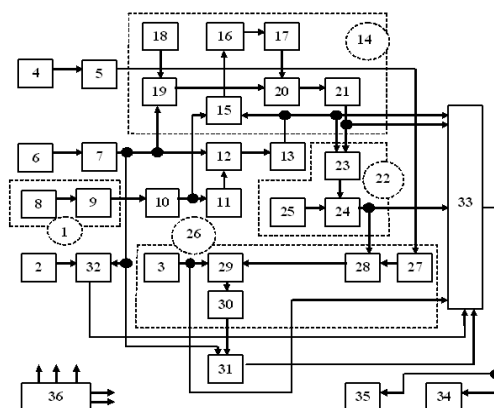


Рис. 1. Функциональная схема устройства оценки средней по стаду живой массы животного или птицы при случайном выборочном взвешивании произвольной особи стада по требуемого объёма выборки:

1 – весы с грузоприёмной платформой и электронным выходом (электронные весы); 2 – первый задатчик технологически минимального количества обязательных взвешиваний; 3 – второй задатчик сигнала наибольшей допустимой погрешности измерения средней живой массы особи по стаду животных или птицы; 4 – третий задатчик сигнала доверительной вероятности попадания сигнала оценки средней по стаду живой массы животного или птицы в доверительный интервал сигналов случайного выборочного взвешивания произвольной особи произвольной особи стада; 5 – первый формирователь сигнала аргумента функции Лапласа; 6 – второй формирователь сигнала события взвешивания; 7 – третий формирователь сигнала количества взвешиваний произвольной особи стада; 8 – измеритель сигнала живой массы единичных особей стада, 9 – четвёртый формирователь сигнала измеренной живой массы произвольной особи стада; 10 – первый блок памяти полученных сигналов измеренной живой массы произвольной особи стада; 11 – сумматор сигналов измерений живой массы произвольной особи стада; 12 – делитель полученного суммарного сигнала на сигнал количества взвешиваний произвольной особи стада; 13 – пятый формирователь сигнала оценки средней

живой массы особи по стаду животных или птицы (или формирователь сигнала оценки математического ожидания живой массы особи по стаду животных или птицы); 14 – шестой формирователь сигнала оценки среднего квадратического отклонения живой массы особи по стаду; 15 – второй блок вычисления и формирования сигналов разностей запомненных сигналов измеренной живой массы произвольных особей стада и сигнала оценки математического ожидания живой массы особи по стаду животных или птицы и запоминания вычисленных и сформированных сигналов; 16 – третий блок возведения в квадратную (вторую) степень и запоминания полученных сигналов квадратов разностей сигналов; 17 – четвертый блок суммирования полученных сигналов квадратов разностей сигналов; 18 – четвертый задатчик сигнала соответствия единице количества взвешиваний; 19 – пятый блок разности сигнала количества взвешиваний произвольных особей стада и сигнала единицы количества взвешиваний произвольной особи стада; 20 – первый делитель суммы полученных сигналов квадратов разностей сигналов на сигнал разности сигнала количества взвешиваний произвольных особей стада и сигнала единицы количества взвешиваний произвольной особи стада; 21 – шестой блок извлечения квадратного корня; 22 – седьмой формирователь сигнала оценки коэффициента вариации живой массы особей по стаду; 23 – второй делитель сигнала оценки среднего квадратического отклонения живой массы особи по стаду на сигнал оценки математического ожидания живой массы особи по стаду; 24 – первый элемент умножения сигнала результата деления на значение в сто процентов; 25 – пятый задатчик сигнала значения в сто процентов; 26 – восьмой формирователь сигнала оценки погрешности измерения средней живой массы особи по стаду; 27 – шестой задатчик сигнала аргумента функции Лапласа; 28 – второй элемент умножения сигнала оценки коэффициента вариации живой массы особей по стаду на сигнал аргумента функции Лапласа; 29 – третий делитель; 30 – элемент возведения в квадратную (вторую) степень; 31 – первая схема сравнения сформированного сигнала оценки требуемого объема выборки с сформированным сигналом количества взвешиваний произвольных особей стада, элемент извлечения квадратного корня из сигнала количества взвешиваний произвольных особей стада; 32 – вторая схема сравнения сигнала количества случайных взвешиваний с заданным сигналом технологически минимального количества обязательных взвешиваний; 33 – управляемый ключ для разрешения дальнейшего прохождения в устройстве сигналов достоверных оценок; 34 – блок индикации; 35 – измерительные, управляющие и задающие входы автоматизированного технологического оборудования управления технологией выращивания поголовья и соответствующими ей технологическими процессами; 36 – блок управления работой устройства

Блоки, названные как шестой формирователь 14, седьмой формирователь 22 и восьмой формирователь 26, формируют соответствующие сигналы по известным из математической статистики количественным соотношениям. При сравнении соответствующих сигналов в первой схеме сравнения 31 и во второй схеме сравнения 32 на их выходах в какие-то моменты времени появляются и затем действуют сигналы, управляющие моментом начала и затем временем достоверного информирования персонала о параметрах взвешиваемого поголовья.

Эти два сигнала поступают на управляющие входы управляемого ключа 33. Схема совпадения предусмотрена в двухвходовой входной цепи ключа 33, и в целях экономии места в описании на рис. 2 не показана. На блок индикации 34 и на измерительные, управляющие и задающие входы автоматизированного технологического оборудования 35 посредством блока управления работой устройства 36 подаётся высокоточная информация о параметрах процесса выборочного взвешивания особей.

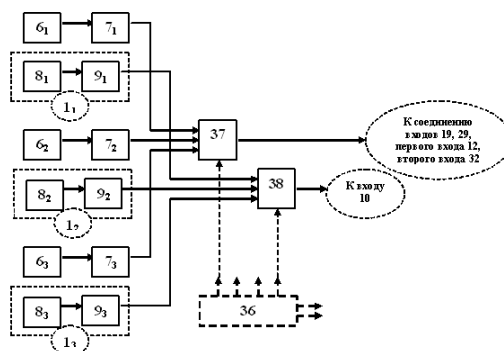


Рис. 2. Дополнения к функциональной схеме (см. рис. 1) устройства при нескольких электронных весах, установленных в производственном помещении или в зоне обитания поголовья (показаны элементы трёх электронных весов 1₁, 1₂, 1₃ и элементы трёх вторых формирователей 6₁, 6₂, 6₃ и третьих формирователей 7₁, 7₂, 7₃):

8₁, 8₂, 8₃ – измерители сигнала живой массы единичных особей стада; 9₁, 9₂, 9₃ – четвёртые формирователи сигналов измеренной живой массы произвольных особей стада в различных локальных зонах обитания поголовья в производственном помещении; 36 – блок управления работой устройства, обеспечивающий суммирование сигналов количеств случайных взвешиваний произвольных особей поголовья в разных зонах, накопление, запоминание и суммирование случайных сигналов взвешенной живой массы произвольных особей стада по всем контролируемым электронными весами локальным зонам обитания, исключающий наложение друг на друга одновременно пришедших в устройство сигналов количеств взвешиваний и сигналов живой массы, производящий их соответствующее разделение по времени и соответствующие их временные задержки; 37 – блок формирования суммарного сигнала количества взвешиваний произвольных особей стада на нескольких электронных весах в различных локальных зонах обитания поголовья в производственном помещении; 38 – блок формирования суммарного сигнала измеренной живой массы произвольных особей стада на нескольких электронных весах в различных локальных зонах обитания поголовья в производственном помещении

Второе устройство работает следующим образом (рис. 2). Весы с грузоприёмной платформой и электронным выходом (электронные весы) 1 дают устойчивый сигнал живой массы взвешиваемой произвольно зашедшей на грузоприёмную платформу случайной особи стада животных или птицы. С выхода третьего формирователя 7 в устройство поступает сигнал количества взвешиваний произвольной особи стада. Первый

здатчик 2, второй датчик 3, третий датчик 4 и первый формирователь 5 формируют соответствующие сигналы. Увеличение количества весов имеет своей целью не только увеличение количества взвешиваний. Весы в количестве более одной штуки можно так разместить в производственном помещении или на территории обитания взвешиваемого поголовья, что будет дополнительно учтена и неоднородность живой массы особей стада: ведь в разных зонах среды обитания выращиваемого поголовья условия могут различаться достаточно сильно. Это и наличие сквозняков, и локальных (местных) тепловых и других излучений от размещённого оборудования, различное расстояние линии кормораздачи от её начала до места кормления особей стада и т.п. Наличие нескольких правильно выбранных технологом мест, оборудованных весами, существенно повышает достоверность оценки живой массы особи по всему стаду. Более полной становится и оценка однородности стада поголовья по величине коэффициента вариации. Блок 36 также исключает наложение друг на друга одновременно пришедших от различных весов в устройство сигналов количества взвешиваний и сигналов живой массы, производит их соответствующее разделение по времени и соответствующие их временные задержки.

Электронные весы установлены на бетонном или другом полу животноводческого или птицеводческого помещения, например птичника 39, и возвышается над древесно-стружечной подстилкой или другой подстилкой 40, вблизи от ниппельной поилки в производственном помещении для выращивания животных или птицы, например бройлеров (рис. 3). Рядом размещённые другие соседние поилки, с целью дополнительного привлечения поголовья к электронным весам, на время проведения процесса выборочных взвешиваний отключены от подачи в них жидкости для питья поголовья. Дополнительные наклонные поверхности между полом или подстилкой и весоизмерительной поверхностью грузоприёмной платформы электронных весов предназначены для облегчения захода на нее тяжелых особей, например бройлеров в конечной стадии их выращивания.

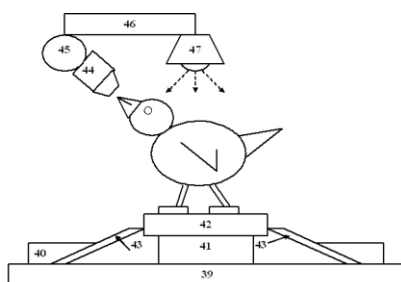


Рис. 3. Общая схема конструкции весов с грузоприёмной платформой и электронным выходом (сокращённо: электронных весов) вблизи от ниппельной поилки в производственном помещении для выращивания бройлеров с установленным элементом дополнительного светового привлечения особей поголовья птицы:

39 – бетонный пол птичника; 40 – древесно-стружечная подстилка; 41 – опорная часть конструкции весов; 42 – грузоприёмная платформа весов; 43 – наклонные поверхности между полом или подстилкой и весоизмерительной поверхностью грузоприёмной платформы электронных весов в виде боковой поверхности усечённого конуса при круговой форме горизонтальной грузоприёмной платформы весов, либо в виде боковых поверхностей усечённой пирамиды при соответствующей многоугольной форме горизонтальной грузоприёмной платформы весов; 44 – nippleная поилка; 45 – участок установленного в птичнике водопровода для поения бройлеров; 46 – элемент крепления к водопроводной трубе светозащитной арматуры; 47 – световой прибор для дополнительного привлечения особей поголовья на грузоприёмную платформу электронных весов

Эти наклонные поверхности могут иметь вид боковой поверхности усечённого конуса при круговой форме горизонтальной грузоприёмной платформы весов, либо вид боковых поверхностей усечённой многоугольной пирамиды при соответствующей многоугольной форме горизонтальной грузоприёмной платформы весов. Установленный вблизи электронных весов световой прибор предназначен для дополнительного привлечения особей поголовья на грузоприёмную платформу весов 47 за счёт мигающего света от источника освещения для возбуждения дополнительного интереса у особи приблизиться к нему и при этом взойти на весоизмерительную грузоприёмную платформу. Таким образом, дополнительно увеличивается количество взвешиваний особей для ускорения процесса измерения живой массы и повышается точность измерений выборочной оценки средней живой массы особи по стаду поголовья. Рядом с весами имеется поилка, соседние поилки на время проведения взвешиваний отключены от воды, просто дополнительно светит или мигает своим светом дополнительно установленный осветительный прибор. Подход к грузоприёмной площадке облегчён дополнительными наклонными поверхностями. Это чрезвычайно важно, например, для бройлеров тяжёлых кроссов в конечной стадии выращивания. Тяжёлая птица весьма неохотно взбирается на обычную весоизмерительную платформу, которая возвышается над уровнем древесно-стружечной подстилки.

Выводы

Технология выборочного взвешивания идет по пути возможно более полного снижения методической погрешности измерения живой массы особи по всему стаду поголовья животных или птицы. При этом обеспечивается с заданной точностью статистическая оценка численных показателей процесса автоматизированного выборочного взвешивания животных и птицы.

Список литературы

1. Дубровин А.В. Основы автоматизированного управления технологическими процессами в птицеводстве по экономическому критерию / А.В. Дубровин. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2013. – 292 с.

2. Романенко А.Ф. Вопросы прикладного анализа случайных процессов / А.Ф. Романенко, Г.А. Сергеев. – М.: Советское радио, 1968. – 256 с.

3. .Сайт: advlab.ru/articles/article72.htm.

Розглянуто питання інформатизації та автоматизації технологій в птахівництві, де виробництво здійснюється в автоматизованому режимі за техніко-економічним критерієм.

Інформаційні технології при автоматизації технологічних процесів, ефективність виробництва, техніко-економічний параметр.

The problems of information and automation technologies in poultry, where production is carried out automatically by the technical and economic criteria.

Information technologies by automation of technological processes, efficacy of production, technical and economic parameter.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАНАРНОГО ТИПА В СОСТАВЕ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ С ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ КОНЦЕНТРАТОРАМИ

***В.А. Майоров, В.Н. Трушевский, кандидаты технических наук
Л.Н. Лукашик, кандидат химических наук
Московский государственный университет дизайна и
технологии, г. Москва***

Рассмотрены новые фотоэлектрические модули, включающие фотоприемники и концентраторы, обеспечивающие эффективное преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую. Проведено математическое моделирование для создания алгоритма расчёта конструкции теплофотоэлектрического модуля с заданными энергетическими параметрами.

Солнечный модуль, коллектор, солнечная энергия, тепло-фотоэлектрический модуль.

Роль солнечной энергии в энергетике будущего определяется возможностями промышленного использования новых физических принципов, технологий, материалов и конструкций солнечных элементов, модулей и электростанций, разработанных в России.

Использование концентраторов в составе солнечных энергетических установок или солнечных фотоэлектрических электростанций

2. Романенко А.Ф. Вопросы прикладного анализа случайных процессов / А.Ф. Романенко, Г.А. Сергеев. – М.: Советское радио, 1968. – 256 с.

3. .Сайт: advlab.ru/articles/article72.htm.

Розглянуто питання інформатизації та автоматизації технологій в птахівництві, де виробництво здійснюється в автоматизованому режимі за техніко-економічним критерієм.

Інформаційні технології при автоматизації технологічних процесів, ефективність виробництва, техніко-економічний параметр.

The problems of information and automation technologies in poultry, where production is carried out automatically by the technical and economic criteria.

Information technologies by automation of technological processes, efficacy of production, technical and economic parameter.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАНАРНОГО ТИПА В СОСТАВЕ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ С ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ КОНЦЕНТРАТОРАМИ

***В.А. Майоров, В.Н. Трушевский, кандидаты технических наук
Л.Н. Лукашик, кандидат химических наук
Московский государственный университет дизайна и
технологии, г. Москва***

Рассмотрены новые фотоэлектрические модули, включающие фотоприемники и концентраторы, обеспечивающие эффективное преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую. Проведено математическое моделирование для создания алгоритма расчёта конструкции теплофотоэлектрического модуля с заданными энергетическими параметрами.

Солнечный модуль, коллектор, солнечная энергия, тепло-фотоэлектрический модуль.

Роль солнечной энергии в энергетике будущего определяется возможностями промышленного использования новых физических принципов, технологий, материалов и конструкций солнечных элементов, модулей и электростанций, разработанных в России.

Использование концентраторов в составе солнечных энергетических установок или солнечных фотоэлектрических электростанций

является наиболее эффективным путём снижения стоимости фотоэлектрической энергии [6].

Необходимость развития энергообеспечения на основе возобновляемых источников энергии, в особенности в сельской местности, в настоящее время в России находит всё большего понимания, поскольку для неё характерно наличие огромных территорий, куда доставка традиционных источников энергии в значительной степени затруднена, нерентабельна и т.п. Именно в последнем случае использование возобновляемых источников энергии становится целесообразным, а, зачастую, и рентабельным. Это тем более относится к сфере сельскохозяйственного производства, где производственные мощности в силу их специфики, как правило, удалены от существующих централизованных сетей энергоснабжения.

Цель исследований – разработка математических моделей, описывающих функционирование отдельных блоков и систем, распределения излучения на поверхности фотоприемника, сравнительный анализ различных конструкций фотоэлектрических модулей и исследование теплового режима модуля солнечной батареи с солнечными элементами и параболоцилиндрическим концентратором.

Материалы и методика исследований. Обеспечение оптимальной работы солнечного фотоэлектрического модуля, состоящего из: параболоцилиндрического концентратора с миделем размером $R \times L$, где L длина цилиндрической оси концентратора; планарного фотоприемника, выполненного из скоммутированных параллельно-последовательно высоковольтных или планарных фотоэлектрических преобразователей шириной d . Планарный фотоприемник закреплен на устройстве воздушного охлаждения и установлен в фокальной плоскости концентратора. Причем концентратор является частью устройства воздушного охлаждения. С целью увеличения выработки электроэнергии модуль закреплен на опоре с устройством слежения за Солнцем.

Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором представлена на рис. 1.

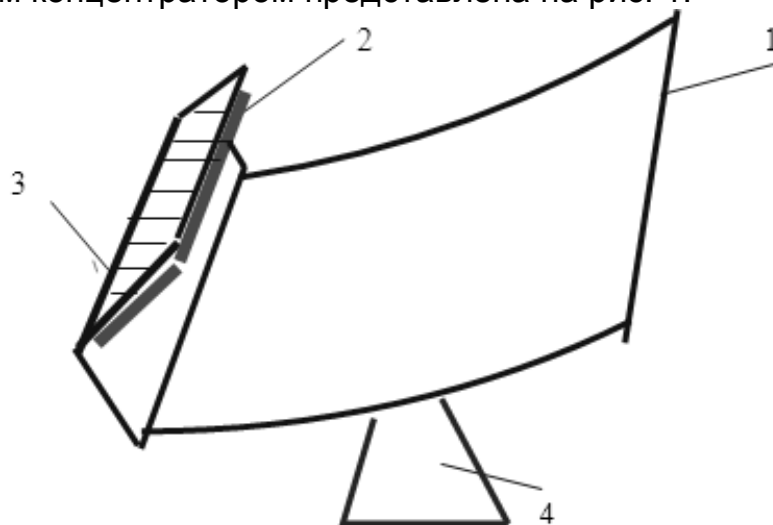


Рис. 1. Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором:

1 – концентратор; 2 – планарный фотоэлектрический приемник; 3 – устройство воздушного охлаждения; 4 – опора с устройством слежения за Солнцем

Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором и ходом лучей от поверхности концентратора до поверхностей планарного фотоприемника шириной d представлена на рис. 2.

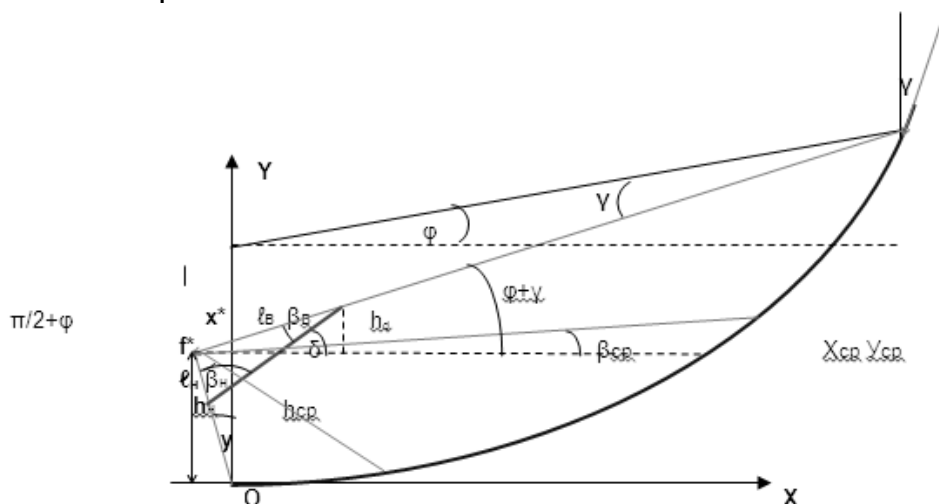


Рис. 2. Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором и ходом лучей от поверхности концентратора до поверхностей планарного фотоприемника шириной d

Основные расчетные соотношения хода лучей от параболоцилиндрического концентратора до фотоэлектрического приемника:

$$f^* = \frac{Y - X \operatorname{tg}(\varphi + \gamma)}{1 + \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg}(\varphi + \gamma)}; Y_{cp} = \frac{R^2}{16f}; h_v = l_v \sin(\varphi + \gamma); h_n = l_n \cos \gamma; l_v = \frac{d \sin \beta_n}{\cos \varphi}; l_n = \frac{l_v \sin \beta_v}{\sin \beta_n},$$

где γ – параметрический угол параболоцилиндра или угол между верхним отраженным лучем, приходящим в фокальную область на уровне f и нижним отраженным лучем, приходящим в фокальную область на уровне f^* ; φ – угол между верхним отраженным лучем, приходящим в фокальную область f и уровнем f ; β_v – угол между верхним отраженным лучем, приходящим в фокальную область f^* и фотоприемником, повернутым на угол $\delta = \varphi + \gamma + \beta_v$ по отношению к оси OX ; β_n – угол между фотоприемником, повернутым на угол $\delta = \varphi + \gamma + \beta_v$ по отношению к оси OX и прямой $O f^*$, где значения R, f, γ, δ, d выбираются в соответствии с граничными условиями. Распределение концентрации по ширине фокального пятна на поверхности фотоприемника определяется по соотношению:

$$K_n = \Delta X_n / \Delta d_n.$$

Результаты исследований. На основании приведенных формул произведен расчет распределения освещенности поверхности фотоприемника шириной $d = 30$ см, параметрического угла $\gamma = 10^\circ$, угла

поворота фотоприемника по отношению к оси ОХ $\delta=20^\circ$, значения фокусного расстояния параболы $f=90$ см, значения ширины миделя параболы $R=270$ см, представленный на рис. 3.

При изменении значений R , f , γ , δ , d фотоприемника в составе с концентратором меняются значения и распределение концентрации освещенности фотоэлектрического приемника, т.е. при уменьшении площади d фотоэлектрического приемника происходит увеличение геометрической концентрации фотоэлектрического модуля K ; при изменении значений углов γ , δ меняется распределение концентрации освещенности фотоприемника, т.е., можно изменять величину и распределение концентрации освещенности фотоэлектрического модуля, не меняя габаритных размеров концентратора 1 и выбранный тип фотоэлектрического приемника 3.

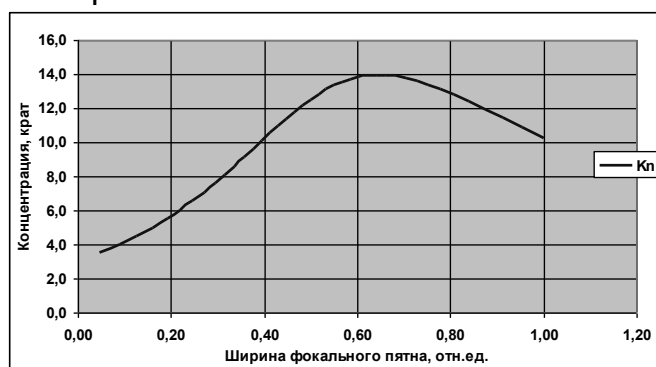


Рис. 3. Распределение освещенности поверхности фотоприемника шириной 30 см по ширине (в относительных единицах) фокального пятна

Таким образом, на основании приведенной расчетной модели и графиков распределения концентрации по рабочим поверхностям трапецидального фотоприемника можно оптимизировать габаритные размеры блоков модуля солнечной батареи, величину концентрации и распределение освещенности на рабочих поверхностях фотоприемника и в соответствии с формулой [5]:

$$W = E_o \eta_{\text{опт}} \cos j S \tau$$

можно определять выработку энергии солнечной батареи.

На рис. 4 представлены сравнительные расчетные характеристики выработки электроэнергии (без учета прозрачности атмосферы) модуля планарной солнечной батареи площадью 3 м^2 и коэффициент полезного действия фотопреобразователей 15 %, работающего в стационарном режиме и модуля солнечной батареи с концентратором площадью миделя 3 м^2 , коэффициентом отражения $\eta_{\text{отр}}=0,8$, фотопреобразователей с коэффициентом полезного действия 15 %, работающего в режиме слежения за Солнцем.

Приведенные характеристики показывают, что солнечная батарея в режиме слежения за Солнцем в 1,5 раза может увеличить годовую выработку электроэнергии. Однако, следует отметить, что целесообразнее применять модули солнечных батарей с концентраторами меньших размеров, т.к. снижается количество дефицитных матричных фотоэлектрических

преобразователей. Концентраторы можно изготавливать из тонких листов алюминия (0,3–0,5 мм) с зеркальной рабочей поверхностью, уменьшается точность слежения за Солнцем, снижаются процессы деформации конструкции в целом, менее трудоемки процессы сборки, юстировки, замены вышедших из строя модулей их ремонт; все это снижает стоимость конструкции и эксплуатации солнечных установок.

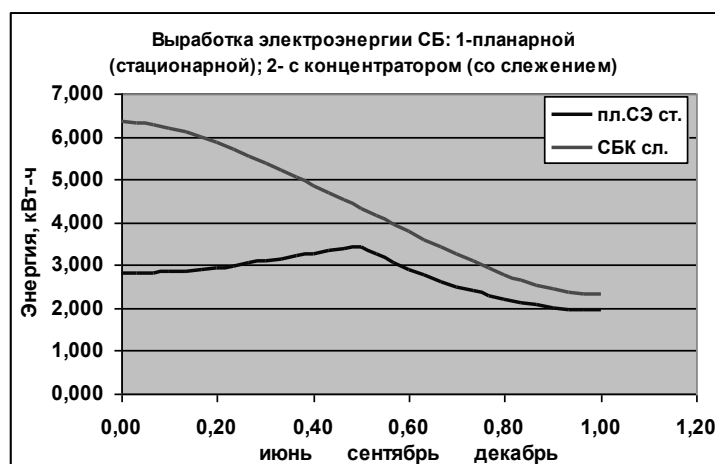


Рис. 4. Расчетные характеристики выработки электроэнергии модуля планарной солнечной батареи площадью 3 м^2 и $\eta_{\text{фп}} = 15\%$, стационарный режим работы и модуля солнечной батареи с концентратором площадью миделя 3 м^2 , $\eta_{\text{отр}} = 0,8$, $\eta_{\text{фп}} = 15\%$, со слежением

Исследуется тепловой режим модуля солнечной батареи с солнечными элементами и параболоцилиндрическим концентратором, обеспечивающий работу фотоэлементов при концентрациях свыше 10. Расчётная схема модуля солнечной батареи с солнечными элементами и параболоцилиндрическим концентратором показана на рис. 1. Концентратор имеет форму полуветви параболы ABCD, а приёмниками концентрированного излучения является поверхность солнечных элементов, которые крепятся на металлической панели, связанной с концентратором. Охлаждение – воздушное и естественное теплообменом с окружающей средой. Расчётным способом получены следующие средние концентрации: на поверхностях приёмника, облучаемых дугой концентратора AB - 17,5; BC - 19,5; CD – 35. Приёмник смещён относительно фокуса F параболы.

Постановка задачи. Фотоприемник с планарными или высоковольтными фотоэлементами облучается солнечным потоком с концентрацией 10. Требуется определить эффективность охлаждения фотоэлектрического преобразователя с использованием концентратора в качестве радиатора.

Параметры модуля и внешней среды. Параболоцилиндрический концентратор: мидель $2700 \times 1250 \text{ мм}^2$; размеры листа $3438 \times 1250 \times 2 \text{ мм}^3$; материал – алюминиевый сплав, коэффициент теплопроводности $\lambda =$

100–150 Вт/(м К). $F_{\text{ап}}=3,375 \text{ м}^2$. Приёмник концентрированного излучения: 1250х300х2 мм³; длиной $L=1,25 \text{ м}$.

Исходные данные: – температура фотоэлектрического преобразователя 50–70 °С. Подложка фотоэлектрического преобразователя выполнена из такого же алюминиевого сплава, как и лист концентратора, между ними идеальный тепловой контакт по торцам. Температура среды 30 °С, скорость ветра 0–3 м/с.

Требуется найти распределение температуры по длине листа и тепловые потоки, сбрасываемые радиатором при заданных условиях окружающей среды.

Площадь приёмной поверхности $F_{\text{пп}}=0,3 \times 1,25=0,375 \text{ м}^2$, оптический коэффициент полезного действия: $\eta_{\text{опт}}=0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9=0,729$, где коэффициенты отражения концентратора $\rho=0,9$, поглощения приёмника $\alpha=0,9$ и улавливания $f=0,9$; коэффициент полезного действия фотоэлектрического преобразователя $\eta_{\text{фЭП}}=0,12$; прямая солнечная радиация R , Вт/м²; температура среды t_a , °С; скорость ветра V , м/с.

Требование к охлаждению – максимальная температура фотоэлементов, нанесённых на стороны приёмника $3 \times 0,04 \text{ м}$, 50 °С.

Расчёты

Поглощённый приёмником поток:

$$Q_{\text{пп}} = \eta_{\text{опт}} R F_{\text{ап}}.$$

Теплопотери в окружающую среду:

конвективные:

$$Q_{\text{конв}} = \alpha (t_c - t_a) F,$$

где α – коэффициент теплоотдачи, определяемый по формуле Мак-Адамса [3]:

$$\alpha = 5,7 + 3,8 V,$$

где V – скорость ветра, м/с; t_c – средняя температура стенки приёмника, определяется при итерировании;

радиационные:

$$Q_{\text{рад}} = \varepsilon \sigma (T_c^4 - T_a^4) F,$$

где ε – степень черноты стенки; σ – постоянная Стефана-Больцмана; T – абсолютная температура, К,

коэффициент полезного действия фотоэлектрического преобразователя зависит от температуры [1]: $\eta = \eta_0 [1 - k(T_f - T_0)]$,

где η_0 – коэффициент полезного действия фотоэлектрического преобразователя при стандартной температуре $T_0=298 \text{ К}$, T_f – температура фотоэлектрического преобразователя, К; k – температурный коэффициент (k меньше 0,003).

Решение задачи. Рассматривается стационарный режим. Теплообмен между окружающей средой и радиатором происходит по закону Ньютона, а распределение температур описывается экспоненциальной функцией [4]:

$$\theta = \exp\left(-\sqrt{Bi} \frac{x}{l}\right),$$

где критерий Био $Bi = \frac{\alpha l}{\lambda}$; x – текущая координата с началом отсчёта от стыка листа с фотоэлектрическим преобразователем; l – длина листа, м; α – коэффициент теплоотдачи.

Распределение температур по длине листа в зависимости от скорости ветра показано на рис. 5 для температуры фотоэлектрического преобразователя 50 °С и на рис. 6 – для 70 °С. Приведенные расчетные характеристики показывают, что с увеличением скорости ветра уменьшается температура концентратора на 6–10 °С на конце листа по сравнению с температурой в месте стыка подложки фотоэлектрического преобразователя и листа концентратора.

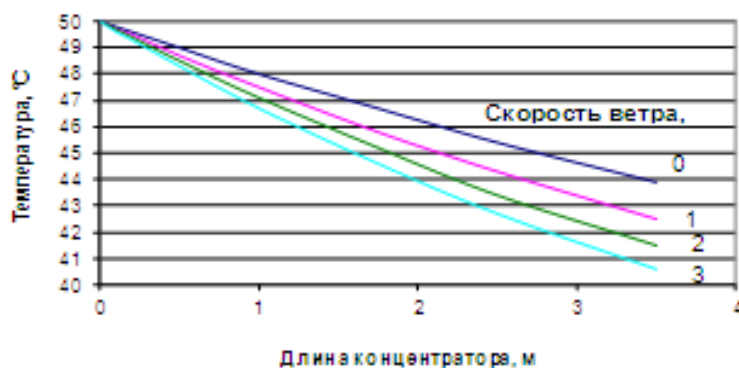


Рис. 5. Распределение температуры по длине концентратора при температуре фотоэлектрического преобразователя 50 °С и скорости ветра 0, 1, 2, 3 м/с

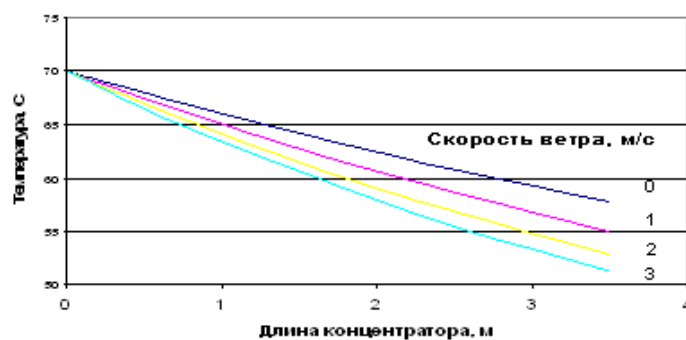


Рис. 6. Распределение температуры по длине концентратора при температуре фотоэлектрического преобразователя 70 °С и скорости ветра 0, 1, 2, 3 м/с

Плотность потока тепла определяется по [2]: $q = \frac{\lambda(T_{\text{conz}} - T_a)}{l} \sqrt{Bi}$,

где T_{conz} – температура концентратора, °С; T_a – температура окружающей среды, °С.

Поток тепла определяется как $Q = qF$, где F – площадь листа радиатора.

Зависимость потоков q и Q от скорости ветра при температуре фотоэлектрического преобразователя 50°C показана на рис. 7, а при 70°C – на рис. 8.

Анализ приведенных характеристик показывает возможность сброса тепла, поглощаемого фотоэлектрическим преобразователем при температуре нагрева в пределах $50\text{--}70^{\circ}\text{C}$ исходного типа модуля солнечной батареи (ориентировочно $1,5\text{--}2\text{ кВт}$), с помощью концентратора-радиатора при концентрациях солнечного излучения порядка 10.

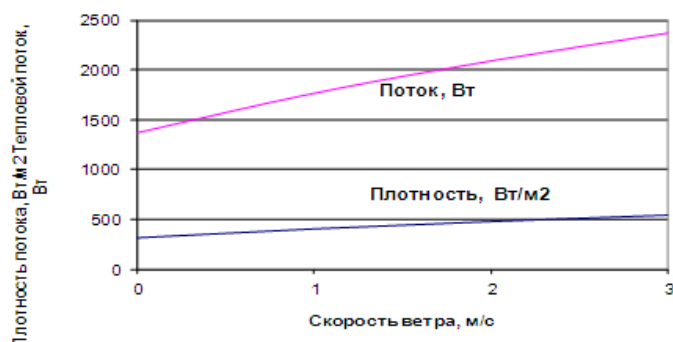


Рис. 7. Зависимости сброса тепла от скорости ветра при $T_{фэп}=50^{\circ}\text{C}$

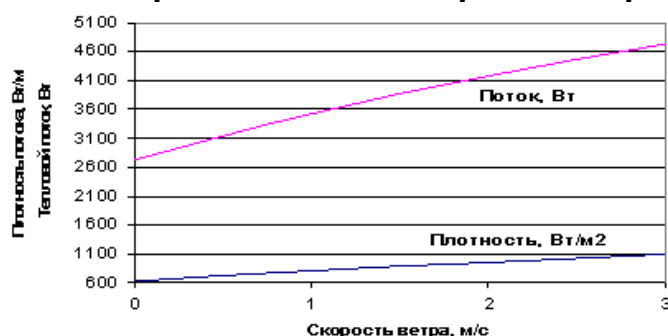


Рис. 8. Зависимости сброса тепла от скорости ветра при $T_{фэп}=70^{\circ}\text{C}$

Выводы

На основании приведенных расчетных моделей, расчетных оптико-энергетических параметров и характеристик приемников излучения планарного типа в составе солнечных модулей с параболоцилиндрическими концентраторами можно производить сравнительный анализ параметров и выбор конструкции фотоприемников и параболоцилиндрических концентраторов. С учетом расчета времени работы и выработки энергии модуля можно определять целесообразность конструкции солнечных батарей различных типов и режима работ.

Список литературы

1. Арбузов Ю.Д. Основы фотоэлектричества / Ю.Д. Арбузов, В.М. Евдокимов. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 292 с.
2. Григорьев В.А. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент / В.А. Григорьев, В.М. Зорин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 165 с.
3. Даффи Дж.Ф. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.Ф. Даффи, У.А. Бекман. – М.: Мир, 1977. – 101 с.

4. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 189 с.
5. Майоров В.А. Расчет и анализ энергетических характеристик солнечных батарей различных типов / В.А. Майоров // Тр. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве», 13-14 мая 2008 г., г. Москва. Ч.4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 96– 100.
6. Стребков Д.С. Концентраторы солнечного излучения / Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 316 с.

Розглянуто нові фотоелектричні модулі, що включають фото-приймачі і концентратори, які забезпечують ефективне перетворення сонячної енергії в теплову та електричну. Проведено математичне моделювання для створення алгоритму розрахунку конструкції тепло-фотоелектричного модуля з заданими енергетичними параметрами.

Сонячний модуль, колектор, сонячна енергія, тепло фотоелектричний модуль.

Some new photovoltaic modules, including photodetectors and hubs to ensure efficient conversion of solar energy into heat and electricity. The mathematical modeling to create an algorithm for calculating the design heat the solar module with the specified power parameters.

Solar module, collector, solar energy, heat the solar module.

УДК 621.1.016:621.184

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ И СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

Н.М. Фиалко, доктор технических наук, член-корр. НАН Украины

В.Г. Прокопов, доктор технических наук

Н.В. Майсон, аспирант*

**Ю.В. Шеренковский, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин, кандидаты
технических наук**

Н.Н. Ольховская, научный сотрудник

Л.А. Швецова, младший научный сотрудник

М.И. Дончак, главный конструктор

Институт технической теплофизики НАН Украины

Л.С. Бутковский, кандидат технических наук

Национальный технический университет Украины «КПИ»

¹ Научный руководитель – чл.-корр. НАН Украины, доктор технических наук, профессор Н.М. Фиалко

© Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Н.В. Майсон, Ю.В. Шеренковский, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин, Н.Н. Ольховская, Л.А. Швецова, М.И. Дончак, Л.С. Бутковский, 2014

4. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 189 с.
5. Майоров В.А. Расчет и анализ энергетических характеристик солнечных батарей различных типов / В.А. Майоров // Тр. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве», 13-14 мая 2008 г., г. Москва. Ч.4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 96– 100.
6. Стребков Д.С. Концентраторы солнечного излучения / Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 316 с.

Розглянуто нові фотоелектричні модулі, що включають фото-приймачі і концентратори, які забезпечують ефективне перетворення сонячної енергії в теплову та електричну. Проведено математичне моделювання для створення алгоритму розрахунку конструкції тепло-фотоелектричного модуля з заданими енергетичними параметрами.

Сонячний модуль, колектор, сонячна енергія, тепло фотоелектричний модуль.

Some new photovoltaic modules, including photodetectors and hubs to ensure efficient conversion of solar energy into heat and electricity. The mathematical modeling to create an algorithm for calculating the design heat the solar module with the specified power parameters.

Solar module, collector, solar energy, heat the solar module.

УДК 621.1.016:621.184

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ И СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

Н.М. Фиалко, доктор технических наук, член-корр. НАН Украины

В.Г. Прокопов, доктор технических наук

Н.В. Майсон, аспирант*

**Ю.В. Шеренковский, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин, кандидаты
технических наук**

Н.Н. Ольховская, научный сотрудник

Л.А. Швецова, младший научный сотрудник

М.И. Дончак, главный конструктор

Институт технической теплофизики НАН Украины

Л.С. Бутковский, кандидат технических наук

Национальный технический университет Украины «КПИ»

¹ Научный руководитель – чл.-корр. НАН Украины, доктор технических наук, профессор Н.М. Фиалко

© Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Н.В. Майсон, Ю.В. Шеренковский, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин, Н.Н. Ольховская, Л.А. Швецова, М.И. Дончак, Л.С. Бутковский, 2014

Приведены результаты выполненного на основе CFD моделирования комплекса исследований аэродинамики и смесеобразования для типоряда микрофакельных цилиндрических горелочных устройств мощностью от 20 до 200 кВт. Представлены разработанные рекомендации по выбору рациональных конструктивных параметров рассматриваемых горелочных устройств.

CFD моделирование, цилиндрические горелочные устройства, аэродинамика, смесеобразование топлива и окислителя.

Горелочные устройства сравнительно малой мощности широко применяются в энергетическом оборудовании АПК различного назначения. Их использование является эффективным для огнетехнических объектов не только относительно небольшой, но и различной теплопроизводительности в условиях, когда предъявляются высокие требования к равномерности теплоподвода по огневому пространству.

Для отмеченных ситуаций целесообразным оказывается использование микрофакельных горелочных устройств с цилиндрическими стабилизаторами пламени. Их более высокая эффективность в сравнении с традиционными горелочными устройствами, в которых применяются плоские стабилизаторы, обусловлена, главным образом, отсутствием различного рода потерь, связанных с концевыми эффектами. К тому же практически важным является то обстоятельство, что цилиндрические горелочные устройства ввиду особенностей конфигурации сравнительно легко интегрируются в конструкцию энергетического оборудования.

Анализ состояния исследований, касающихся создания высокоэффективных микрофакельных цилиндрических конструкций, свидетельствует о том, что имеющиеся отдельные работы, посвященные данной тематике, далеко не исчерпывают потребности энергетической практики (например, [1–3]). Это обуславливает необходимость дальнейшего развития исследований различных элементов рабочих процессов микрофакельных цилиндрических горелочных устройств.

Цель исследований – установление закономерностей течения и смесеобразования в микрофакельных цилиндрических горелочных устройствах различной мощности и выбор их рациональных конструктивных параметров.

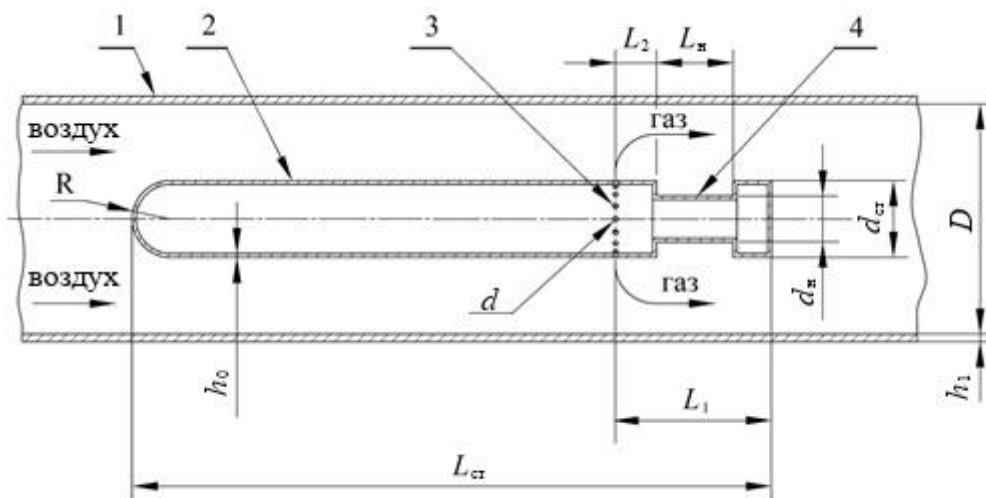
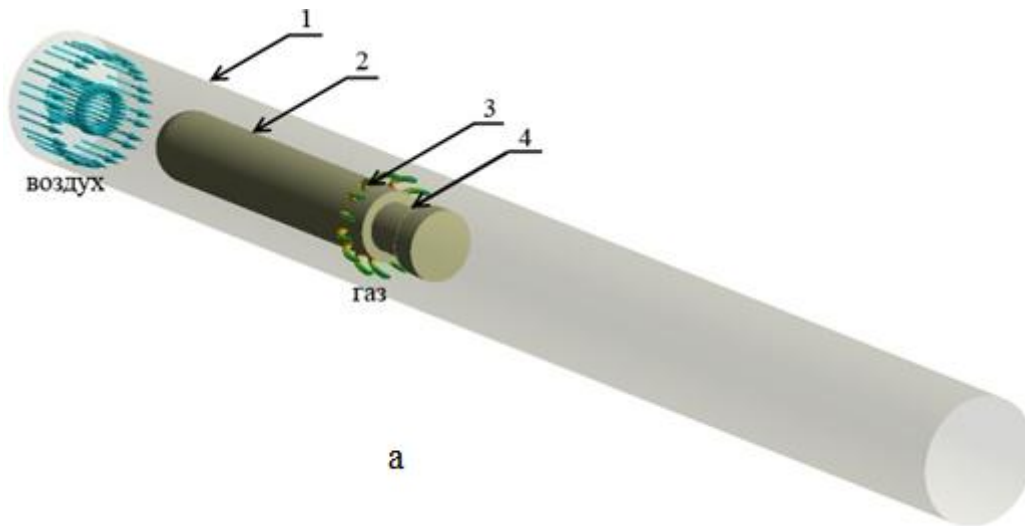
Материалы и методика исследований. Рассматривается горелочный модуль, представляющий собой круглый канал с размещенным в нем цилиндрическим стабилизатором с округленной передней и затупленной задней кромкой (рис.1). Стабилизатор снабжен системой круглых отверстий, через которые осуществляется поперечная подача газа в сносящий поток воздуха. Отверстия располагаются перед смещенной вниз по потоку прямоугольной кольцевой нишей.

Математическая модель исследуемых процессов течения и смесеобразования в микрофакельном цилиндрическом горелочном устройстве может быть представлена в виде

$$\nabla(\rho \vec{U} \vec{U}) = -\nabla p + \nabla \vec{\tau}; \quad (1)$$

$$\nabla(\rho \vec{U}) = 0; \quad (2)$$

$$\nabla(\rho \vec{U} Y_i) = \nabla \left(\left(\frac{\mu}{Sc_i} + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \nabla Y_i \right); \quad i = 1, 2, \dots, N-1; \quad (3)$$



б

Рис. 1. Схема (а) и продольный разрез (б) горелочного устройства с цилиндрическим стабилизатором пламени:

1 – круглый канал; 2 – цилиндрический стабилизатор пламени;
3 – газоподающие отверстия; 4 – кольцевая ниша

$$\rho = \frac{P}{RT \sum_i \frac{Y_i}{M_i}}, \quad (4)$$

где $\vec{U}$ – вектор скорости, м/с; p – давление, Па; $\bar{\tau}$ – тензор напряжений, н/м²; ρ – плотность, кг/м³; μ , μ_t – коэффициенты молекулярной и турбулентной динамической вязкости, Па·с; Y_i – массовая доля i -той компоненты смеси; M_i – молекулярная масса i -той компоненты, кг/моль; D_i – коэффициент диффузии i -той компоненты, м²/с; Sc_i – число Шмидта i -той компоненты, $Sc_i = \mu/\rho D_i$; Sc_t – турбулентное число Шмидта; N – количество компонент смеси; T – абсолютная температура, К; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

Замыкание приведенной системы уравнений осуществляется на основе использования RNG k - ϵ модели турбулентности.

Ввиду регулярности расположения газоподающих отверстий при математическом моделировании рассматривался характерный элемент горелочного устройства, представляющий собой угловой фрагмент ($0 < \varphi < \varphi_1$). Здесь φ_1 отвечает половине шага между отверстиями и включает половину одного из них. Во входном сечении выделенного элемента задавалась скорость воздуха, его степень турбулентности и температура. В поперечном сечении газоподающего отверстия на боковой стенке стабилизатора заданными являлись скорость газа, его степень турбулентности и температура.

На остальных поверхностях стенок стабилизатора и боковых поверхностях канала принимались условия прилипания и непроницаемости. На поверхностях выделенного элемента $\varphi=0$ и $\varphi=\varphi_1$ задавались условия симметрии, в выходном сечении – «мягкие» граничные условия, отвечающие равенству нулю производных по нормали к границе от зависимых переменных.

Численная реализация решения рассматриваемой задачи осуществлялась с применением программного пакета Fluent.

Результаты исследований. Ниже приводятся результаты численных исследований течения и смесеобразования топлива и окислителя для типоряда микрофакельных цилиндрических горелочных устройств. Этот типоряд включает пять горелок мощностью соответственно 20, 65, 110, 155 и 200 кВт.

На рисунках 2–5 для данного типоряда представлены результаты компьютерного моделирования при следующих значениях исходных параметров. Расход природного газа: 2; 6,5; 11; 15,5 и 20 м³/ч для горелок указанной мощности; коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,1$; длина стабилизатора $L_{ст} = 0,25$ м; размеры прямоугольной кольцевой нишевой полости 0,03х0,006 м; интенсивность турбулентности воздуха на входе в канал $I_B = 3\%$, природного газа в поперечном сечении газоподающего отверстия $I_r = 3\%$; абсолютная температура газа и воздуха 300 К. Прочие исходные данные различны для горелок различной мощности.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что основные закономерности течения топлива и окислителя сохраняются при различной мощности горелочного устройства. На рис. 2 в качестве примера представлены линии тока для горелки мощностью 110 кВт в

сечении $\varphi = 0$, проходящем через центр газоподающего отверстия. Как видно, в рассматриваемых условиях имеет место внедрение струй газа в сносящий поток окислителя и захват вихря в нишевой полости. В закормовой области стабилизатора образуется зона обратных токов и далее вниз по потоку происходит выравнивание эпюр скорости и формирование стабилизированного течения в канале.

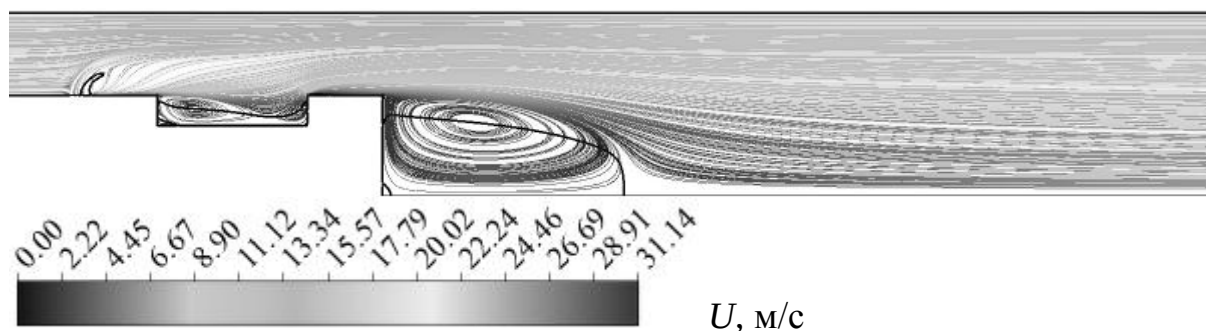


Рис. 2. Линии тока в продольном сечении цилиндрического горелочного устройства $\varphi = 0^\circ$, проходящем через ось газоподающего отверстия

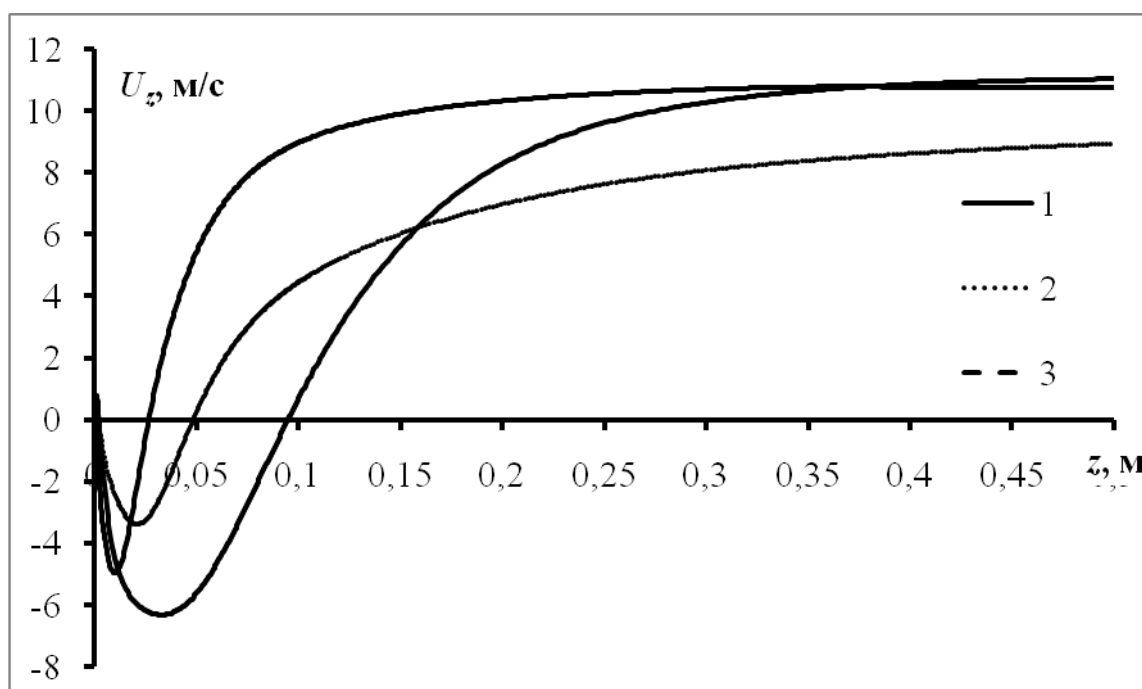


Рис. 3. Распределение осевой компоненты скорости U_z вдоль оси турбулентного следа за цилиндрическим стабилизатором пламени для горелочных устройств различной мощности N_r :
 1 – $N_r = 20$ кВт; 2 – $N_r = 110$ кВт; 3 – $N_r = 200$ кВт

Картины течения в горелочных устройствах разной мощности, будучи качественно близкими, тем не менее, существенно отличаются в

количественном отношении. Так, в закормовой области стабилизатора характеристики зон обратных токов оказываются существенно различными при разной мощности N_{Γ} . Как видно из рис. 3, большим значениям мощности горелочного устройства отвечает большие протяженности зон обратных токов. При мощности N_{Γ} , равной 20, 110 и 200 кВт указанные протяженности составляют 0,026; 0,048 и 0,0945 м соответственно. При этом заметно отличаются между собой и максимальные величины абсолютных значений скорости в зонах обратных токов.

Согласно полученным данным для горелочных устройств разной мощности сохраняются также и общие закономерности смесеобразования топлива и окислителя. На рисунках 4 и 5 показан типичный характер полей массовых концентраций метана на примере горелочного устройства мощностью 110 кВт. Здесь зоны I и II отвечают областям с избыточным содержанием воздуха и природного газа соответственно, а зоны III – областям, в которых смесь находится в концентрационных пределах воспламенения. Как видно, в целом, имеет место благоприятная картина смесеобразования топлива и окислителя в горелочном устройстве. В нишевой полости и зоне обратных токов за стабилизатором смесь отвечает концентрационным пределам воспламенения.

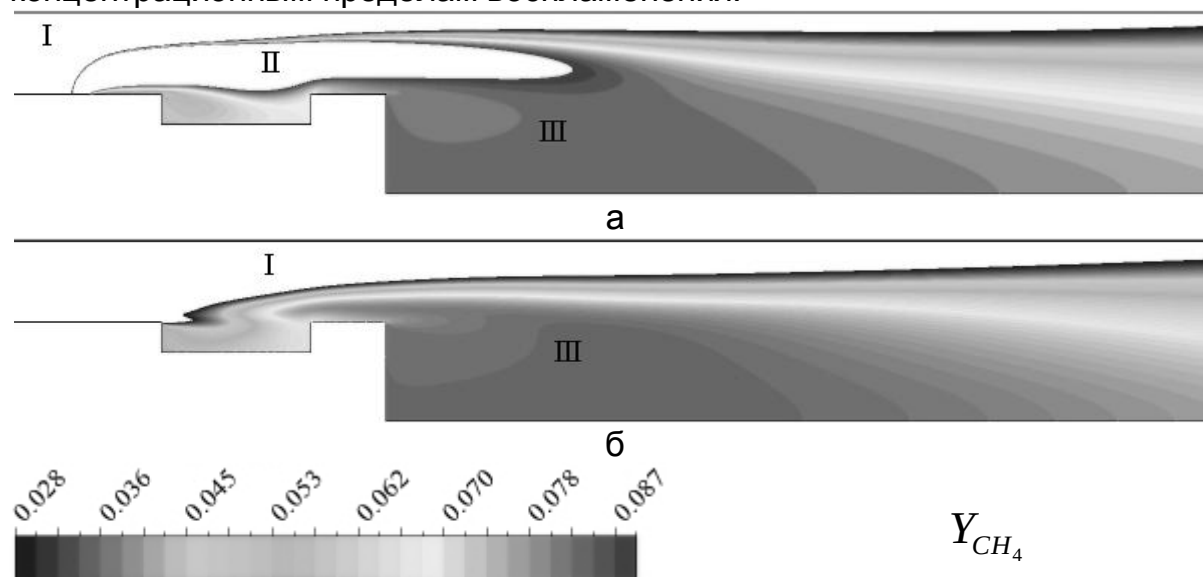


Рис. 4. Поля массовой концентрации метана в продольном сечении цилиндрического стабилизаторного горелочного устройства, проходящем через центр газоподающего отверстия (а) и посередине между отверстиями (б) для горелки мощностью 110 кВт

На основе выполненных исследований определены рациональные конструктивные параметры для типоряда микрофакельных цилиндрических горелочных устройств. В таблице приведены основные геометрические характеристики таких устройств.

Как следует из приведенных в таблице данных, имеет место достаточно четко выраженная корреляция между мощностью горелочного

устройства и геометрическими характеристиками соответствующих конструкций, а именно, с ростом мощности горелки увеличиваются диаметры цилиндрического стабилизатора, газоподающих отверстий и уменьшается относительный шаг их расположения.

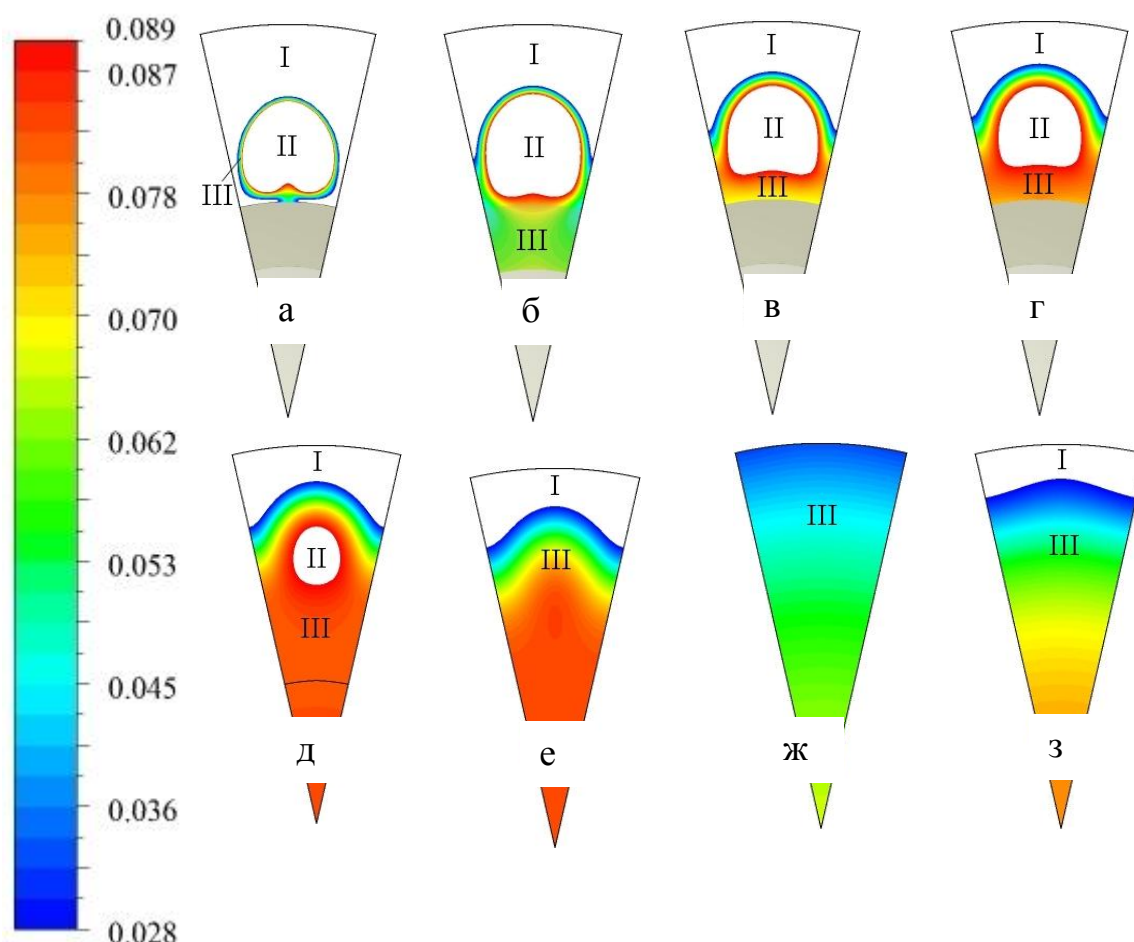


Рис. 5. Поля массовой концентрации метана в поперечных сечениях горелки, расположенных на удалении z' от газоподающих отверстий для горелочного устройства мощностью 110 кВт:

а– $z' = 0,015$ м (передняя стенка ниши); б– $z' = 0,030$ м (середина ниши);
в– $z' = 0,045$ м (задняя стенка ниши); г– $z' = 0,06$ м (срывная кромка стабилизатора); д– $z' = 0,085$ м; е– $z' = 0,11$ м; ж) $z' = 0,21$ м; з– $z' = 0,36$ м

Основные геометрические характеристики типоряда микрофакельных цилиндрических горелочных устройств мощностью от 20 до 200 кВт

N_{Γ} , кВт	$d_{\text{ст}}$, м	d , м	S/d
20	0,02	0,002	3,5
65	0,03	0,0025	3,43
110	0,04	0,003	3,22
155	0,05	0,0035	3,0
200	0,06	0,004	2,94

Выводы

В результате выполненного комплекса исследований для микро-факельных цилиндрических горелочных устройств с прямоугольными кольцевыми нишами выявлены особенности течения и смесеобразования в данных устройствах и на этой основе разработаны рекомендации по выбору их геометрических характеристик.

Список литературы

1. Влияние пластинчатых турбулизаторов потока на характеристики течения и смесеобразования топлива и окислителя в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, Н.В. Майсон [и др.] // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.06 – С.114–121.
2. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, Н.В. Майсон [и др.] // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.5 – С. 136–142.
3. Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, Н.В. Майсон [и др.] // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. - Т.3, №8(69). – С.40–44.

Наведено результати виконаного на основі CFD моделювання комплексу досліджень аеродинаміки і сумішоутворення для типоряду мікрофакельних циліндричних пальникових пристроїв потужністю від 20 до 200 кВт. Подано розроблені рекомендації щодо вибору раціональних конструктивних параметрів розглянутих пальникових пристроїв.

CFD моделювання, циліндричні пальникові пристрої, аеродинаміка, сумішоутворення палива та окислювача.

The results of CFD simulation of the complex research of aerodynamics and mixing are given for type series of micro-flame cylindrical burners with power from 20 to 200 kW. The developed recommendations for choosing the rational design parameters considered burners are offered.

CFD modeling, cylindrical burners, aerodynamics, fuel and oxidizer mixing.

ВЛИЯНИЕ ШАГА МЕЖДУ ГАЗОВЫМИ СТРУЯМИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЯ В СТАБИЛИЗАТОРНЫХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Ю.В.Шеренковский, кандидат технических наук

Н.М. Фиалко, доктор технических наук, член-корр. НАН Украины

Г.В. Иваненко, кандидат технических наук

Н.Н. Ольховская, Е.И. Милко, А.А. Озеров, научные сотрудники

***О.Н. Кутняк, В.С. Новицкий, Л.А. Швецова, младшие научные
сотрудники***

М.И. Дончак, главный конструктор

Институт технической теплофизики НАН Украины

Приведены результаты компьютерного моделирования по установлению закономерностей влияния шага между газовыми струями на характеристики течения в стабилизаторных горелочных устройствах со струйной подачей топлива в сносящий поток окислителя. Особое внимание уделено рассмотрению эффектов влияния этого шага на величину глубины проникновения газовых струй в поперечный поток, протяженность зон обратных токов за стабилизатором, значения максимальных скоростей в этих зонах и пр.

Струя в сносящем потоке, микрофакельные горелочные устройства, шаг между струями, математическое моделирование.

В энергетическом оборудовании широко используются современные микрофакельные горелочные устройства со струйной подачей газа внедрением в сносящий поток окислителя через системы отверстий на боковых поверхностях стабилизаторов. Это обстоятельство определяет актуальность углубленных исследований процессов переноса в данных горелочных устройствах. В частности, важным является установление закономерностей течения топлива и окислителя в горелках указанного типа.

Анализ литературы свидетельствует о том, что изучению структуры течения при микрофакельном горении в системе стабилизаторов пламени уделяется определенное внимание (например, [1, 3–6]). Однако имеющиеся исследования далеко не в полной мере охватывают круг вопросов, актуальных для разработки высокоэффективных микрофакельных горелок. Так, требуют дальнейшего развития исследования, касающиеся эффектов влияния различных конструктивных параметров горелочных устройств на картину течения топлива и окислителя.

Цель исследований – установление для стабилизаторных горелочных устройств закономерностей влияния относительного шага между газовыми струями на такие характеристики течения, как глубина h проникновения струй в поперечный поток окислителя, длина $L_{от}$ зоны обратных токов в закормовой области стабилизатора, максимальное значение U_{max} скорости в этой зоне и пр.

Материалы и методика исследований. В качестве основного метода исследований использовалось математическое моделирование. Модель процесса включала уравнения Навье-Стокса, неразрывности и сохранения массы компонентов реагирующей смеси. Данная система уравнений замыкалась с использованием k - ε модели турбулентности в модификации RNG. Задача решалась в трехмерной постановке. Реализация решения осуществлялась с применением пакета прикладных программ ANSYS. Наряду с этим использовались также приближенные аналитические зависимости для нахождения глубины проникновения струй.

Результаты исследований. Применительно к рассматриваемым условиям получена зависимость глубины проникновения h струй газа в поперечный поток окислителя от величины относительного шага между струями. Используя выражение [2]

$$h = k_s d \frac{V_{\Gamma}}{V_B} \sqrt{\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_B}}, \quad (1)$$

после ряда преобразований найдено следующее соотношение

$$\frac{h}{H_K} = k_s \frac{4}{\pi L_0} \frac{S}{d \alpha} \sqrt{\frac{\rho_B}{\rho_{\Gamma}}}, \quad (2)$$

где k_s – коэффициент, зависящий от величины S/d ; $k_s = 1,6 + 0,025(S/d - 4)$, $4 \leq S/d \leq 16$; d – диаметр газоподающих отверстий, м; V_B, V_{Γ} – средние скорости набегающего воздуха и газа в газоподающих отверстиях, м/с; ρ_{Γ}, ρ_B – плотности газа и воздуха, кг/м³; S – расстояние между газовыми струями, м; α – коэффициент избытка воздуха; $L_0 = 16,8$; H_K – половина высоты межстабилизаторного канала, м.

Зависимость (2) в отличие от (1) получена применительно к каналу конечных размеров, а не к условиям неограниченного потока. Соответственно этому, как очевидно, выражение (2) может использоваться только при условии $h/H_K < 1$. Как показали данные математического моделирования, в широком диапазоне изменения коэффициента загромождения проходного сечения канала k_f формула (2)

дает удовлетворительные результаты при $h/H_K \leq 0,8$ ($k_f = \frac{B_{CT}}{2H_K + B_{CT}}$, где

B_{CT} – ширина стабилизатора, м).

При фиксированных значениях α , ρ_B и ρ_{Γ} зависимость (2) можно представить в виде

$$\frac{h}{H_K} = A k_s \frac{S}{d}, \quad (3)$$

где $A = \frac{4}{\pi L_0 \alpha} \sqrt{\frac{\rho_B}{\rho_r}}$.

Таким образом, в условиях заданного вида топлива, окислителя и величины коэффициента избытка воздуха α относительная глубина проникновения h/H_K является функцией только шага между газовыми струями S/d . И поскольку изменение величины $k_s = f(S/d)$ в рассматриваемом диапазоне параметров сравнительно невелико, то, как видно из рис. 1, функция $h/H_K = f(S/d)$ весьма близка к линейной для различных фиксированных значений коэффициента избытка воздуха α .

Представленный характер зависимости $h/H_K = f(S/d)$, очевидно, связан с тем, что с увеличением S/d при неизменной величине общего расхода газа и прочих равных условиях возрастает расход газа, приходящийся на одно газоподающее отверстие, и соответственно повышается средняя скорость подачи газа V_r . Это обстоятельство и определяет возрастание глубины проникновения струи при увеличении относительного шага S/d .

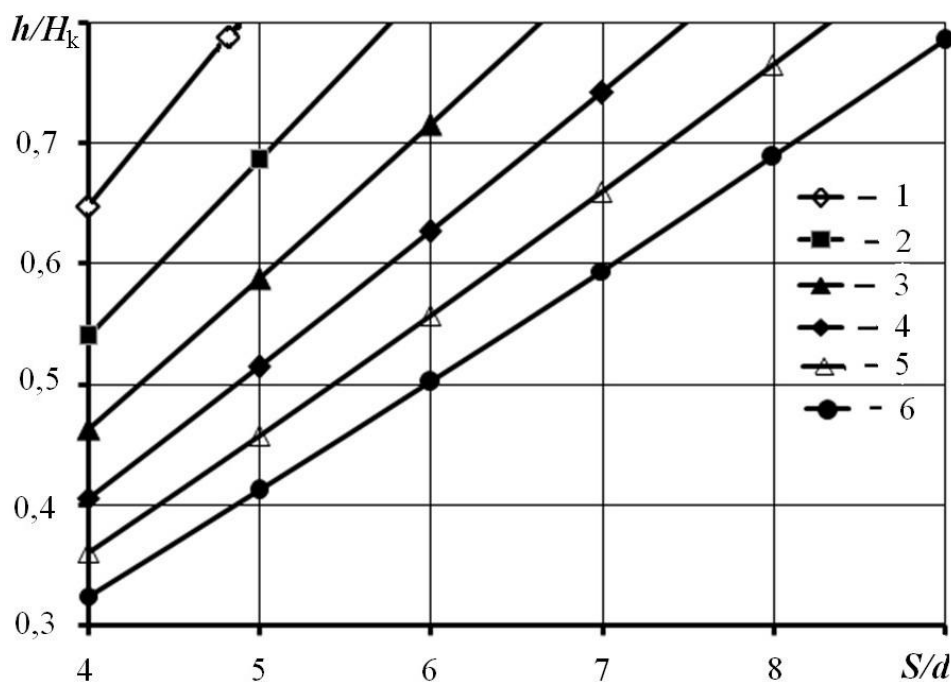


Рис. 1. Зависимость относительной глубины проникновения струй h/H_K от шага между ними S/d при различных значениях коэффициента избытка воздуха:
 1 — $\alpha = 1,0$; 2 — $1,2$; 3 — $1,4$; 4 — $1,6$; 5 — $1,8$; 6 — $2,0$

Ниже на рис. 2 и в таблице приводятся результаты исследований, полученные на основе компьютерного моделирования. Для определения фигурирующих в исходных данных значений скорости газа V_r предложено следующее выражение

$$V_{\Gamma} = \frac{2U_{BX}^B B_{CT} S \rho_B}{\pi L_0 k_f d^2 \alpha \rho_{\Gamma}}, \quad (4)$$

где U_{BX}^B – скорость воздуха во входном сечении канала, в котором расположена стабилизаторная решетка, м/с.

На рис. 2 в качестве примера представлены картины линий тока в продольном сечении, проходящем через центр газоподающего отверстия, для величин $S/d = 6,4$ ($V_{\Gamma} = 74,75$ м/с) и $S/d = 3,56$ ($V_{\Gamma} = 41,54$ м/с) при прочих фиксированных параметрах: $d = 3 \cdot 10^{-3}$ м; $U_{BX}^B = 7,0$ м/с; $\alpha = 1,35$. Как видно, с возрастанием S/d наблюдается более глубокое проникновение струй газа в сносящий поток воздуха.

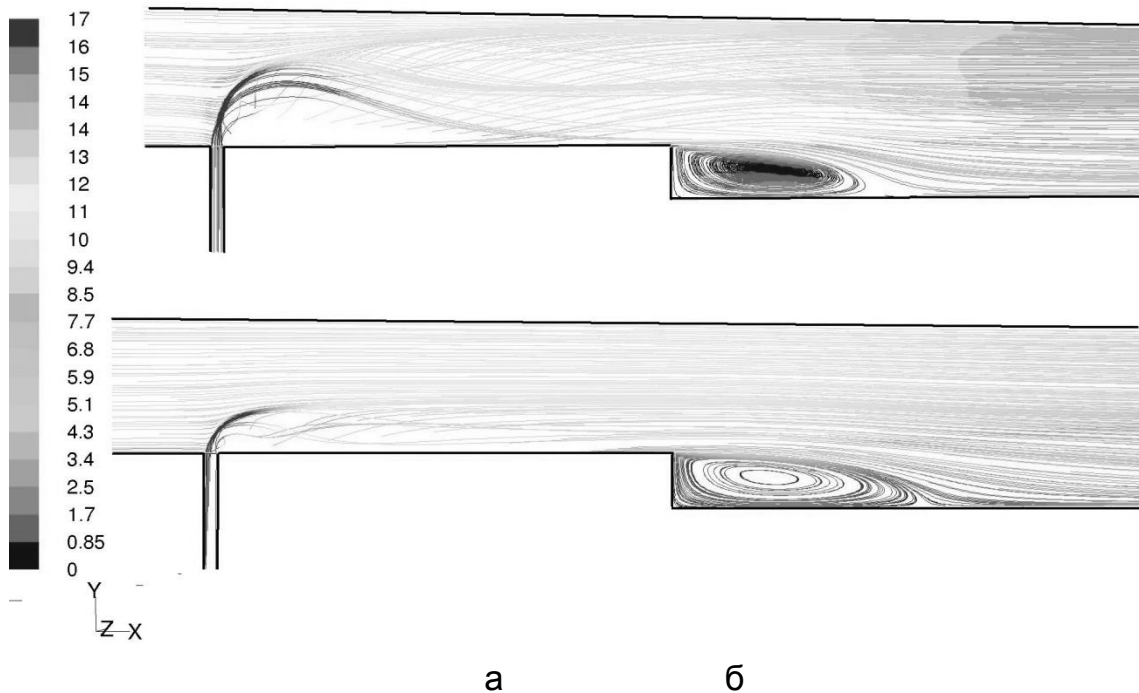


Рис. 2. Линии тока в продольном сечении, проходящем через центр газоподающего отверстия, для различных величин S/d :

а – $S/d = 6,4$; б – $S/d = 3,56$

Результаты компьютерного моделирования свидетельствуют также о том, что величина относительного шага S/d заметно влияет и на гидродинамическую ситуацию в зоне обратных токов непосредственно за стабилизатором. Возрастающее с увеличением S/d инжектирующее действие струи газа (т.е. все большее вовлечение окружающего воздуха в струю) обуславливает дополнительное повышение степени разрежения в зоне обратных токов за стабилизатором. Соответственно этому при увеличении S/d длины зон обратных токов уменьшаются, а максимальные скорости в них возрастают. В таблице представлены данные численных исследований о величинах $L_{от}$ и U_{max} при различных значениях S/d и разных расстояниях L_1 между затупленной задней кромкой стабилизатора и газоподающими отверстиями.

Характеристики зон обратных токов для $k_f = 0,3$

$L_1, 10^{-3}\text{м}$	120		80	
S/d	6,4	3,56	6,4	3,56
$L_{от}, 10^{-3}\text{м}$	60,6	69,0	55,2	64,7
$U_{max}, \text{м/с}$	2,63	1,94	2,55	2,06

Как видно из таблицы при $L_1 = 80 \cdot 10^{-3}$ м и $k_f = 0,3$ отличия в величинах $L_{от}$ и U_{max} для рассматриваемых значений S/d составляют соответственно 17,0 и 19,6 %.

Согласно полученным данным отмеченный эффект уменьшения величины $L_{от}$ и возрастания скорости U_{max} с увеличением шага S/d проявляется в меньшей мере при увеличении степени загромождения k_f проходного сечения канала.

Выводы

Для горелочных устройств стабилизаторного типа со струйной подачей топлива в сносный поток окислителя выявлены основные закономерности влияния на характеристики течения относительного шага S/d между струями. Показано, что глубина проникновения газовых струй в поток окислителя практически линейно зависит от величины S/d . Установлено также, что увеличение S/d , вызывающее возрастание инжектирующего действия газовой струи, приводит к уменьшению протяженности зон обратных токов закормовой области стабилизаторов и повышению максимальных скоростей в этих зонах.

Список литературы

1. Варнатц Ю. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл; пер. с англ. Г.Л. Агафонова; под ред. П.А. Власова. – М.: Физматлит, 2003. – 352с.
2. Иванов Ю.В. Газогорелочные устройства / Ю.В. Иванов – М.: Недра, 1972. – 376 с.
3. Математическое моделирование структуры течения при микрофакельном сжигании топлива / Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, С.А. Алешко [и др.] // XVIII междунар. конф. [«Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики»], (Ялта, 10–14 июня 2008 г.). – К., 2008. – С.112–114.
4. Микулин Г. А. Аэродинамические характеристики и массообменные свойства трубчатых интенсификаторов горения и стабилизаторов пламени / Г.А. Микулин, Г.Н. Любчик // Энергетика: экономика, технология, экология. – 2004. – Т. 15, № 2. – С. 54 – 62.
5. Особенности обтекания плоских стабилизаторов ограниченным потоком / Н.М. Фиалко, Л.С. Бутовский, В.Г. Прокопов [и др.] // Пром. теплотехника. – 2010. – №5. – С. 26–33.
6. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей / [Б.В. Раушенбах, С.А. Белый, И.В. Беспалов и др.]. – М.: Машиностроение, 1964. – 526 с.

Наведено результати комп'ютерного моделювання щодо встановлення закономірностей впливу кроку між газовими струменями на характеристики течії в стабілізаторних пальникових пристроях із струменевою подачею палива в зносячий потік окислювача. Особливу увагу приділено розгляду ефектів впливу цього кроку на величину глибини проникнення газових струменів впоперечний потік, протяжність зон зворотних токів за стабілізатором, значення максимальних швидкостей в цих зонах та ін.

Струмінь у зносячому потоці, мікрофакельні пальникові пристрої, крок між струменями, математичне моделювання.

The results of computer simulation to establish the patterns of influence of the step between the gas jets on the flow characteristics in the stabilizer burner devices with jet fuel supply to the entraining oxidant stream are given. Particular attention is paid to the consideration of the effect of this step on the depth of penetration of gas jets in cross-flow, the length of the zones of reverse flow beside the stabilizer, the maximum speed in these areas and so forth.

Jet in entraining stream, micro-flame burners, step between the jets, mathematical modeling.

УДК 536.24

СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ В МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ГОРЕЛКАХ С ЭШЕЛОНИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПЛАМЕНИ

Н.М. Фиалко, доктор технических наук, член-корр. НАН Украины

В.Г. Прокопов, доктор технических наук

**Ю.В. Шеренковский, С.А. Алешко, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин,
кандидаты технических наук**

О.Н. Кутняк, младший научный сотрудник

А.А. Озеров, научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Л.С. Бутовский, кандидат технических наук*

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Представлены результаты исследований закономерностей течения топлива и окислителя в микрофакельных горелочных устройствах с эшелонированным расположением стабилизаторов пламени. Приведены данные математического моделирования по выявлению влияния количества стабилизаторов на картину течения в эшелонированных стабилизаторных решетках.

© Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Ю.В. Шеренковский,
С.А. Алешко, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин,
О.Н. Кутняк, А.А. Озеров, Л.С. Бутовский, 2014

Наведено результати комп'ютерного моделювання щодо встановлення закономірностей впливу кроку між газовими струменями на характеристики течії в стабілізаторних пальникових пристроях із струменевою подачею палива в зносячий потік окислювача. Особливу увагу приділено розгляду ефектів впливу цього кроку на величину глибини проникнення газових струменів впоперечний потік, протяжність зон зворотних токів за стабілізатором, значення максимальних швидкостей в цих зонах та ін.

Струмінь у зносячому потоці, мікрофакельні пальникові пристрої, крок між струменями, математичне моделювання.

The results of computer simulation to establish the patterns of influence of the step between the gas jets on the flow characteristics in the stabilizer burner devices with jet fuel supply to the entraining oxidant stream are given. Particular attention is paid to the consideration of the effect of this step on the depth of penetration of gas jets in cross-flow, the length of the zones of reverse flow beside the stabilizer, the maximum speed in these areas and so forth.

Jet in entraining stream, micro-flame burners, step between the jets, mathematical modeling.

УДК 536.24

СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ В МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ГОРЕЛКАХ С ЭШЕЛОНИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПЛАМЕНИ

Н.М. Фиалко, доктор технических наук, член-корр. НАН Украины

В.Г. Прокопов, доктор технических наук

**Ю.В. Шеренковский, С.А. Алешко, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин,
кандидаты технических наук**

О.Н. Кутняк, младший научный сотрудник

А.А. Озеров, научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Л.С. Бутовский, кандидат технических наук*

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Представлены результаты исследований закономерностей течения топлива и окислителя в микрофакельных горелочных устройствах с эшелонированным расположением стабилизаторов пламени. Приведены данные математического моделирования по выявлению влияния количества стабилизаторов на картину течения в эшелонированных стабилизаторных решетках.

© Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Ю.В. Шеренковский,
С.А. Алешко, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин,
О.Н. Кутняк, А.А. Озеров, Л.С. Бутовский, 2014

Математическое моделирование, эшелонирование стабилизаторов пламени, микрофакельные горелочные устройства, структура течения топлива и окислителя.

Сжигание газообразного топлива в микрофакельных горелочных устройствах с эшелонированными решетками стабилизаторов пламени обладает целым рядом известных достоинств [2,5]. Посредством организации специальным образом эшелонированного расположения стабилизаторов оказывается возможным формирование требуемого поля температур в зоне горения. Эшелонирование применяется также в качестве способа устранения спонтанного нарушения симметрии течения в стабилизаторной решетке, что характерно для условий, отвечающих относительно высокой степени загромождения стабилизаторами проходного сечения канала.

Для конструирования микрофакельных горелочных устройств с эшелонированными решетками стабилизаторов пламени требуется знание закономерностей протекания рабочих процессов в этих устройствах. Однако, в настоящее время имеются лишь немногочисленные исследования, посвященные отдельным аспектам данной проблемы (например, [1,4,3]).

Цель исследований – выявление основных особенностей структуры течения топлива и окислителя в микрофакельных горелочных устройствах с лестнично эшелонированными решетками плоских стабилизаторов пламени.

Материалы и методика исследований. Рассматривается картина течения топлива и окислителя в микрофакельном горелочном устройстве при смещенном расположении стабилизаторов пламени друг относительно друга вниз по потоку с постоянным шагом $L_{\text{см}}$ (рис.1). Математическая модель исследуемого процесса представима в виде

$$\frac{\partial(\rho U_j U_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial(\tau_{ij})}{\partial x_j}, \quad i,j=1,2,3; \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho U_j)}{\partial x_j} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho_k U_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu}{Sc_k} + \frac{\nu_T}{Sc_T} \right) \frac{\partial \rho_k}{\partial x_j} \right]; \quad (3)$$

$k=1,2,N^*-1,$

где x_j – декартова координата, м, $j = 1, 2, 3$; U_j – компонента вектора скорости в направлении оси x_j , м/с; P – статическое давление, Па; τ_{ij} – компоненты тензора напряжения, н/м²; ρ – плотность, кг/м³; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с; ν_T – коэффициент турбулентной кинематической вязкости, Па·с; ρ_k – парциальная массовая плотность k -той компоненты, кг/м³, $\rho_k = \rho \cdot W_k$; W_k – массовая концентрация; Sc_k – число Шмидта k -той компоненты, $Sc_k = \nu/D_k$, где D_k – коэффициент диффузии k -той компоненты, м²/с; Sc_T – турбулентное число Шмидта; N^* – количество компонент смеси.

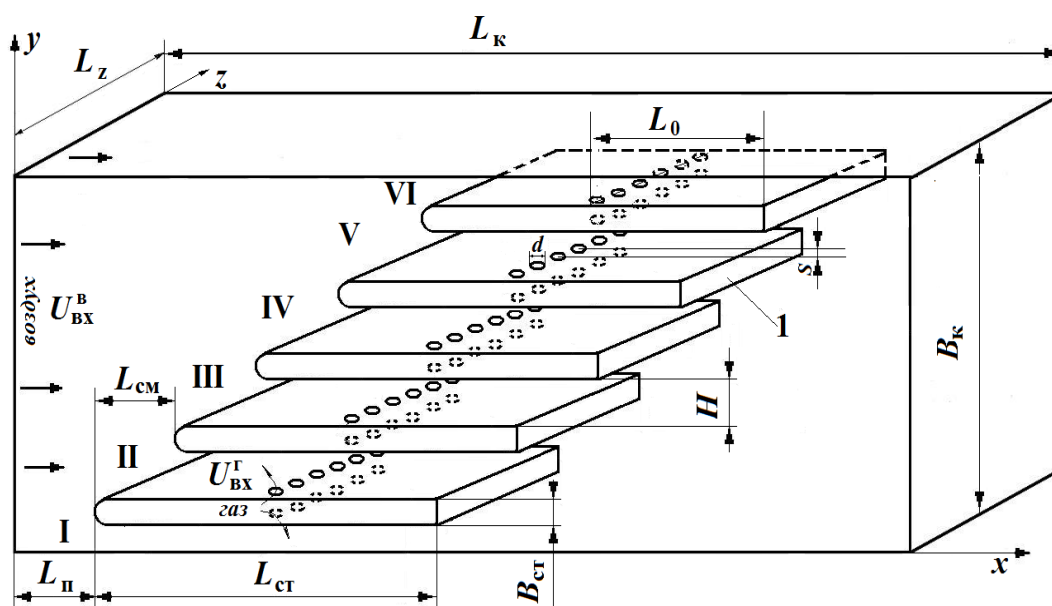


Рис. 1. К постановке задачи для эшелонированной решетки стабилизаторов:

1 – стабилизаторы пламени; I, VI – пристеночные каналы;
II, III, IV, V – межстабилизаторные каналы

Для замыкания системы уравнений (1) – (3) применялась RNG k-ε модель турбулентности. Поставленная задача решалась с использованием пакета прикладных программ ANSYS.

Результаты исследований. Характерные результаты математического моделирования представлены на рисунках 2–4 и в таблице. Приведенные данные отвечают следующим значениям исходных параметров: $U_{\text{вх}}^{\text{г}} = 6,8$ м/с; $U_{\text{вх}}^{\text{в}} = 24$ м/с; $L_{\text{п}} = 0,2$ м; $L_{\text{СТ}} = 0,215$ м; $L_{\text{К}} = 1,5$ м; $H = 0,075$ м; $B_{\text{К}} = 0,225$ м; $B_{\text{СТ}} = 0,03$ м; $L_{\text{СМ}} = 0,06$ м; $L_0 = 0,02$ м; $d = 0,0045$ м; $S/d = 3,55$, где S – шаг расположения газоподающих отверстий, м; топливо – природный газ, окислитель – воздух.

Как показали проведенные исследования, в случае эшелонированного расположения стабилизаторов происходит определенное перераспределение расходов воздуха в межстабилизаторных и пристеночных каналах решетки по сравнению с ситуацией ей, когда такое эшелонирование отсутствует. Это обстоятельство иллюстрируют данные, приведенные на рис.2, соответствующие горелочному устройству с тремя эшелонированными стабилизаторами пламени. Как видно, значения продольных составляющих скорости в первом по потоку межстабилизаторном канале заметно превышают соответствующие величины для второго межстабилизаторного канала (см. линию 5 на графике). При этом соответствующие расходы воздуха отличаются более чем на 10 %. Что же касается пристеночных каналов, то здесь расхождения скоростей U_x в первом и во втором по потоку каналах оказывается более существенными, так что расходы воздуха отличаются примерно на 17 %.

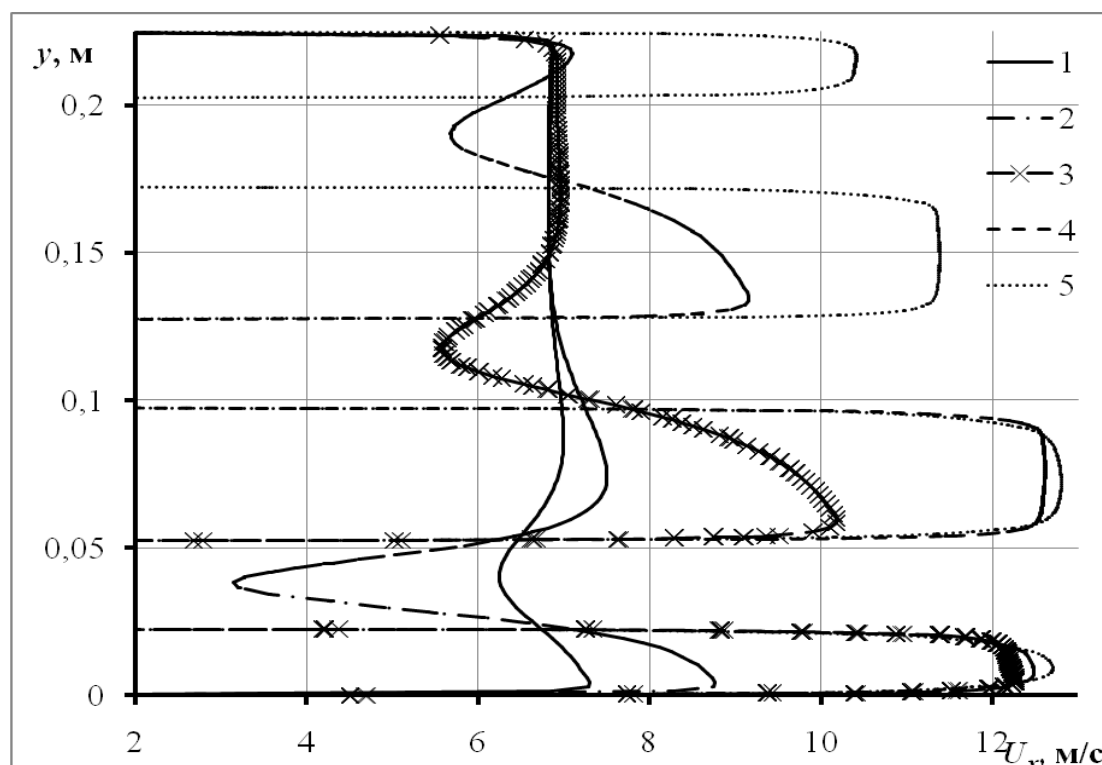


Рис.2. Эпюры продольной составляющей скорости для решетки, состоящей из трех стабилизаторов, на удалении 0,03 м вниз по потоку от лобовой точки третьего стабилизатора (линия 5), на расстоянии 0,04 и 0,02 м перед первым стабилизатором (линии 1 и 2) и 0,03 м перед вторым и третьим стабилизатором, соответственно (линии 3 и 4).

За стабилизаторной решеткой на некотором удалении от нее возникает асимметричность течения, обратная той, которая наблюдается в собственно стабилизаторной решетке. В качестве примера соответствующие данные приведены на рис.3. Как видно, поток за стабилизаторами в целом несколько отклоняется в сторону последнего из них по течению. Полученные результаты компьютерного моделирования свидетельствуют также о том, что далее вниз по потоку за стабилизаторной решеткой указанная асимметричность течения монотонно снижается. Это является следствием эффекта локализации влияния факта эшелонированного расположения стабилизаторов пламени.

В данной работе выполнены также исследования, посвященные анализу влияния количества эшелонированных стабилизаторов пламени на характеристики течения топлива и окислителя в горелочном устройстве. При этом рассмотрению подлежала ситуация, когда при проведении сопоставлений все прочие характеристики решетки оставались неизменными. В таких условиях изменение количества стабилизаторов отвечает соответствующему изменению мощности горелочного устройства.

Согласно полученным данным важнейшие особенности структуры течения сохраняются в случае различного количества стабилизаторов пламени.

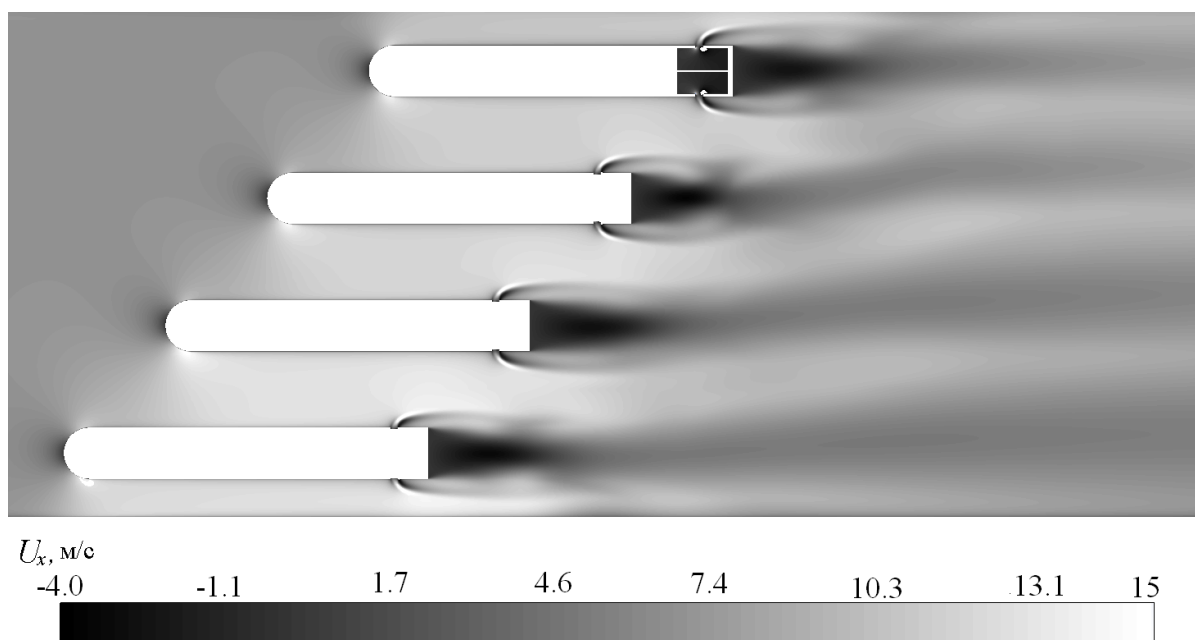


Рис.3. Поле продольной составляющей вектора скорости в сечении XOY, проходящем через центры газоподающих отверстий

Ниже на рис.4 и в таблице в качестве примера представлены результаты математического моделирования для стабилизаторных решеток, состоящих из 3 и 4 стабилизаторов пламени. Как видно из таблицы, для сопоставляемых ситуаций расходы воздуха весьма близки по величине в пристеночных каналах, а также в первом и последнем по потоку межстабилизаторных каналах. Обращает на себя внимание также тот факт, что в случае 4 стабилизаторов снижение расхода в каждом следующем стабилизаторном канале оказывается меньшим по величине.

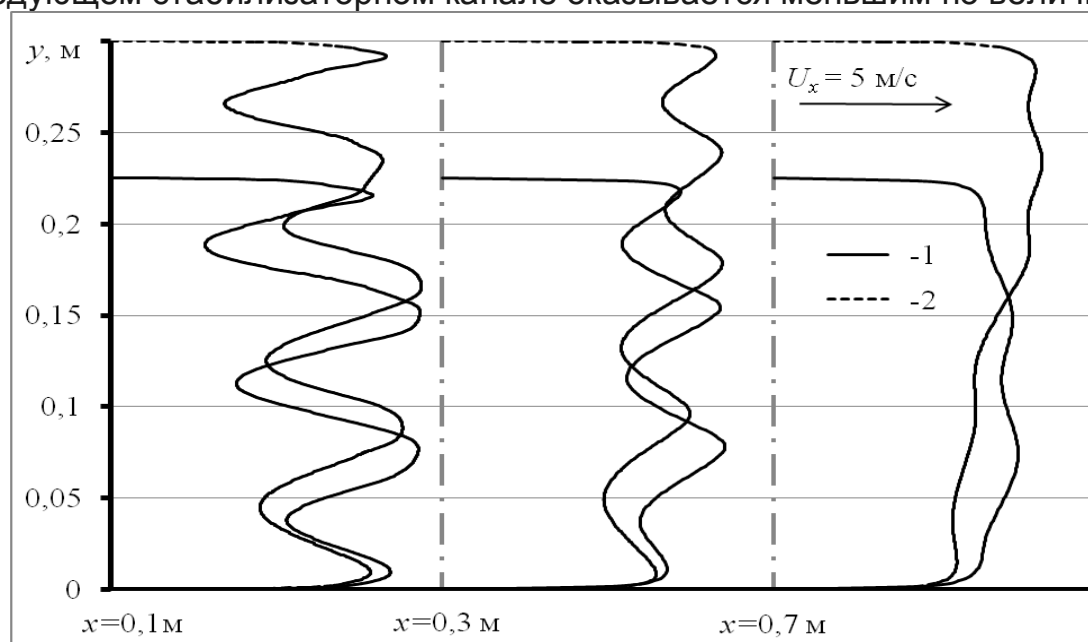


Рис. 4. Эпюры продольной компоненты U_x вектора скорости для решеток, состоящих из трех (линии 1) и четырех (линии 2) стабилизаторов пламени на фиксированном расстоянии x за последним из них по потоку: $x = 0,1$ м; $0,3$ м; $0,7$ м

Особенности течения за указанными решетками на некотором расстоянии от них вниз по потоку иллюстрируют данные, представленные на рис.4. Как видно, эпюры скорости U_x , отвечающие двум анализируемым ситуациям, существенно отличаются. Так, если в случае трех стабилизаторов местоположения минимумов скорости U_x примерно соответствуют осевым сечениям стабилизаторов, а максимумов – осевым сечениям межстабилизаторных каналов, то для четырех стабилизаторов положение указанных экстремумов заметно смещается в направлении последнего по потоку стабилизатора. Это обстоятельство свидетельствует о наличии перетоков по сечению канала в данном направлении. При этом на достаточно большом удалении от стабилизаторной решетки (см. $x=0,7$ м на рис. 4) в целом более низкие скорости наблюдаются в зоне, отвечающей местоположению первого по потоку стабилизатора.

Расход воздуха в каналах решеток стабилизаторов пламени, м³/ч

Количество стабилизаторов	Номер канала				
	I	II	III	IV	V
3	7,57	15,86	14,29	6,38	----
4	7,55	15,91	14,77	14,22	6,34

Важно также подчеркнуть, что согласно полученным данным выравнивание профиля скорости для трехстабилизаторной решетки происходит на меньшем расстоянии от нее, чем в случае четырехстабилизаторной решетки.

Выводы

На основе проведенных исследований показано, что структура течения топлива и окислителя в горелочном устройстве с эшелонированным расположением стабилизаторов пламени существенно отличается от таковой при установке торцов стабилизаторов в одной плоскости. При этом основные особенности течения при эшелонированном расположении стабилизаторов состоят, во-первых, в определенном перераспределении расходов воздуха в межстабилизаторных и пристеночных каналах и, во-вторых, в наличии за решеткой стабилизаторов на некотором удалении от нее асимметричности течения, обратной той, которая имеет место в собственно решетке.

Установлено также, что количество стабилизаторов пламени в эшелонированных решетках существенно влияет на характеристики течения топлива и окислителя в стабилизаторных горелочных устройствах.

Список литературы

1. Баламаджи И.И. Компьютерное моделирование течения топлива и окислителя в горелочных устройствах с эшелонированным расположением стабилизаторов пламени / И.И. Баламаджи, Н.М. Фиалко, Н.О. Меранова // 9 міжнар. наук.-практ. конф. аспірантів, магістрантів і студентів [«Сучасні

проблеми наукового забезпечення енергетики»], (Київ, 18-22 квітня 2011р.): тези доповідей.– К., 2011. – С.127.

2. Моделирование структуры течения изотермического потока в эшелонированной решетке плоских стабилизаторов пламени/ Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Л.С. Бутовский[и др.] // Пром. теплотехника. – 2010. – №6. – С. 28–36.

3. Особенности смесеобразования при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени в микрофакельных горелочных устройствах / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, В.Г. Прокопов [и др.] // XXI междунар. конф. [«Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики»], (Ялта, 7-11 июня 2011 г.). – Киев, 2011. – С. 167–170.

4. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени / Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Л.С. Бутовский [и др.] // Пром. теплотехника. – 2011. – №2.– С. 59–64.

5. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей / [Б.В. Раушенбах, С.А. Белый, И.В. Беспалов и др.] – М.: Машиностроение, 1964. – 526 с.

Подано результати досліджень закономірностей течії палива та окислювача в мікрофакельних пальникових пристроях з ешелонуванням розташуванням стабілізаторів полум'я. Наведено дані математичного моделювання щодо виявлення впливу кількості стабілізаторів на картину течії в ешелонованих стабілізаторних решітках.

Математичне моделювання, ешелонування стабілізаторів полум'я, мікрофакельні пальникові пристрої, структура течії палива та окислювача.

The results of studies of regularities flow of fuel and oxidant in micro-flame burner devices with echelon arrangement of flame stabilizers are given. The mathematical modeling data to identify the effect of the amount of stabilizers on the flow pattern in the stabilizer echelon gratings are discussed.

Mathematical modeling, echeloning flame stabilizers, micro-flame burners, the structure of the flow of fuel and oxidant.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕЛЕКТРОДНОЇ СИСТЕМИ НА ЧАСТОТУ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ У КАМЕРІ ОБРОБКИ РІДИНИ

О.М. Берека, доктор технічних наук

Д.Ю. Ілюхін, аспірант*

Розглянуто діелектричну електродну систему в камері обробки води в сильному електричному полі. Наведено результати досліджень щодо залежності частоти часткових розрядів.

Сильне електричне поле, вода, озон, часткові розряди, дезінфекція.

Сучасний розвиток сільськогосподарського виробництва потребує застосування передових технологій, які здатні забезпечити максимальну економічність, автоматизацію процесів, високу культуру виробництва та її екологічну чистоту.

Як найважливіший складовий компонент вода використовується в с.-г. виробництві та переробній галузі. Тому, дослідження й розробка способів та засобів з електрофізичної обробки води з метою подальшого її використання в галузях с.-г. виробництва для підвищення продуктивності є актуальним питанням.

Пшениця, як й інші зернові культурні злаки, уражується багатьма хворобами, в результаті чого знижується урожайність та погіршується якість зерна. У процесі переробки зерна мінеральний пил та мікроорганізми переходять до готової продукції, що призводить до його підвищеної бактеріальності. Мука, крупа стають нестійкими при транспортуванні та зберіганні. Причому розвиток мікрофлори проходить настільки інтенсивно, що ці продукти стають непридатними ще при транспортуванні за бактеріальними показниками, що не дозволяє їх використовувати при виробництві продуктів харчування. Однією із самих розповсюджених бактерій для борошномельних і хлібопекарських підприємств є картопляна паличка.

В останні роки зерно перед помелом не миється, а тільки відволожується. Тому, при помолі зерна всі бактерії та гриби потрапляють до борошна. За сприятливих умов бактерії картопляної палички швидко розмножуються. Оптимальними умовами для розвитку спор є температура близько 40 °С, наявність вологи, пониженої кислотності. Її клітини не витримують нагрів до 80 °С, а спори залишаються життєздатними при 120 °С. Тому бактерії при випіканні хліба гинуть, а спори залишаються життєздатними. Для попередження потрапляння спор та бактерій в борошно та хлібопекарські вироби запропоновано внести в комплекс млина камеру для знезаражуючої обробки води під дією сильного електричного поля.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор, О.М. Берека

© О.М. Берека, Д.Ю. Ілюхін, 2014

Мета досліджень — вивчення впливу діелектричної електродної системи в камері обробки рідини на частоту часткових розрядів.

Матеріали та методика досліджень. Одним із перспективних напрямів розвитку електротехнологій є використання взаємодії сильних електричних полів із диспергированими матеріалами, які несуть електричний заряд.

У роботі запропоновано спосіб обробки води в сильних електричних полях [2, 3]. На розроблений спосіб електричної обробки рідин було отримано патент України на винахід №80722 [6]. При цьому виді обробки вода знаходиться під впливом електричного поля високої напруги та фізичних процесів, які супроводжують ці явища (утворення озону).

Взаємодія між атомами й міцність зв'язку між ними залежить від енергетичних рівнів, на яких знаходяться атоми, що вступають у з'єднання. Крім того, багато хімічних реакцій потребують для свого початку наявності відповідного запасу енергії у реагуючих частинок, так званої енергії активації цієї хімічної реакції. В газі, під впливом електричного поля високої напруги, якраз спостерігається наявність великої кількості частинок із великим запасом енергії: збуджених атомів і молекул, іонів, а також більш або менш швидких вільних електронів. В газі при електрофізичній обробці утворюються активні водень, азот, кисень і т.д. або атомарні гази H, N і O (тоді як у звичайному стані – молекули H_2 , N_2 і O_2), вільні радикали, двоатомні молекули і молекулярні з'єднання одноатомних за своєю природою і зовсім інертних за попередніми уявленнями газів: He_2 , Ne_2 , $HeHg$.

Проблема вивчення процесів у системі, яка складається з плоского металевого й електролітного електродів цікавить дослідників уже давно. Але ще недостатньо досліджено властивості отриманої після обробки води, і тим більше не розглядалися можливості використовувати цю воду в сільськогосподарському виробництві.

Для знезараження води основним фактором є озон, який під дією сильного електричного поля утворюється у повітряному проміжку між електродом та поверхнею води. Для збільшення концентрації озону потрібно збільшити частоту часткових розрядів у повітряному проміжку. Тому, була запропонована установка для обробки рідини і рідких продуктів, у конструкцію якої додатково внесена діелектрична електродна система, електроди якої є осередками виникнення додаткових часткових розрядів. Схема установки наведена на рис. 1.

Установка має регулятор напруги 1, який з'єднаний з первинною обмоткою високовольтного трансформатора 2. Його вторинні виводи приєднані до каскадного помножувача напруги 3, до вивода якого приєднаний верхній пластинчастий електрод 5, який розміщений у камері для обробки рідини 4, виготовленої з діелектричного матеріалу. В камері знаходиться діелектрична електродна система 7. Живлення установки відбувається від мережі змінного струму 50 Гц.

При проведенні досліджень використовували кіловольтметр С96, для аналізу розрядних процесів, які відбуваються у камері обробки – електронний осцилограф RIGOL DS1102E з полосою пропускання 100 МГц.

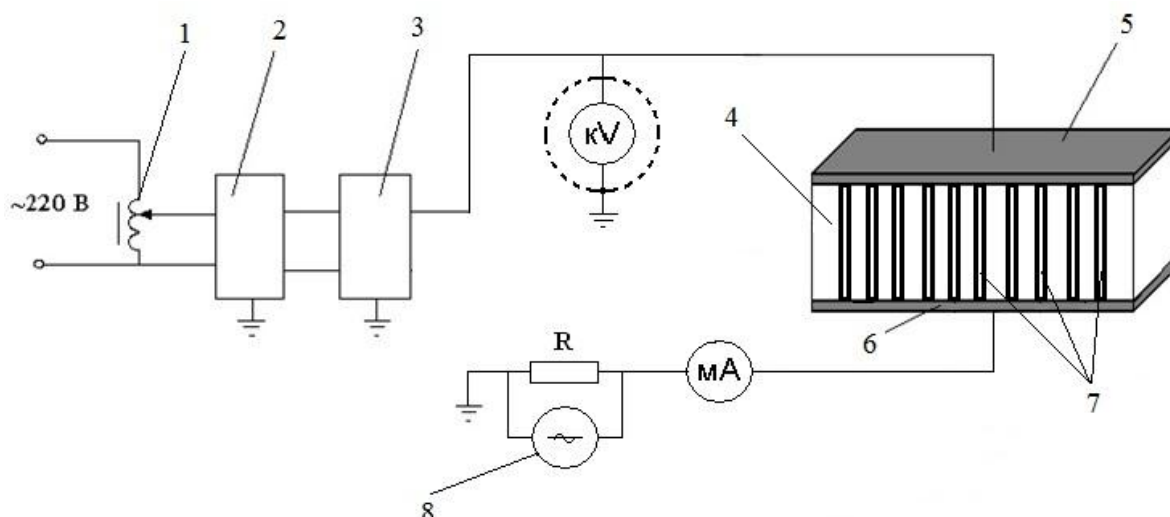


Рис. 1. Експериментальна установка для обробки рідин і рідких продуктів:

1 – регулятор напруги; 2 – високовольтний трансформатор; 3 – помножувач;
4 – камера обробки; 5 і 6 – відповідно верхній та нижній пластинчасті електроди камери обробки; 7 – діелектрична електродна система; 8 – осцилограф

Установка працює так. Вмикається регулятор напруги 1, автоматично вмикається високовольтний трансформатор 2 і каскадний помножувач напруги 3, після чого напруга подається на пластинчастий електрод 5. Рідина, яка обробляється, набирається до відповідного об'єму, а після обробки відводиться, між верхнім електродом та рідиною повинен бути повітряний шар відповідної товщини. В робочій камері 4 рідина буде постійно знаходитися під силовою дією електростатичного поля високої напруги, крім того, при відповідній напруженості електростатичного поля відбуваються імпульси струму в шарі рідини. Частота імпульсів регулюється підведеною напругою між електродами та товщиною шару рідини й проміжку повітря між рідиною та верхнім електродом.

Результати досліджень. При проведенні дослідних робіт у камеру для обробки рідини заливалася звичайна водопровідна вода. Товщина шару води дорівнювала 15 мм, а шару повітря 32 мм. Частота часткових розрядів вимірювалася електронним осцилографом з резистора, який послідовно ввімкнено в коло нульового проводу.

Запропонована діелектрична електродна система виготовлялась із пластикових циліндрів діаметром 6 мм і висотою 45 мм.

Як видно з рис. 2 введення в камеру діелектричної електродної системи дає можливість збільшити частоту часткових розрядів у багато разів.

Для дослідження залежності частоти часткових розрядів змінювалась кількість діелектричних електродів.

З аналізу досліджень видно, що зі збільшенням кількості діелектричних електродів частота часткових розрядів значно зростає (таблиця).

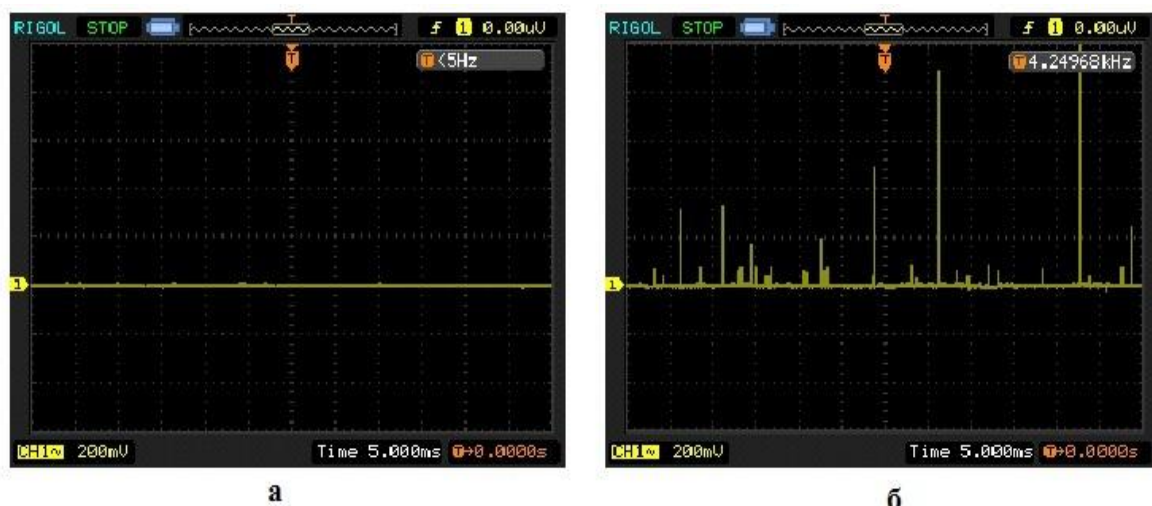


Рис. 2. Осцилограми часткових розрядів:
а – без діелектричної електродної системи; б – з діелектричною електродною системою

Параметри обробки води та частота розрядів у камері

Кількість діелектричних вставок, шт.	Напруга, кВ	Струм, мкА	Частота часткових розрядів, кГц
0	11	0	0
2	11	2	0,472
4	11	8	0,599
6	11	10	0,720
8	11	15	1,8
10	11	16	4,2

На рис. 3 наведено графічну залежність частоти часткових розрядів від кількості діелектричних вставок у електродній системі.



Рис. 3. Залежність частоти часткових розрядів від кількості діелектричних електродів

Висновки

У результаті досліджень встановлено, що діелектрична електродна система дає змогу значно підвищити частоту часткових розрядів у повітряному проміжку, що сприяє підвищенню концентрації озону. Зі збільшенням діелектричних вставок в електродній системі частота розрядів зростає.

Список літератури

1. Александров А.Б. Ионизация молекул воды в равномерном магнитном поле / А.Б. Александров, В.А. Харитонов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М.: Колос, 2004. – №11. – С. 10 – 11.
2. Вплив електростатичного поля високої напруги та іскрового розряду на оптичний коефіцієнт пропускання водопровідної води / О.М. Берека, Л.С. Червінський, Ю.М. Чикін, С.М. Усенко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – К.: НАУ, 2005. – № 3(12). – С. 62 – 68.
3. Дослідження впливу електростатичного поля високої напруги та іскрового розряду на рН і ОВП води / О.М. Берека, Л.С. Червінський, М.П. Салата, С.М. Усенко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – К.: НАУ, 2005. – № 4(13). – С. 61 – 66.
4. Дураджи В.Н. Об электрическом импульсном разряде между металлическим и электролитным электродами / В.Н. Дураджи // Электронная обработка материалов. – Кишинев: ИПФ, 2001. – № 3. – С. 22 – 26.
5. Магнитная обработка поливочной воды в овощеводстве / З.И. Грязнова, В.Н. Шмигель, Т.Н. Стернова, Д.В. Селиверстов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М.: Колос, 1999. – № 7. – С. 9 – 10.
6. Пат. № 80722 Україна, А23С 3/00, А23L 3/32, С02F 1/48. Спосіб електричної обробки рідин і рідких продуктів та пристрій для його здійснення / Берека О.М., Червінський Л.С., Салата М.П., Борщ Г.М. – № а200503599; заявл. 18.04.2005; опубл. 25.10.2007, Бюл. №17.
7. Рукшан Л.В. Влияние кислотности воды, используемой при холодном кондиционировании, на технологические свойства зерна / Л.В. Рукшан // Хранение и переработка зерна. – Днепропетровск, 2006. – №11(89). – С. 31 – 32.
8. Хацуков С. М. Исследование свойств электроактивированной воды / С.М. Хацуков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М.: Колос, 2003. – № 3. – С. 14 – 15.
9. Червінський Л. С. Оптичні технології в тваринництві. / Л.С. Червінський. – К.: Наук. думка, 2003. – 229 с.

Рассмотрена диэлектрическая электродная система в камере обработки воды в сильном электрическом поле. Приведены результаты исследований по зависимости частоты частичных разрядов.

Сильное электрическое поле, вода, озон, частичные разряды, дезинфекция.

Consider the dielectric electrode system in the water treatment chamber in a strong electric field, shows the results of studies on the dependence of the frequency of partial discharges.

A strong electric field, water, ozone, partial discharge, disinfection.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЭВОЛЮЦИИ МЕТОДОМ НЕРАВНОВЕСНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

Б.Х. Драганов, доктор технических наук

Приведены основные положения дуалистичности необратимых процессов устойчивости, неустойчивости, диффузии, самопроизводства. Дано определение диссипативных структур. Изложены принципы синергетики применительно к процессам эволюции. Рассмотрен вопрос математики биоэволюции. Изложена задача определения критериев устойчивости эволюции.

Биоэволюция, диссипативная структура, спонтанные флуктуации, структурная неустойчивость, синергетическая система, энтропия, математика, биофизика, критерий устойчивости биосистем.

Цель исследований – изложение метода изучения биоэволюционных явлений, а также способа оценки устойчивости диссипативных структур.

Материалы и методика исследований. В химической физике, термодинамике, биологии наблюдаются общие закономерности, которые характеризуют протекающие явления. В этом отношении существенными являются вопросы устойчивости (неустойчивости) исследуемых систем, диссипативности, диффузии, производства энтропии и т.п. Поэтому при исследовании биоэволюционных явлений обращаются к методам, используемых в указанных выше отраслях науки.

Одно из наиболее глубоких следствий неравновесной термодинамики проявляется в дуалистичности необратимого процесса: как разрушителя порядка вблизи равновесия и как создателя порядка вдали от равновесия. Для систем, далеких от равновесия, не выполняются общие экстремальные принципы, предсказывающие состояния, к которым переходят системы. В отсутствие принципа экстремумов, однозначно предсказывающего состояние, к которому стремится неравновесная система, заключается фундаментальное свойство неравновесных систем. В отличие от равновесных систем, которые переходят в состояние с минимальной свободной энергией, неравновесные системы могут развиваться непредсказуемо: их состояние не всегда однозначно определяется макроскопическими уравнениями. Это происходит от того, что при одном и том же наборе условий неравновесная система может переходить к разным состояниям. Причиной тому могут быть флуктуации, малые неоднородности, дефекты или другие случайные факторы. К какому состоянию перейдет конкретная система, в общем случае предсказать невозможно. Новые состояния, достигаемые таким образом,

являются часто «упорядоченными состояниями», которые обладают пространственно- временной организацией. Фундаментальное свойство неравновесных систем проявляется в способности переходить в упорядоченное состояние в результате флуктуаций – т. е. осуществлять «порядок через флуктуации» [7, 13].

Методы исследования устойчивости диссипативных структур развития в работе [4] на примере образования страт в плазме. При этом используется метод Ляпунова [5], т.е. определяется временная зависимость малых отклонений от стационарных решений.

В неравновесных системах результатом химических реакций и диффузии могут быть колебания концентраций и пространственных структур; в закрытой же системе те же диссипативные процессы размывают неоднородности и приводят систему к однородному, независящему от времени равновесному состоянию. Поскольку возникновение и поддержание организованных неравновесных состояний обусловлено диссипативными процессами, эти состояния называются диссипативными структурами [14].

Концепция диссипативных структур и порядка через флуктуации учитывает основные свойства неравновесного порядка.

Первая модель диссипативной структуры, посвященная вопросу спонтанного образования диссипативных структур, была предложена Тьюрингом [16]. В этой работе в общем виде были получены условия, при которых нарушается устойчивость к возмущениям. Дальнейшее развитие модели Тьюринга получило в работах [2, 11].

Теория диссипативных структур, зародившись в биологии, нашла применение в физике и химии. Неоднородные спонтанно возникающие структуры были обнаружены и исследованы в химических реакциях, сверхпроводниках, плазме и т.д. Во многих процессах, протекающих в термодинамически неравновесных условиях и сопровождающихся диссипацией энергии, возникают диссипативные структуры. Диссипативные структуры вошли как существенная часть нового научного направления – синергетика.

Синергетика занимается изучением систем, состоящих из подсистем различной природы (клетки, механические, энергетические органы, биологические и др.). Взаимодействие таких подсистем приводит к возникновению пространственных, временных или пространственно-временных структур в макроскопических масштабах. При этом, особое внимание уделяется ситуациям, когда структуры возникают в результате самоорганизации [14].

Синергетические процессы проявляются в мышечном сокращении, приводящим к всевозможным движениям, электрических колебаниях в коре головного мозга, образования заряда электрических рыб, распознавании образов, речи и т.д.

К отличительным синергетическим системам относится стохастичность. Временная эволюция синергетических систем зависит от причин, не предсказуемых с абсолютной точностью. Эти причины можно

учесть, если ввести так называемые флуктуирующие силы $f(t)$, которые в простейшем случае записываются следующим образом [9]:

$$\frac{dq}{dt} = \alpha q + f(t), \quad (1)$$

где q – переменная, изменяющаяся со временем (переменной может быть число клеток в ткани, число молекул или координата частицы); α – управляющий параметр; $f(t)$ – функция, характеризующая интенсивность флуктуации по времени. Во всех случаях q – функция пространства и времени.

В гетерогенных системах вследствие неодинаковой концентрации компонентов происходят диффузионные процессы. Диффузия приводит к равномерному распределению вещества в системе, но, когда она связана с автокаталитической химической реакцией в неравновесных условиях, возникают неоднородности, т. е. пространственные структуры. Для образования таких структур коэффициенты диффузии реагентов должны различаться. Если коэффициенты диффузии почти равны, то диффузия не вызывает неустойчивость; диффузия только выравнивает существующую неоднородность. Если один компонент диффундирует быстрее другого, концентрация другого компонента уменьшается в малой области. Если это происходит, то однородное состояние переходит в неустойчивое, и неоднородности начинают расти.

Неустойчивости приводят к организованным состояниям. Эти неустойчивости появлялись в заданной системе химических реакций. В неравновесных химических системах также может проявляться неустойчивость из-за введения в эти системы новых химических компонентов, которые вызывают новые реакции; эти новые реакции могут дестабилизировать систему и привести ее в новое состояние организации. В этом случае совокупность химических реакций сама является объектом изменений. Каждый новый компонент влияет на кинетику реакций, и это может радикально изменить состояние системы, т. е. из-за введения новых химических компонентов система может стать неустойчивой и перейти в новое состояние.

Этот тип структурной неустойчивости проще всего может быть обнаружен в эволюции «самовоспроизводящихся» полимерных молекул с постоянным притоком мономеров. Каждая новая структурная неустойчивость в общем случае увеличивает диссипацию или производство энтропии в системе. Структурная неустойчивость может постепенно приводить неравновесные системы к состояниям с более высокими производством энтропии и порядком.

Во многих реакциях может происходить кооперативное взаимодействие нескольких реагентов на одном ферменте, особенно если он обладает несколькими активными участками; одни из таких участков каталитические, другие регуляторные. Когда специальные молекулы-эффекторы присоединяются к регуляторным участкам,

каталитическая функция фермента существенно изменяется. В некоторых случаях молекулы, вступающие в реакцию или продуцируемые каталитическим участком, могут действовать и как молекулы-эффекторы. Они включают – выключают петлю обратной связи [17].

Самоорганизация на разных этапах эволюции может происходить двумя разными путями. На первом увеличивается разнообразие возможных режимов и свойств системы. Это – дивергентный этап, он необходим для поиска новых возможностей существования. На втором – разнообразие свойств уменьшается, но система (или ее элементы) совершенствуется, т. е. наилучшим образом приспосабливается к данным условиям. Этому соответствуют конвергентные стадии эволюции и процессы адаптации в их классическом понимании. Эти два типа самоорганизации чередуются в развитии жизни и любого живого объекта, каждый из них подготавливает условия для другого.

Отметим, что различные квазистохастические процессы сопровождают развитие системы на всех этапах эволюции. Однако в дивергентной стадии они могут способствовать появлению разнообразия и, следовательно, убыстрять эволюцию, а на конвергентной, напротив, могут создавать нежелательные помехи.

Результаты исследований. Критерии устойчивости и эволюции следуют из общих положений неравновесной термодинамики.

Предположим, что в исходном состоянии имеется совокупность взаимодействующих полимеров $X_i (i = 1, \dots, n)$, каждый из которых присутствует в достаточно большом количестве. Временная эволюция такой системы описывается следующими динамическими уравнениями:

$$\frac{dX_i}{dt} = F_i^e + F_i(\{X_j\}) \quad (i = 1, \dots, n), \quad (2)$$

где F_i^e – член, описывающий источник, связанный с внешней средой (например, мономерами), а функция $\tilde{F}_i$ описывает химические процессы внутри системы. Предполагается, что в системе поддерживается пространственная однородность и существует по крайней мере одно асимптотически устойчивое стационарное (или периодическое) решение уравнений. Это означает, что все флуктуации концентраций δX_i затухают во времени, т. е. что все n корней ω_i характеристического уравнения имеют отрицательные действительные части.

Помимо флуктуации концентраций в системе могут происходить флуктуации иного типа, стремящиеся изменить усредненные (детерминистические) законы эволюции. Например, может внезапно появиться отсутствовавшая ранее «мутантная», или «ошибочная», копия некоторого полимера. Вследствие этого может возникнуть новый путь реакции даже в том случае, когда мутант присутствует в ничтожно малом количестве. Таким образом, в результате появления мутантных полимеров важным может оказаться даже малый параметр, который в макроскопической эволюции обычно несуществен.

Спонтанная флуктуация, или мутация, не может быть учтена заранее в детерминистическом уравнении, которое получено в результате статистического усреднения по большому числу элементов. Скорее такая мутация обусловлена каким-то стохастическим процессом.

На ранних стадиях отклонения от стандартного состояния в системе происходит увеличение интенсивности дисперсии, выражаемой производством энтропии.

Связь между энтропией и информацией является актуальной, поскольку оказывается связанной с конкретными вопросами: какова энтропийная и энергетическая плата за информацию и т.п.

Эти вопросы приобретают особую остроту в связи с биологической спецификой. Во-первых, информационные системы в живой природе обладают малыми (микроскопическими) размерами. Во-вторых, они функционируют при нормальной температуре, т.е. в условиях, когда тепловые флуктуации не пренебрежимо малы. В-третьих, в биологии особую важность приобретает запоминание и хранение информации [12].

Количеством информации называют величину

$$I = \log(N/n), \quad (3)$$

где N – полное число возможных вариантов; n – число выбранных вариантов. Количество информации отлично от нуля, если известно, что по каким-либо причинам из N априорных вариантов реализовался один из n вариантов (но неизвестно какой именно). Это количество максимально, если $n = 1$, т.е. известно, что реализовался (выбран) один определенный вариант. Величина $I = 0$, если $n = N$, т.е. ничего не известно.

Число устойчивых стационарных состояний N определяет информационную емкость, т.е. максимальное количество информации, которое система может рецептировать:

$$I_{max} = \log N. \quad (4)$$

Система должна быть диссипативной, т.е. вещественные части всех характеристических чисел стационарных состояний отрицательны. Это является необходимым условием запоминания информации.

Информация, записанная в ДНК, может иметь положительную, отрицательную или нулевую ценность. Если цель ясна, то можно отличить информацию, имеющую ценность, от «лишней» информации I_0 . Отношение количества ценной информации I_c к полному можно назвать коэффициентом эффективности η :

$$\eta = \frac{I_c}{(I_c + I_0)}. \quad (5)$$

Этот коэффициент может быть полезным для понимания характера и смысла событий, происходивших в эволюции. Он помогает также выяснить иерархию и структуру информационных систем в современных живых объектах. В разных конкретных ситуациях преследуются разные

цели: информация, ценная для одной из них, не является таковой для других. Кроме того, передача генетической информации от ДНК к белку и реализация ее в эволюции – процесс многоступенчатый. На каждом этапе часть информации теряется и эффективность, а также ценность оставшейся изменяются [3].

Одним из самых важных понятий в термодинамике является энтропия. Обычно энтропия определяется как логарифм статистического веса. Статистический вес – число доступных микроскопически различных состояний, в которых реализуется данное макроскопическое состояние [6].

Уменьшение энтропии в фазе отбора кода означает увеличение информации. Оно происходит из-за неустойчивости симметричного состояния. Именно благодаря неустойчивости случайные отклонения приводят к большому эффекту.

В линейном режиме производство энтропии в системе, подверженной потоку энергии и вещества, $d_i S/dt = \int \sigma dV$, в неравновесном стационарном состоянии достигает минимального значения, где σ – удельное производство энтропии, V – объем.

Такой общий критерий был найден Рэлеем, который предложил «принцип наименьшей диссипации энергии». Ларс Онсагер в своей хорошо известной работе о соотношениях взаимности исследовал этот принцип и предположил, что «скорость увеличения энтропии играет роль потенциала» [15]. Общая формулировка и демонстрация важного значения этого принципа принадлежат Пригожину [6].

В процессе развития биообъекта или этого вида наименьшей возможный уровень производства энтропии в организме, совместный с имеющимися внешними устройствами, может быть достигнут лишь после того, как будут синтезированы все основные вещества, необходимые для выживания, для чего, естественно, потребуется новый расход энергии. Очевидно, что низкий уровень диссипации дает организму определенное преимущество при отборе. В качестве движущей силы эволюции следует рассматривать энергетическую диссипацию [8].

Главное направление предбиологической эволюции заключается в том, чтобы на ранних стадиях развития система стремилась к состоянию с наибольшей устойчивостью по отношению к ошибкам, или флуктуациям. Отметим, что поиск оптимальной устойчивости соответствует дарвиновскому принципу «выживания наиболее приспособленных».

Рассмотрим задачу математической биофизики.

Допустим, что появилась возможность образования значительного количества полимеров, при том имеется возможность образования из i -го ряда веществ j ($i \neq j = 1, \dots, n$).

Отметим, что в процессе самокопирования компонента k точные копии образуются со скоростью $A_k Q_k X_k$, а неточные копии, соответствующие $j \neq k$, - со скоростью $A_k (1 - Q_k) X_k$. Таким образом [8]:

$$\sum_i A_i (1 - Q_i) X_i = \sum_{i \neq j} \phi_{ij} X_j. \quad (6)$$

Теперь следует уточнить внешние условия. Кроме условия неравновесности, связанного с поступлением в систему мономеров, необходимо ввести условие, которое соответствовало бы процессу селекции, или отбора. Одно из таких условий, предложенных Эйгеном [10], выражается законом сохранения вида

$$\sum_i X_i = \text{const}. \quad (7)$$

Соответствие этого условия процессу отбора следует из того факта, что повышение концентрации одного из компонентов системы вызывает снижение концентраций остальных веществ.

Проводя суммирование по i и учитывая соотношения (7) и (8), можно показать, что коэффициенты $A_i D_i$ и ϕ_{0i} должны удовлетворять следующему условию:

$$\sum_i (A_i - D_i) X_i = \sum_i \phi_{0i} X_i, \quad (8)$$

согласно которому либо вместо израсходованного реагента подаются новые его количества, либо должным образом подбирается скорость разбавления. Например, считая все коэффициенты ϕ_{0i} одинаковыми, имеем

$$\phi_{0k} = \phi_0 = \frac{\sum_i (A_i - D_i) X_i}{\sum_i X_i}. \quad (9)$$

В формулах (6) – (9) приняты обозначения: A_i и D_i – скорость самокопирования вещества i и скорость его разложения соответственно. Коэффициент Q_i характеризует степень завершенности процесса копирования, т.е. долю точно воспроизводящихся молекул i ; очевидно, что $0 \leq Q_i \leq 1$. Коэффициенты ϕ_{0i} соответствуют скорости разбавления концентрации i и учитывают то обстоятельство, что по мере роста системы относительное содержание данного полимера в реакционном объеме постоянно изменяется. Наконец, коэффициенты ϕ_{ij} описывают скорость спонтанного производства компонента i вследствие ошибок при копировании компонента j .

Список литературы

1. Базаров И. П. Термодинамика: учеб. для вузов / И.П. Базаров. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Высш. шк., 1991.— 376 с.
2. Белоусов Л. В. Неустойчивость и устойчивость в биологическом морфогенезе / Л.В. Белоусов, Д.С. Чернавский // Онтогенез. –1977. – Т.8, № 2. –С. 99–114.
3. Волькенштейн М.В. Физика и биология. Серия «Наука и технический прогресс» / М.В. Волькенштейн. – М.: Наука, 1980. – 152 с.

4. Кернер Б.С. Стохастические неоднородные структуры в неравновесных системах / Б.С. Кернер, В.В. Осипов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1989. – Т.79, №6(12). – С. 2218 – 2238.
5. Ляпунов А.М. Собр. соч. Т.2 / А.М. Ляпунов. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 475 с.
6. Пригожин И.М. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И.Пригожин, Д. Кондепуди. – М.: Мир, 2002.– 461 с.
7. Пригожин И.Р. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации / И.Р. Пригожин, П. Глендорф. – М.: Мир, 1973. – 468 с.
8. Романовский Ю.М. Математическая биофизика / Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. – М.: Наука, 1984. – 304 с.
9. Хакен Г. Синергетика. Иерархии устойчивости в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен; пер. с англ. – М.: Мир, 1985.– 423 с.
10. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул / М. Эйген. – М.: Мир, 1973. – 214 с.
11. Chernavski D. Dissipative structures in morphogenetic models of the turing type/ Theor. Biol., 1978, V. 73.– P. 585-607.
12. Onsager L. Reciprocal Relations in Irreversible Processes / Phys. Rev. 37. – P. 405-426. – Published 15 February 1931.
13. Prigogine I. From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1980.
14. Prigogine I; Nicolis G. Self-Organization in Non-Equilibrium Systems. – N.Y.: Wiley, 1977. (Русский перевод: Пригожин И., Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир. – 1979).
15. Rayleigh L. Proc. R. Soc. Lond., 1873. – P. 357-363.
16. Turing A.M. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, Vol. 237, № 641. – 1952. – P. 37-72.
17. Tyson J. Lectures in Mathematics in the Life-Sciences.– Vol.7.– American Mathematical Society, 1975.

Наведено основні положення дуалісності необоротних процесів стійкості, нестійкості, дифузії, самовиробництва. Дано визначення дисипативних структур. Викладено принципи синергетики відповідно до процесів еволюції. Розглянуто питання математики біоеволюції. Викладено завдання визначення критеріїв стійкості еволюції.

Біоеволюція, дисипативна структура, спонтанні флуктуації, структурна нестійкість, синергетична система, ентропія, математика, біофізика, критерій стійкості біосистем.

The main provisions of dualist irreversible stability, instability, diffusion, self-production. Given the definition of dissipative structures. The principles of synergy in relation to the processes of evolution. The question of bio-evolution of mathematics. Stated the problem of determining the stability criteria of evolution.

Bio-evolution, dissipative structure, spontaneous fluctuations, structural instability, synergetic system, entropy, mathematics, biophysics, biosystems stability criterion.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ СЕРІЙНИХ КОНТАКТІВ

В.В. Козирський, доктор технічних наук

І.П. Радько, кандидат технічних наук

Проведено металографічний та рентгеноструктурний аналіз робочих поверхонь серійних контактів після випробування їх на електроерозійну стійкість. Встановлено функціональні залежності впливу сили струму, характеру навантаження, параметрів навколишнього середовища, фізико-механічних властивостей матеріалу на процеси руйнування робочих поверхонь контактів.

Напилення, плазмотрон, електричний апарат, пускач, вимикач, контактор, контакт-деталь.

Мета досліджень – розроблення наукових принципів дослідження робочої поверхні контактів методом металографічного та рентгеноспектрального аналізу структури робочих поверхонь композиційних контактних матеріалів.

Матеріали та методика досліджень. Поглиблене вивчення фізичних процесів, які відбуваються на робочій поверхні контактів у процесі експлуатації, створює передумови для подальшої боротьби з електричною ерозією, яка є однією з основних причин руйнування електричних контактів.

Мікроструктура – це один із головних факторів, що впливає на властивості електричного контакту.

Вона залежить від технології виробництва, властивостей вихідних матеріалів, конструктивних особливостей апарата, енергії електричної дуги, складу навколишнього середовища [2,4,5].

Результати досліджень. На рис. 1 наведено вихідну мікроструктуру контактного матеріалу типу СрН-10 електромагнітного пускача ПМЛ-1100А після 1×10^5 комутацій.

По мірі наближення до робочої поверхні розміри зерен срібної та нікелевої фази збільшуються внаслідок термічної дії дуги. Робоча поверхня збіднена срібною складовою, яка випарувалась, оскільки температура випаровування срібла (2210°C) значно нижча температури випаровування нікелю (2730°C) (див. рис. 1).

На робочій поверхні з'являються невеликі пори й раковини, де було срібло й скупчення зерен тугоплавкої складової нікелю.

Глибина шару, в якому відбуваються мікроструктурні зміни, досягає 0,05–0,08 мм. Нікель безпосередньо на контактній поверхні й на глибині до 0,05 мм окислюється.

Під час роботи електричного контакту відбувається плавлення та інтенсивне випаровування легкоплавкої складової – срібла з робочої поверхні катода, внаслідок чого формується дискретна, бугриста поверхня (рис. 2), ступінь шорсткості якої залежить від сили струму та числа комутацій. На ерозійній поверхні з'явилися крупні виступи, у поглибленнях структури розташовані світлі включення, які за даними рентгеноспектрального аналізу являють собою чисте срібло [3]. Хімічний аналіз приповерхневого шару показав, що кількість нікелю на робочій поверхні значно збільшується (від 10 до 20–25 %), що свідчить про першочерговість випаровувань срібла з поверхні контакту в процесі комутації електричного струму.

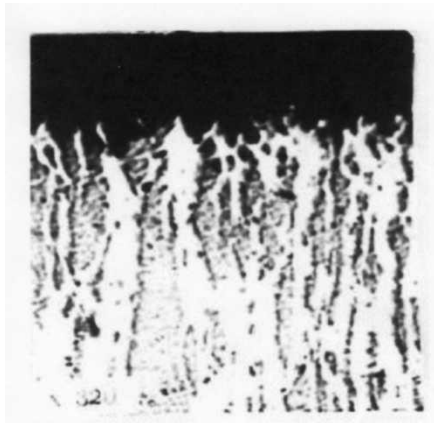


Рис.1. Мікроструктура рухомого контакту із матеріалу SrH-10 електромагнітного пускача ПМЛ-1100А після 1×10^5 комутацій (збільшено $\times 320$)

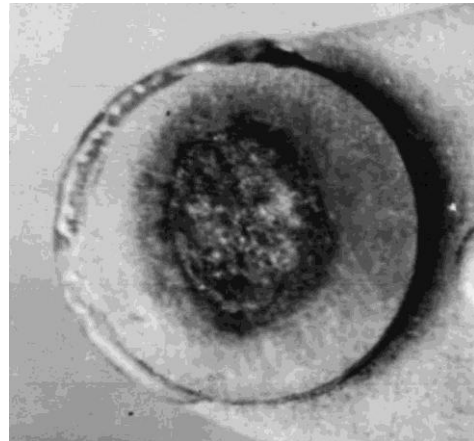
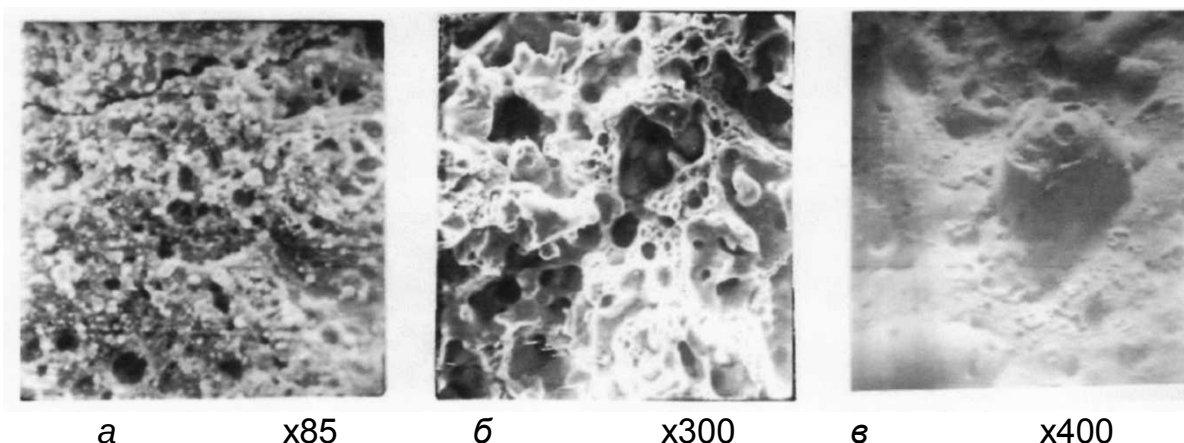


Рис.2. Зовнішній вигляд рухомого контакту з матеріалу SrH-10 електромагнітного пускача ПМЛ-1100А після 1×10^5 комутацій (збільшено $\times 13$)

Детальне дослідження робочої поверхні контактів дозволило встановити, що внаслідок дії дуги плавиться не тільки легкоплавка композиція – срібло, але також і зерна нікелю (рис. 3, а), що підтверджується наявністю характерних ступенів затвердіння по краях нікелевих зерен (рис.3, б). Загуслі зерна нікелю мають форму конуса, що є типовими для мостикового переносу (рис. 3, в).

На вершинах деяких нікелевих зерен утворюються ділянки в'язкого відриву, що свідчить про руйнування матеріалу після злипання контактів.



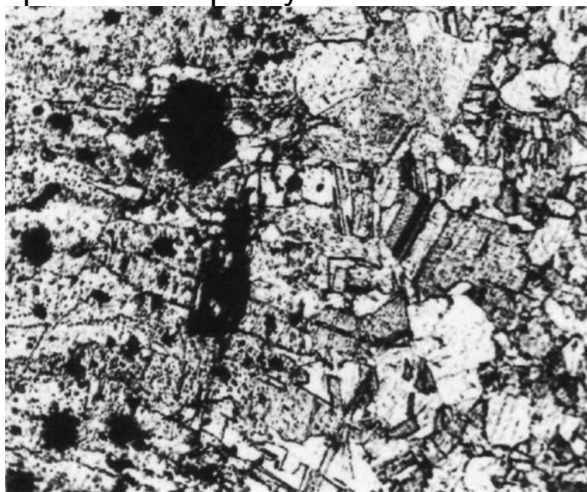
**Рис.3. Електронно-мікроскопічні знімки поверхні контактів
СрН-10 після 1×10^5 комутацій**

Отримані результати дають змогу стверджувати, що контактування в останній момент здійснюється по точках тугоплавкої складової, яка й визначає придатність матеріалу до зварювання.

Найнижчу електроерозійну стійкість мають контакти з матеріалу СрМ-0,2 [2], хімічний склад якого відповідає: Cu - 0,1-0,5%; Ni - 0,005-0,2%, Ag – решта [1].

При комутації струму 4; 6,3; 10 А контактами із цього матеріалу спостерігається обгоряння та оплавлення робочих поверхонь контактів.

Металографічний аналіз показав, що в процесі роботи мікроструктура поверхневих шарів суттєво змінюється.



**Рис. 4 Мікроструктура контакту із матеріалу СрМ-0,2 після 1×10^5
комутацій (збільшено x200)**

Із рис. 4 видно, що при комутації струму матеріал, який переноситься на нерухомий контакт, нагрівається до температури кипіння, частково переноситься на поверхню більш холодного нерухомого контакту, а решта осідає знову на поверхню рухомого, утворюючи порожнини (на рис.4 чорні кратери) і стовпчасті зерна, перпендикулярні до робочої поверхні контакту.

Мікроструктура нерухомого й рухомого контактів різна за своєю будовою. Поверхня анода (рис.5, 6) покрита дрібними зернами парів металу катода, які кристалізувалися при гасінні електричного розряду [5].

Також на поверхні, де осіли пари металів, можна бачити збільшені зерна срібла, що утворилися внаслідок рекристалізації під дією температури парів металу.

При комутації постійного струму відбувається направлений перенос матеріалу з рухомого контакту на нерухомий. Внаслідок цього на катоді утворюється кратер, а на аноді – виступ.



Рис.5. Мікроструктура анода контакту з матеріалу SrM-0,2 після 1×10^5 комутацій (збільшено $\times 200$)

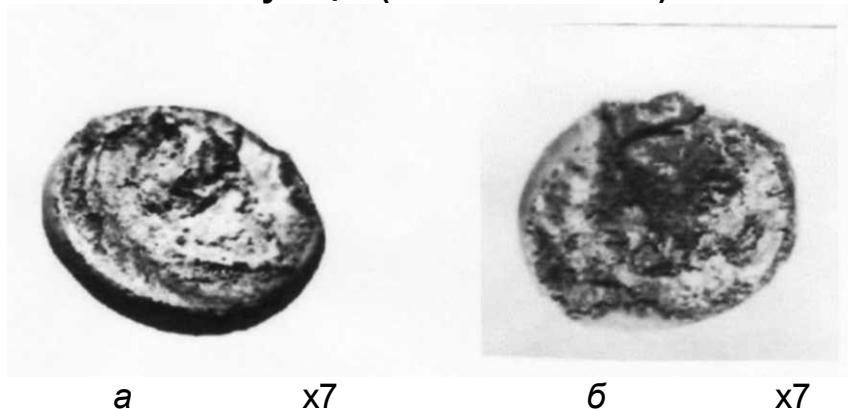


Рис.6. Зовнішній вигляд контактів із матеріалу SrM-0,2 електромагнітного пускача ПМЛ-1100В після 1×10^5 комутацій ($I=6,3A$): а – анод; б – катод

Висновки

1. Визначено структурну схему керування кінетикою утворення фізико-механічних властивостей, відновлення зношених поверхонь контакт-деталей електричних апаратів. Частинки матеріалу розподіляються по діаметру круга, а товщина покриття визначається згідно з розподілом Гауса.

2. Встановлено функціональні залежності впливу сили струму, характеру навантаження, параметрів навколишнього середовища, фізико-

механічних властивостей матеріалу (температура плавлення, твердість тощо) на процеси руйнування робочих поверхонь контактів та показники надійності контактування.

Список літератури

1. Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Допустимые температуры нагрева частей аппаратов: ГОСТ 403-73. – [Введен с 1974-01-01]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 4 с.
2. Буткевич Г.В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей / Г.В. Буткевич. – М.: Энергия, 1973. – 172 с.
3. Намитков К.К. Испытания аппаратов низкого напряжения / К.К. Намитков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
4. Л.И. Тушинский.. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 196 с.
5. Экспериментальные и теоретические исследования по созданию нового поколения магнитных пускателей на токи до 160 А. – Чебоксары, 1989. – 115 с.

Проведен металлографический и рентгеноструктурный анализ рабочих поверхностей серийных контактов после испытания их на электроэрозионную устойчивость. Установлены функциональные зависимости влияния силы тока, характера нагрузки, параметров окружающей среды, физико-механических свойств материала на процессы разрушения рабочих поверхностей контактов.

Напыление, плазмотрон, электрический аппарат, пускатель, выключатель, контактор, контакт-деталь.

The metallographic and x-ray diffraction work surfaces serial contacts after testing them on EDM stability are conducted. The functional dependence of the impact strength of the current load characteristics, environmental parameters, the physical and mechanical properties of the material on the working surfaces of contact failure are installed.

Sputtering, plasma torch, electrical apparatus, switch, contactor, the contact item.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОЦЕССЕ КРИОКОНСЕРВАЦИИ

*Н.П.Кунденко, доктор технических наук
А.Н. Кунденко, студент магистратуры
Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. П. Василенко*

Определены параметры воздействия акустических колебаний на эмбрионы с целью повышения их устойчивости к низким температурам и повышения жизнеспособности полученного потомства крупного рогатого скота.

Кювета, акустические колебания, температура, жизнеспособность.

Основными факторами, влияющими на степень повреждения структуры биологических объектов, являются: величина кристаллов льда, продолжительность пребывания клеток в гипертонических средах, внутриклеточная кристаллизация, обезвоживание клеток, рекристаллизация, агрегация и денатурация клеточных белков [4, 5]. В результате влияния всех этих факторов в клетках возникают первичные криоповреждения, такие, как изменение формы, объёма, нарушение целостности мембраны, изменение конформации макромолекул и др. Такие первичные криоповреждения могут стать причиной вторичных повреждений, развивающихся в клетках в различное время после размораживания.

В этой связи важной проблемой является всестороннее изучение возможностей увеличения криорезистивности биологических объектов и поиск способов дополнительной криозащиты их структур

Цель исследований – определение параметров низкоинтенсивных акустических колебаний для воздействия на микрообъекты крупного рогатого скота (КРС) перед их криоконсервацией, которые обеспечивали бы устойчивость микрообъектов к низким температурам и повышали их оплодотворяемость после размораживания.

Материалы и методика исследований. Для повышения устойчивости спермиев к температурному шоку в качестве криозащитного вещества в сперму добавляют желток куриного яйца. Желток куриного яйца содержит лецитин и липопroteины. Они создают на поверхности спермиев адсорбирующий слой, предохраняющий спермий от холодового шока, который действует на жизнедеятельность спермиев до температуры -51°C , т. е. пока в сперме сохраняется жидкая фаза. Для защиты спермиев от холодового удара применяют лактозо-желточную

среду следующего состава: вода дистиллированная – 100 мл; лактоза – 11,5 г; желток куриного яйца – 20 мл; глицерин – 5 мл.

Для определения концентрации спермиев был применен фото-электроколориметрический метод с использованием фотоэлектроколориметра ФЭК-Н.

Принцип работы этого прибора основан на том, что через кювету со спермой пропускают пучок световых лучей определенной силы, который затем попадает на селеновый фотоэлемент, соединенный с гальванометром. Через гальванометр проходит электрический ток, величина которого обратно пропорциональна мутности (оптической плотности) спермы, т.е. концентрации спермиев.

Для проведения исследования приготавливают 3,5 %-ный раствор лимоннокислого натрия на дистиллированной воде, фильтруют его через бумажный фильтр и разливают в хорошо вымытые и просушенные флаконы из-под пенициллина по 9,9 мл в каждый флакон. Микропипеткой набирают точно 0,1 мл исследуемой спермы и смешивают ее с раствором лимоннокислого натрия в одном из флаконов, разбавляя таким образом сперму в 100 раз.

Для контроля и оценки степени влияния акустических колебаний на жизнедеятельность спермиев до замораживания и после размораживания была использована оптико-электронная система [3].

В состав оптико-электронной системы входят следующие элементы и блоки: микроскоп Р-11; термостатирующий столик; ПЗС матрица типа К 1200 ЦМ7 (число ячеек 260х380); блок сопряжения и синхронизации; телекамера КТ-5; персональный компьютер (процессор Inter Core 2 Duo E6550); видеокарта NVIDIA GeForce 8800GT; винчестер Seagate ST325 256 Gb; материнская плата Asus P5k; накопитель со сменным носителем ASUS DRW-1612BL; монитор 172Т; операционная система Windows XP SP3.

Значения оптимальных параметров низкоинтенсивных акустических колебаний (частота, мощность, экспозиция) для воздействия на гранулы с микрообъектами животных перед их криоконсервацией, были определены на основе многофакторного эксперимента, в котором в качестве отклика облученных спермиев была взята величина сдвига резонансной частоты измерительного резонатора с микрообъектами животных в гранулах (диаметр 5 мм, высота 3 мм) относительно резонансной частоты (74,280 ГГц) опорного резонатора.

В эксперименте был использован источник акустических колебаний SMB-17CC с техническими характеристиками: диапазон частот 0,325 кГц – 2,250 кГц; диапазон изменения мощности 50дБ – 80 дБ; величина источника питания 1,5 – 15 В; величина тока питания 0,2 – 1,4 мА.

После проведения измерений и расчетов получено уравнение регрессии:

$$Y = 9,3 + 4,6x_1 + 2,5x_2 + 2,24x_3 + 4,4x_1x_2 + 5,4x_1x_3 + 2,4x_2x_3 + 4,4x_1^2 + 0,9x_2^2 + 3,4x_3^2, \quad (1)$$

где Y – разность частот между измерительным и опорным резонаторами, Гц; x_1 – частота акустических колебаний, Гц; x_2 –

мощность акустических колебаний, Вт; x_3 – время облучения микрообъектов животных, с.

Проверка значимости коэффициентов регрессии проводилась при уровне значимости $\alpha = 0,01$ по критерию Стьюдента [1, 2]. Все коэффициенты в уравнении (1) оказались значимыми.

На основании проверки данного уравнения на адекватности по критерию Фишера [1] сделан вывод, что уравнение описывает реальный процесс, и, следовательно, позволяет оценить характер влияния каждого из 3 факторов на функцию отклика. Кроме того, стало возможным практическое использование полученной модели для прогнозирования значения выходного сигнала области варьирования параметров x_i . Для нахождения оптимальных параметров процесса решена система уравнений, полученных приравниванием к нулю значений градиентов компонентов, вычисленных из выражения:

$$\frac{\partial Y}{\partial x_i} = b_i + 2b_{ii}x_i + \sum_{j=1}^n b_{ij}x_j = 0 \quad (2)$$

где x_i, x_j – кодированное значение фактора, по которому берется производная, и взаимодействующего с ним, соответственно; b_i, b_{ii}, b_{ij} – коэффициенты уравнения регрессии.

Для уравнения (1) после дифференцирования была получена система уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \hat{y}}{\partial \tilde{x}_1} = 4,64 + 4,4 \tilde{x}_2 + 5,4 \tilde{x}_3 + 8,8 \tilde{x}_1 = 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial \tilde{x}_2} = 2,5 + 4,4 \tilde{x}_1 + 2,4 \tilde{x}_3 + 1,8 \tilde{x}_2 = 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial \tilde{x}_3} = 2,24 + 5,4 \tilde{x}_1 + 2,4 \tilde{x}_2 + 6,8 \tilde{x}_3 = 0. \end{array} \right. \quad (3)$$

В результате решения системы уравнений (3) были получены следующие значения фактора в экстремальной точке $x_1 = -0.8$; $x_2 = 0.3$; $x_3 = 0.2$, что соответствует таким значениям натуральных параметров: частота акустических колебаний 1 кГц, мощность 1,03 мкВт; время воздействия на микрообъекты животных 320 с.

В лабораторном эксперименте использовали гранулы с 6 млн спермиев, которые подвергались до криоконсервации воздействию акустических колебаний с параметрами: частота 1 кГц; мощность 1 мкВт; экспозиция 320 с. В контроле гранулы со спермиями акустическими колебаниями не обрабатывались. После криообработки и оттаивания гранул проводили исследования на оптико-электронной системе по определению живых спермиев.

Результаты исследований. Результаты измерений (таблица) показали, что обработка гранул со спермиями акустическими колебаниями приводит к увеличению толщины защитного слоя на плазматической мембране и устойчивости спермиев к низким температурам. Процент выхода живых спермиев в опыте составил около 80 %, а в контроле – всего 30 %.

Результаты исследований спермиев после их криоконсервации

а	Групп	Повторности	Количество спермиев животных	Среднее количество спермиев животных
Опытная		1	5100000	5095000
		2	5080000	
		3	5110000	
		4	5090000	
Контрольная		1	1740000	1740000
		2	1680000	
		3	1800000	
		4	1740000	

Важным показателем жизнеспособности новорожденных телят является снижение веса первые 3...6 дней после рождения. В ходе эксперимента было выявлено, что потери массы тела на одного теленка в первые 5 дней жизни составили 1,5 % для опытной группы и 5,8 % для контрольной. Специалистами ветеринарной медицины были зарегистрированы случаи болезни телят кишечно-желудочными и легочными заболеваниями. Заболеваемость телят в опытной группе составила 10,2 %, а в контрольной – 44 %. Смертность телят после 20 дней жизни составила в контрольной группе 36,8 %, а в опытной выжили все телята.

В результате производственного эксперимента было установлено, что прибыль от внедрения акустической технологии в данном хозяйстве составила 35,7 тыс. грн.

Выводы

Производственный опыт с эмбрионами животных показал, что воздействие акустических колебаний на эмбрионы повышает их устойчивость к низким температурам и повышает жизнеспособность полученного потомства КРС. В результате производственного эксперимента с эмбрионами было установлено, что прибыль от внедрения акустической технологии составила 35,7 тыс. грн.

Список литературы

1. Богданович А. И. Расчеты в планировании экспериментов / А.И. Богданович. – Л.: ЛТА, 1978. – 10 с.
2. Винарский М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский. – К.: Техника, 1975. – 168 с.

3. Сасимова И.А. Обоснование оптико-электронной системы для оценки степени влияния ЭМП на эмбрионы животных / И.А. Сасимова, Ю.Е. Мегель // Энергосбережение. Энергетика, Энергоаудит. – 2008. – № 9. – С. 18 – 24.

4. Stephens R.J., Hart C.P., Torbit C.A., Edmonds P.D. Responsible subcellular alteration on heratocytes resuling from ultrasound. Ultrasound in Med. Biol.. – 1980. – V.6, №3. – P. 239–249.

5. Webster D.F., Pond G.B., Dyson M., Harvey W. Role of cavitation in the “in vicro” stimulation of protein synthesis in human fibroblasts. Ultrasound in Med. Biol.. – 1978. – V.4, №4. – P. 343-351.

Визначено параметри впливу акустичних коливань на ембріони з метою підвищення їх стійкості до низьких температур і підвищення життєздатності отриманого потомства великої рогатої худоби.

Кювета, акустичні коливання, температура, життєздатність.

The parameters of the effect of acoustic oscillations on embryos in order to increase their resistance to low temperatures and increase the viability of the progeny of cattle.

Cuvette, acoustic vibrations, temperature, viability.

УДК 631.171:681.2.088

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТУ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, кандидати технічних наук

Наведено результати досліджень невизначеності вимірювання біопотенціалу проростків насіння сільськогосподарських культур. Обґрунтовано методику визначення ефективності обробки насіння за зміною біопотенціалу. Визначено зміну біопотенціалу насіння огірків при обробці у магнітних полях з різною магнітною індукцією.

Біопотенціал, невизначеність вимірювання, ефективність обробки, магнітна індукція.

Загальним недоліком існуючих методів електромагнітної стимуляції є відсутність інструментального визначення дози обробки. Її оптимальне значення визначають за наслідками – отриманими результатами, які в значній мірі залежать від агрокліматичних факторів, родючості ґрунтів, застосовуваної технології вирощування тощо [3].

3. Сасимова И.А. Обоснование оптико-электронной системы для оценки степени влияния ЭМП на эмбрионы животных / И.А. Сасимова, Ю.Е. Мегель // Энергосбережение. Энергетика, Энергоаудит. – 2008. – № 9. – С. 18 – 24.

4. Stephens R.J., Hart C.P., Torbit C.A., Edmonds P.D. Responsible subcellular alteration on heratocytes resuling from ultrasound. Ultrasound in Med. Biol.. – 1980. – V.6, №3. – P. 239–249.

5. Webster D.F., Pond G.B., Dyson M., Harvey W. Role of cavitation in the “in vicro” stimulation of protein synthesis in human fibroblasts. Ultrasound in Med. Biol.. – 1978. – V.4, №4. – P. 343-351.

Визначено параметри впливу акустичних коливань на ембріони з метою підвищення їх стійкості до низьких температур і підвищення життєздатності отриманого потомства великої рогатої худоби.

Кювета, акустичні коливання, температура, життєздатність.

The parameters of the effect of acoustic oscillations on embryos in order to increase their resistance to low temperatures and increase the viability of the progeny of cattle.

Cuvette, acoustic vibrations, temperature, viability.

УДК 631.171:681.2.088

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТУ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, кандидати технічних наук

Наведено результати досліджень невизначеності вимірювання біопотенціалу проростків насіння сільськогосподарських культур. Обґрунтовано методику визначення ефективності обробки насіння за зміною біопотенціалу. Визначено зміну біопотенціалу насіння огірків при обробці у магнітних полях з різною магнітною індукцією.

Біопотенціал, невизначеність вимірювання, ефективність обробки, магнітна індукція.

Загальним недоліком існуючих методів електромагнітної стимуляції є відсутність інструментального визначення дози обробки. Її оптимальне значення визначають за наслідками – отриманими результатами, які в значній мірі залежать від агрокліматичних факторів, родючості ґрунтів, застосовуваної технології вирощування тощо [3].

Тому при визначенні оптимальних режимів магнітної обробки важливим питанням є індикація її ефекту, яке потребує наукового обґрунтування і вирішення [2].

Мета досліджень – розроблення методики визначення ефективності магнітної обробки насіння сільськогосподарських культур.

Матеріали та методика досліджень. Проведені дослідження показали, що для визначення ефекту магнітної обробки найдоцільніше використовувати потенціометричні методи вимірювання, які характеризуються експресністю, простотою, можливістю вимірювання у суспензії без фільтрування і спеціальної підготовки проби.

Оскільки більшість хімічних реакцій, які відбуваються у насінні сільськогосподарських культур, є окислювально-відновними, то визначати ефект магнітної обробки доцільно за зміною окислювально-відновних потенціалів (ОВП).

Окислювально-відновний потенціал вимірюють рН-метром-мілівольтметром або іономіром з електродною системою, яка складається із платинового вимірювального і хлорсрібного допоміжного електродів.

Для вимірювання ОВП був розроблений вимірювальний електрод, який є платиновою пластиною із загостреним кінцем у вигляді ножа. Платиновий електрод вводиться в паросток пророслого насіння. Як допоміжний електрод використано стандартний хлорсрібний електрод.

Визначають різницю ОВП (біопотенціалу) проростків необробленого та обробленого в магнітному полі насіння та порівнюють із значенням розширеної невизначеності вимірювання цієї величин. Якщо різниця ОВП (біопотенціалу) перевищує розширену невизначеність вимірювань, то можна стверджувати про вплив магнітної обробки на процеси, які відбуваються у насінні.

Вимірювання ОВП у проростках необробленого та обробленого в магнітному полі насіння здійснювалися за допомогою іономіра И-160М, у п'ятикратній повторності. За результатами вимірювань визначали середнє значення вимірюваної величини:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k, \quad (1)$$

де x_k – спостереження вимірюваної величини; n – кількість вимірювань.

Аналіз невизначеності потенціометричних вимірювань проводився за рекомендаціями із розрахунку невизначеності вимірювань [1, 5].

Стандартні невизначеності типу А визначали за експериментальним стандартним відхиленням середнього значення [1]:

$$u(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}. \quad (2)$$

Стандартну невизначеність типу В отримували із даних свідоцтв про метрологічну атестацію іономіра. Вважаючи розподіл вимірюваної величини прямокутним, стандартну невизначеність за типом В визначали за формулою [1]:

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}, \quad (3)$$

де a – границі максимально допустимих похибок вимірювального приладу.

Сумарну стандартну невизначеність розраховували за формулою [1]:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)} = \sqrt{c_i^2 u(x_i)^2}, \quad (4)$$

де $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$ – коефіцієнт чутливості, а розширену невизначеність – за формулою:

$$U = k u_c(y), \quad (5)$$

де $k=2$ – коефіцієнт охоплення для рівня довіри 95 % [1].

Результати досліджень. Для розрахунку сумарної стандартної невизначеності необхідно мати рівняння моделі вимірювання.

Рівняння моделі вимірювання ОВП іономіром має вигляд:

$$\varphi = \varphi_0 + S_T \lg \frac{a_{ox}}{a_{red}}, \quad (6)$$

де φ – потенціал електродної системи, мВ; φ_0 – стандартний окислювально-відновний потенціал системи, мВ; a_{ox} – концентрація окисленої форми іонів, моль/л; a_{red} – концентрація відновленої форми іонів, моль/л; S_T – крутість електродної характеристики, яка визначається за формулою:

$$S_T = 2,3 \frac{RT}{zF}. \quad (7)$$

де R – універсальна газова стала, Дж/(моль·К); T – температура, К; z – заряд іона; F – число Фарадея, Кл/моль.

Тоді сумарна стандартна невизначеність вимірювання ОВП згідно з рівнянням (6) розраховується за формулою:

$$u^2(\varphi) = u^2(\varphi_0) + \left(\frac{2,3R}{zF} \lg \frac{a_{ox}}{a_{red}} \right)^2 u^2(\dot{O}), \quad (8)$$

або

$$u^2(\varphi) = u^2(\varphi_0) + \left(\frac{\varphi - \varphi_0}{T} \right)^2 u^2(\dot{O}). \quad (9)$$

Невизначеність вимірювання потенціалу електродної пари доцільно визначати за типом А за експериментальним стандартним відхиленням середнього значення. [4]. За типом В розраховують невизначеність, пов'язану із змінами температури.

Розрахунок невизначеності вимірювання ОВП паростка насіння наведено у табл.1.

Отже, ефект магнітної обробки матиме місце тоді, коли різниця виміряних значень ОВП (біопотенціалу) проростків необробленого та обробленого в магнітному полі насіння перевищує 2 мВ.

1. Бюджет невизначеності вимірювання ОВП іономіром И-160М

Вхідна величина x_i	Значення оцінки	+/-	Тип невизначеності	Розподіл імовірності	Стандартна невизначеність $u(x_i)$	Коефіцієнт чутливості c_i	Вклад невизначеності $u(y_i)$	Відсотковий вклад
Виміряне значення ОВП, мВ	171	-	A	Нормальний	0,71	1	0,71	88,8
Відхилення температури розчину, °C	0	1	B	Прямокутний	0,58	-0,16	0,09	11,2
Визначене значення ОВП	171			-	0,91		-	
Розширена невизначеність при $k=2$, мВ					1,83			

Визначення ефективності магнітної обробки насіння сільськогосподарських культур було проведено для огірків сорту «Сквирський». Насіння огірків оброблювалося в магнітному полі при різних значеннях магнітної індукції та швидкості його руху 1 м/с. Насіння пророщували і вимірювали значення ОВП (біопотенціалу) проростків. Результати досліджень наведено в табл. 2.

2. Зміна біопотенціалу проростків насіння огірків при його обробці в магнітному полі

Параметр	Виміряне значення							
Магнітна індукція, мТл	19	30	65	100	170	325	520	
Зміна біопотенціалу, мВ	30,7	36,3	41,3	50,3	35,3	34,3	37,0	

Наведені дані свідчать, що при обробці насіння огірків у магнітному полі його біопотенціал зростає порівняно з контролем. Зміна біопотенціалу значно перевищує невизначеність його вимірювання. При цьому найбільше зростає біопотенціал при обробці насіння у магнітному полі з індукцією 100 мТл.

Висновки

На основі проведених досліджень встановлено, що ефект магнітної обробки має місце тоді, коли біопотенціал проростка, обробленого у магнітному полі насіння перевищує біопотенціал необробленого насіння на 2 мВ. Величина магнітної індукції впливає на зміну біопотенціалу насіння. Встановлено, що найбільше біопотенціал насіння огірка змінюється при магнітній індукції 100 мТл. Таким чином, ефект магнітної обробки та оптимальний режим обробки доцільно визначити за зміною біопотенціалу проростка насіння.

Список літератури

1. Ефремова Н.Ю. Оценка неопределенностей в измерениях: практическое пособие / Н.Ю. Ефремова. – Минск: БелГИМ, 2003. – 50 с.
2. Классен В.И. Омагничивание водных систем / В.И. Классен. – [2-е изд.]. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
3. Проектирование комплексной электрификации / [Л.Г. Прищеп, А.П. Якименко, Л.В. Шаповалов и др.]; под ред. Л.Г. Прищеп. – М.: Колос, 1983. – 271 с.
4. Синявський О.Ю. Невизначеність потенціометричних вимірювань / О.Ю. Синявський, В.В. Савченко // Метрологія і прилади. – 2010. – № 4. – С. 32–37.
5. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. [First edition]. – ISO, Switzerland, 1993. – 101 p.

Приведены результаты исследований неопределенности измерения биопотенциалов проростков семян сельскохозяйственных культур. Обоснована методика определения эффективности обработки семян при изменении биопотенциалов. Определено изменение биопотенциалов семян огурцов при обработке в магнитных полях с различной магнитной индукцией.

Биопотенциал, неопределенность измерения, эффективность обработки, магнитная индукция.

The results of studies of biopotential's uncertainty of seedlings crop seeds are shown. The method of determining the effectiveness of treatment of seeds for change biopotentials is justified. The changes of biopotentials seeds of cucumbers is defined, when processing in magnetic fields with different magnetic induction.

Biopotential, the uncertainty of measurement, processing efficiency, the magnetic induction.

УДК 621.384

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ ДІЄЮ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ТВАРИННИЙ ОРГАНІЗМ

Л.С. Червінський, доктор технічних наук

На основі аналізу явища фотореактивації і положень квантової біофізики викладено методичний підхід до керування енергетичною дією оптичного випромінювання на тварин в процесі їх вирощування.

Фотореактивація, тварини, механізм дії оптичного випромінювання.

© Л.С. Червінський, 2014

Список літератури

1. Ефремова Н.Ю. Оценка неопределенностей в измерениях: практическое пособие / Н.Ю. Ефремова. – Минск: БелГИМ, 2003. – 50 с.
2. Классен В.И. Омагничивание водных систем / В.И. Классен. – [2-е изд.]. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
3. Проектирование комплексной электрификации / [Л.Г. Прищеп, А.П. Якименко, Л.В. Шаповалов и др.]; под ред. Л.Г. Прищеп. – М.: Колос, 1983. – 271 с.
4. Синявський О.Ю. Невизначеність потенціометричних вимірювань / О.Ю. Синявський, В.В. Савченко // Метрологія і прилади. – 2010. – № 4. – С. 32–37.
5. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. [First edition]. – ISO, Switzerland, 1993. – 101 p.

Приведены результаты исследований неопределенности измерения биопотенциалов проростков семян сельскохозяйственных культур. Обоснована методика определения эффективности обработки семян при изменении биопотенциалов. Определено изменение биопотенциалов семян огурцов при обработке в магнитных полях с различной магнитной индукцией.

Биопотенциал, неопределенность измерения, эффективность обработки, магнитная индукция.

The results of studies of biopotential's uncertainty of seedlings crop seeds are shown. The method of determining the effectiveness of treatment of seeds for change biopotentials is justified. The changes of biopotentials seeds of cucumbers is defined, when processing in magnetic fields with different magnetic induction.

Biopotential, the uncertainty of measurement, processing efficiency, the magnetic induction.

УДК 621.384

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ ДІЄЮ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ТВАРИННИЙ ОРГАНІЗМ

Л.С. Червінський, доктор технічних наук

На основі аналізу явища фотореактивації і положень квантової біофізики викладено методичний підхід до керування енергетичною дією оптичного випромінювання на тварин в процесі їх вирощування.

Фотореактивація, тварини, механізм дії оптичного випромінювання.

© Л.С. Червінський, 2014

Швидкий розвиток сучасних технологій отримання тваринної продукції передбачає застосування новітніх методів, зокрема електротехнологій, серед яких провідне місце займає оптичне випромінювання (інфрачервоний обігрів, освітлення та ультрафіолетове опромінення). Ефективне впровадження оптичних електротехнологій неможливе без вивчення механізму дії оптичної енергії на тваринний організм.

Мета досліджень – теоретичне обґрунтування принципів керування енергетичною дією оптичного випромінювання на організм тварини на основі вирішення таких наукових задач:

визначення шляхів проникання оптичного випромінювання в тваринний організм;

обґрунтування і пояснення механізму взаємодії енергії оптичного випромінювання із сприймаючими структурами організму.

Матеріали та методика досліджень. Первинний механізм поглинання і трансформації енергії оптичного випромінювання в тваринному організмі та теоретичне обґрунтування принципів керування енергетичною дією оптичного випромінювання достатньо повно пояснюється на основі теоретичного дослідження явища фотореактивації [1, 3].

Явище фотореактивації, що проявляється на живому організмі в зменшенні прояву дії від короткохвильового оптичного випромінювання його подальшим більш довгохвильовим опроміненням, є одним із можливих екологічних методів кількісного регулювання впливу оптичного випромінювання на біологічний об'єкт, тобто є перспективним методом керування продуктивністю фотобіологічного процесу заданої якості.

Результати досліджень. Системний аналіз світових досліджень останніх років [2, 4, 5, 8] дають можливість реалізувати пояснення механізму взаємодії оптичної енергії із структурними складовими тіла опромінюваної тварини на основі явища фотореактивації з позицій квантово-механічної теорії.

Залежно від енергії кванта (фотона) оптичного випромінювання ($h\nu$), що діє на біологічний об'єкт, відбувається його поглинання електроном, що знаходиться на відповідному за енергією «дозволеному» енергетичному рівні сприймаючої структури об'єкта: кванти високої енергії поглинаються атомарними електронами, менш енергетичні фотони – поглинаються електронно-енергетичними оболонками молекул тощо.

Експериментально встановлено також, що при дії кванта (фотона) оптичного випромінювання на молекулу (атом) можлива зміна її енергетичного внутрішнього стану в таких напрямках [3].

1. *Збільшується її електронна енергія*, тобто електрони, поглинаючи оптичні кванти, збуджуються (піднімаються) на більш високі «дозволені» енергетичні рівні і, тим самим, *зростає реакційна спроможність молекули*.

2. *Збільшується коливальна (теплова) енергія молекули*, обумовлена коливаннями атомів усередині молекули від перерозподілу поглинутої енергії оптичних квантів досить низької енергії, і, як результат, *зростає температура цього молекулярного комплексу*.

3. *Змінюється ротаційна енергія, що відповідає за обертання (просторову структуру) всієї молекули або її частини, що взаємодіє з квантами і децю змінюється просторова структура молекули (відповідно окремі її параметри).*

В узагальнено спрощеному вигляді вище викладене можна записати виразом:

$$h\nu = (E_e + E_k + E_p)_{\text{кін}} - (E_e + E_k + E_p)_{\text{нач}}, \quad (1)$$

де $h\nu$ – енергія фотона випромінювання, що поглинається сприймаючою структурою; E_e – енергія збудження електрона, що «підняла» його на більш високий енергетичний рівень; E_k – енергія, що витрачається на коливання атомів у молекулі; E_p – енергія, що витрачається на зміну ротаційного положення молекули або її частин.

Якщо позначити частоти, що відповідають електронним, коливальним і ротаційним переходам молекули – ν , то можна записати квантовані значення розподілу енергії поглинутого фотона оптичного випромінювання:

$$h\nu = h\nu_e + h\nu_k + h\nu_p \quad (2)$$

Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено [2, 4, 6], що (залежно від складності структурної будови молекули і місця дії на неї фотона) частота фотонів ν_e відповідає ультрафіолетовому і, частково, видимому випромінюванню, ν_k – інфрачервоному випромінюванню і ν_p – мікрохвильовому випромінюванню. Тобто, у спрощеному викладенні, при опроміненні молекули ультрафіолетовим випромінюванням проходить активація її електронів, при опроміненні інфрачервоним випромінюванням – збільшується її теплова енергія, а при мікрохвильовому опроміненні – змінюється її просторове положення відносно сусідніх молекул.

Вираз (2) показує, що при аналізі взаємодії фотонів оптичного випромінювання із молекулами об'єкта, що опромінюється, залежно від будови енергетичної структури молекули, енергія фотона може поглинатися і перерозподілятися відразу за трьома напрямками. Але пояснення процесу фотореактивації з урахуванням трьох енергетичних складових молекули матиме громіздкий вигляд, тому доцільно подати пояснення первинного механізму дії оптичного випромінювання на тваринний організм за взаємодією фотонів випромінювання лише з енергетичними рівнями молекули.

Виходячи із цього допущення, розглянемо первинний механізм процесу фотореактивації біологічного впливу оптичного випромінювання.

1. При опроміненні біоструктури поглинена енергія фотонів збуджує електрони атомів чи молекул у фоторецепторах на відповідно вищі «дозволені» енергетичні рівні, із яких відбувається деякий перерозподіл цієї енергії (за період $\tau \sim 10^{-10}$ с) і електрони (їх атоми, молекули, або весь комплекс – клітина) переходять у більш стійкий збуджений стан, але з меншим рівнем енергії. У цьому стані вони можуть вступати в хімічну реакцію та утворювати (за відсутності подальшого доопромінення) продукт фотореакції.

2. Якщо на цей об'єкт знову впливати випромінюванням, але більш довгохвильовим (із меншою енергією фотонів), то є допустимим повторне збудження електронів на вищий енергетичний рівень, із якого вони мають більшу ймовірність повернення на свій початковий енергетичний рівень з віддачею поглинутої (за два етапи збудження) енергії ближнім структурам, або випромінюючи її фотонами відповідної енергії. Тобто опромінена двома різноенергетичними потоками випромінювання молекула не бере участі в утворенні фотопродукту. Таким чином, спостерігається фотореактивація (відновлення нейтрального стану) збудження біомолекули.

3. Дещо складніше описується процес реактивації, якщо молекула має тісніші енергетичні зв'язки з сусідніми молекулярними структурами і встигає вступити у фотохімічну реакцію (що спостерігається у високо організованих тваринних організмів при інтервалі часу між первинним і реактивуючим актами опромінювання більше 10^{-3} с) [4].

У цьому випадку частина енергії реактивуючого (вторинного) фотона випромінювання витрачається на розривання міжмолекулярних електронних зв'язків, що утворилися в первинній фотохімічній реакції, полегшуючи відновлення збуджених молекул у початковий енергетичний стан.

Чим складніший за структурною будовою об'єкт опромінювання, тим більша ймовірність одержати фотореактивуючу дію від вторинного опромінення і тим складнішим є ступеневий процес відновлення збуджених молекул у початковий енергетичний стан.

Згідно із *законом квантової еквівалентності Ейнштейна* число реагуючих молекул M пропорційно квантовому виходу фотореакції η

$$M = \eta n_{\phi}, \quad (3)$$

де n_{ϕ} – кількість поглинутих фотонів (квантів) випромінювання; η – квантовий вихід фотореакції.

На основі виразу (3) і теоретичних викладок, наведених у [3], залежність кількості молекул, що беруть участь у фотопроцесі, від інтенсивності збуджуючого випромінювання описуються такими виразами.

1. При ступінчастому збудженні молекули

$$\frac{dn^{**}}{dt} = n^* B_{23} \varphi_{23} - n^{**} \frac{1}{\tau^{**}}; \quad (4)$$

$$\frac{dn^*}{dt} = n_0 B_{12} \varphi_{12} - n^* (B_{23} \varphi_{23} + \frac{1}{\tau^*}), \quad (5)$$

де n^* , n^{**} – число молекул у збудженому стані, відповідно на первинному і реактивуючому енергетичних рівнях (A^* , A^{**}); B_{12} і B_{23} – ймовірності збудження електронів молекул, відповідно, на дозволених синглетний S_1 , S_3 та триплетний T_1 , T_3 енергетичні рівні збудження; φ_{12} і φ_{23} – щільності потоку фотонів збуджуючого випромінювання, відповідно з першого на другий та з другого на третій енергетичні рівні; τ^* і τ^{**} – тривалість знаходження молекули в першому і другому збуджених станах.

Розв'язок цих рівнянь дає можливість визначити кількість реактивованих молекул

$$n^{**} = n_0 \frac{B_{12} B_{23} \varphi_{23} \tau^* \tau^{**} \varphi_{12}}{1 + B_{23} \varphi_{23} \tau^*} . \quad (6)$$

2. У випадку кооперативного механізму збудження фотореактивації рівняння (4) і (5) записуються так:

$$\frac{dn^{**}}{dt} = \alpha(n^*) - n^{**} \frac{1}{\tau^{**}} ; \quad (7)$$

$$\frac{dn^*}{dt} = n_0 B_{12} \varphi_{12} - n^* \frac{1}{\tau^*} - 2\alpha(n^*)^2 , \quad (8)$$

де $\alpha(n^*)$ – кількість збуджених до першого енергетичного рівня молекул, котрі віддають енергію збудження сусіднім молекулам для переведення їх на другий збуджений рівень (коефіцієнт кооперативної взаємодії), n^{**} – кількість молекул, в яких фотореактивується первинне збудження.

При аналізі процесу фотореактивації слід зважати на те, що двоступінчасте збудження електронів може проходити як по синглетних, так і триплетних енергетичних рівнях залежно від «заселеності» їх підрівнів.

Заселеність синглетного енергетичного рівня під час опромінення визначається виразом:

$$G_{S1} = N_{S1} \frac{\tau_1^*}{\tau_2} = \frac{I \tau_2 \sigma_1}{h\nu} \frac{\tau_1^*}{\tau_2} , \quad (9)$$

де I – інтенсивність випромінювання; τ_1^* – тривалість знаходження електрона на синглетному збудженому рівні S_1 ; τ_2 – тривалість імпульсу випромінювання; σ_1 – величина енергетичного переходу з основного рівня на збуджений ($S_0 \rightarrow S_1$); N_{S1} – кількість молекул, що перейшла в збуджений стан за час τ_2 .

Збуджені до рівня S_1 молекули із виходом ψ_{isc} переходять на рівень T_1 , де проходить їх «накопичення» до кінця часу імпульсу випромінювання, їх число визначатиметься виразом:

$$N_{T1} = N_{S1} \psi_{isc} . \quad (10)$$

Середня заселеність триплетного енергетичного рівня на кінець часу опромінення становитиме

$$\overline{G}_{T1} = \frac{N_{T1}}{2} = \frac{I \tau_2 \sigma_1}{2h\nu} \psi_{isc} . \quad (11)$$

Визначимо відношення заселеності збудженими електронами приведених енергетичних рівнів:

$$\Delta = \frac{G_{S1}}{G_{T1}} = \frac{\frac{I \tau_2 \sigma_1}{h\nu} \frac{\tau_1^*}{\tau_2}}{\frac{I \tau_2 \sigma_1}{2h\nu} \psi_{isc}} = \frac{2\tau_1^*}{\tau_2 \psi_{isc}} . \quad (12)$$

Аналіз виразу (12) показує, що із збільшенням тривалості імпульсу випромінювання збільшується заселеність триплетного збудженого рівня,

тобто збільшується кількість електронів, збуджених на триплетні енергетичні рівня – реалізується триплетний канал двоступінчастого збудження.

Виконаємо теоретичне дослідження можливості проходження одноступінчастої фотохімічної реакції.

Відомо, що квантовий вихід фотохімічної реакції визначається через відношення швидкості проходження хімічної реакції з цього енергетичного рівня до суми всіх швидкостей можливих дезактивацій даного рівня [3, 9]. Тобто квантовий вихід фотохімічної реакції із першого збудженого синглетного енергетичного рівня можна визначити із виразу:

$$\chi^S_{chem} = \frac{1/\tau^S_{chem}}{1/\tau^S_{chem} + 1/\tau^*_S + 1/\tau^S_{isc} + 1/\tau^S_{fl} + \sigma_2^S \varphi}, \quad (13)$$

а квантовий вихід фотохімічної реакції із першого триплетного енергетичного рівня можна визначити за формулою

$$\chi^T_{chem} = \frac{1/\tau^T_{chem}}{1/\tau^T_{chem} + 1/\tau^*_T + 1/\tau^T_{isc} + 1/\tau^T_{fl} + \sigma_2^T \varphi} \psi_{isc}, \quad (14)$$

де χ^S_{chem} , χ^T_{chem} – відповідно квантові виходи фотореакцій із синглетного і триплетного енергетичних рівнів збудження молекули, $1/\tau_{chem}$, $1/\tau^*$, $1/\tau_{isc}$, $1/\tau_{fl}$ – константи швидкостей дезактивації енергії збудження із синглетного і триплетного рівнів відповідно через хімічну реакцію, темнову релаксацію, інтеркомбінаційну конверсію, флюоресценцію; $\sigma_2 \varphi$ – енергетична характеристика кількості молекул і тривалості їх збудження на вищий (другий) енергетичний рівень.

Аналіз виразів показує, що чим більша тривалість й інтенсивність другого (реактивуєчого) імпульсу ($\sigma_2 \varphi$), тим менша ймовірність у молекул, що опромінюються, вступити у фотохімічну реакцію після первинного (збуджуючого) імпульсу випромінювання і більша ймовірність перейти на вищий енергетичний рівень, що є достатнім поясненням явища фотореактивації.

Оскільки в процесі фотореактивації молекул високоорганізованих біологічних структур, які характеризуються складною будовою, значна ймовірність відновлення початкового стану збуджених молекул через випромінювання поглинутої енергії у вигляді фотонів люмінесценції, енергія яких дорівнює повній енергії, витраченій на фотореактивацію, то кількість фотореактивованих молекул біооб'єкта можна визначити за інтенсивністю потоку цих фотонів (за інтенсивністю флуоресценції, або фосфоресценції) або в загальному випадку – за інтенсивністю спектра і тривалістю люмінесценції [6].

Так для випадку, коли випромінювальна дезактивація високоенергетичного збудженого стану (A^{**}) здійснюється за час значно менший, ніж періоди життя проміжних станів (протилежний випадок – поки що неінформативний) вирази для кількісного визначення випромінювання

люмінесценції при ступінчастому або кооперативному механізмі збудження мають такий вигляд:

при ступінчастому збудженні молекул процес зміни інтенсивності люмінесценції, після припинення дії реактивуючого збудження, буде відповідати експоненціальному закону:

$$n^{**}(t) = n_0^{**} e^{-t/\tau^{**}} \quad (15)$$

залежність для визначення інтенсивності люмінесценції у випадку кооперативного механізму фотореактивації має вигляд:

$$n^{**}(t) = n^{**} \frac{e^{-2t/\tau^*}}{[1 - 2\alpha\tau^* n^* (1 - e^{-t/\tau^*})]^2} \quad (16)$$

З виразу (16) видно, що при кооперативному механізмі процес реактивації молекул другого збудженого стану є складною функцією від тривалості знаходження молекул у першому збудженому стані τ^* та кількості (концентрації) молекул у цьому стані, n^* .

Одержати практичне підтвердження наведеного пояснення механізму фотореактивації біологічної дії конкретної ділянки спектра оптичного випромінювання можна експериментальним шляхом за такою методикою [8]:

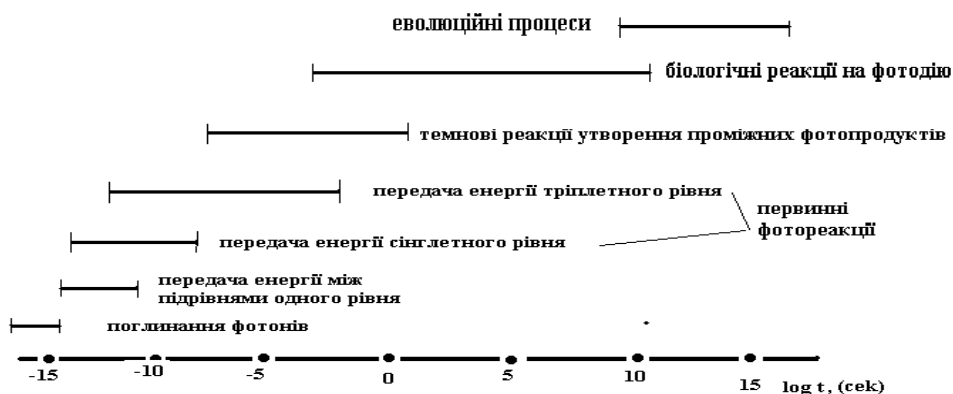
- після первинного опромінення досліджуваного біологічного об'єкта короткохвильовим оптичним випромінюванням (випромінювання, що спричиняє очікувану біологічну дію) заміряти спектр його вимушеної люмінесценції;

- послідовно за першим опроміненням, виконати друге кероване опромінення об'єкта більш довгохвильовим випромінюванням, змінюючи час, спектр й інтенсивність цього реактивуючого випромінювання, і знову виміряти характеристики спектра люмінесценції;

- у випадку реалізації двофотонного процесу поглинання, в спектрі люмінесценції буде спостерігатися зсув максимуму інтенсивності випромінювання у більш короткохвильову область (порівняно із спектром люмінесценції від первинного опромінювання).

Варто зазначити, що основна складність проведення даних експериментів полягає в необхідності застосування джерел опромінення, що працюють як у безперервному, так і в імпульсному режимі, причому, тривалість імпульсів повинна бути сумісною із тривалістю міжмолекулярних процесів (рисунок).

Із рисунка також видно, що іншою важливою особливістю цього дослідження є необхідність у використанні швидкорегструючих спектрофотометрів із високою чутливістю і широким спектральним діапазоном можливості вимірювання оптичного випромінювання.



Часова шкала проходження фотофізичних, фотохімічних і фотобіологічних процесів

Характеристика тривалості проходження фотофізичних, фотохімічних, фотобіологічних і еволюційних процесів

Висновки

При відомій будові органічних структур у біологічних об'єктах і визначених їх оптичних характеристиках: спектрах поглинання, відбивання, люмінесценції і т.п.; із достатнім ступенем точності можна кількісно визначити вплив на цей біологічний об'єкт конкретної ділянки спектра оптичного випромінювання.

При цьому можна підсилювати або зменшувати цю дію більш довгохвильовим випромінюванням. Таким чином, створюються передумови для оптичного керування конкретним фотобіологічним процесом (наприклад, регулювання процесом листяутворення або квіткоутворення у рослин, строком їх дозрівання).

На тваринні організми найактивніше впливає ультрафіолетове випромінювання.

Відповідно до викладеного механізму фотореактивації експозицію (дозу) ультрафіолетового опромінення тварин можна знизити, якщо зменшити фотореактивуючу дію видимого випромінювання (на практиці ультрафіолетове опромінення проводиться одночасно із освітленням тваринницьких приміщень).

Якщо застосовувати ультрафіолетове опромінювання тварин при мінімальному освітленні (наприклад, у вечірній час – без освітлення приміщень) ефективність його буде більшою.

Таке опромінення економічно вигідно, оскільки зменшує енергетичні витрати.

Список літератури

1. Левин В. Л., Современное состояние проблемы фотореактивации. // Фотобиология животной клетки / В. Л. Левин, К. А. Самойлова. – Ленинград: Наука, 1979. – С. 96–107.
2. Мельник И. Л. Сравнительное действие УФ и ИК радиации на организм некоторых сельскохозяйственных животных / И. Л. Мельник. // Ультрафиолетовое излучение и его применение в биологии: Материалы X Всесоюз. совещ. по биол. действию УФ излучения, Пушчино-на-Оке, 1973. –

C.182–192.

3. Овсянкин В. В. Кооперативная сенсibilизация фотофизических и фотохимических процессов. // Молекулярная фотоника / В. В. Овсянкин, П. П. Феофилов. – Л.: Наука, 1970. – С.86–105.

4. Ослабление видимым светом эритемообразующего действия УФ-излучения на кожу человека. // Проблемы практической фотобиологии / К. А. Самойлова, Н. В. Сущенко, С. М. Витушкина [и др.]. – Пущино-на-Оке: Изд-во АН СССР, 1977. – С.25–30.

5. Посудин Ю. И. Применение оптических стимулов в биологических исследованиях. // Методы и средства повышения надежности силового электрооборудования в условиях с. х. производства : Сб.тр. УСХА. / Ю. И. Посудин, Л. С. Червинский – К., 1984. – С. 62–70.

6. Червинский Л. С. О механизме фотореактивации биологических объектов. // I Всесоюзн. биофиз. съезд.: тезисы докл./ Л. С. Червинский – М., 1982. – Т. II. – С. –310.

7. Червинский Л.С. Первичные механизмы воздействия оптического излучения на живые организмы / Л. С. Червинский // Науковий вісник НУБіП України. – 2013. – № 184, ч. 1. – С. 34–40.

8. Шевель С.С. Действие ОИ на кожно-шерстный покров сельскохозяйственных животных // Механизмы и оценка эффективности действия оптического излучения на биологические системы / С. С. Шевель, Л. С. Червинский. – Пущино-на Оке: Изд-во АН СССР, 1985. – С. 77–85.

9. Chervinsky L. About the mechanism of photoreactivation of the biological objects. // Матер. міжнар. конф. The European Biomedical Optics Week, BIOS Europe'97, September 4-8, 1997, Sanremo, Italy. [19–30].

На основании анализа явления фотореактивации и положений квантовой биофизики изложен методический подход к управлению энергетическим воздействием оптического излучения на животных в процессе их выращивания.

Фотореактивация, животные, механизм действия оптического излучения.

It is ground of the analysis of a phenomenon of a photoreactivation and positions of a quantum biophysics the methodical approach to control of power effect of optical radiation on animal is set up during their growing.

Photoreactivation, animals, effect of optical radiation.

СПРЯЖЕНИЙ ТЕПЛООБМІН ВЕРТИКАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ З ПЛОСКОПАРАЛЕЛЬНИМ НЕПЕРЕРВНИМ ОРЕБРЕННЯМ В УМОВАХ ПРИРОДНОЇ КОНВЕКЦІЇ

В. Г. Горобець, доктор технічних наук

Розроблено методику розрахунку спряженого теплообміну вертикального плоскопаралельного оребреньня за умов вільної конвекції. Проведено розрахунок та визначено основні інтегральні та локальні характеристики досліджуваної поверхні. Проведено зіставлення з відомими експериментальними даними та результатами розрахунку за спрощеними моделями теплопереносу.

Вертикальна поверхня з плоскопаралельним оребреньням, вільна конвекція, теплообмін, тепловий потік, температурний розподіл, ефективність ребра.

В експериментальних дослідженнях та працях, присвячених чисельному моделюванню процесів теплопереносу для вертикальних поверхонь з ребрами в умовах вільної конвекції, зазвичай виходять із передумови, що зміна температурного напору або щільності теплового потоку на обтічній поверхні не впливають на умови теплообміну і для розрахунку можна використовувати усереднені по поверхні коефіцієнти тепловіддачі. Разом з тим, для реальних умов теплообміну таких систем ці величини можуть змінюватися по поверхні ребер і залежать від теплофізичних властивостей матеріалу, з якого виготовлена оребрена поверхня, властивостей зовнішнього теплоносія, геометрії оребреньня, величини температурного напору та інших факторів. У розрахунках зазвичай використовують залежності, отримані експериментальним або розрахунковим шляхом для усереднених коефіцієнтів тепловіддачі, які не враховують впливу цих факторів. Щоб оцінити вплив зазначених чинників на локальні умови теплообміну і сумарний відведений тепловий потік, необхідно розв'язувати задачу теплопереносу в спряженій постановці, а детальні дослідження проводити для поверхонь, виготовлених з різних матеріалів. Слід зазначити, що розв'язок спряженої задачі дозволяє не тільки отримати дані про локальні і інтегральні характеристики досліджуваних об'єктів, а й оцінити похибки, що допускаються при використанні спрощених методик розрахунку, а також провести оптимізацію оребраних поверхонь, що дозволяє зменшити габаритні та вагові показники оребраних теплообмінників.

Оребрені поверхні знайшли широке застосування при розробці теплообмінного обладнання, зокрема повітропідігрівачів і теплових акумуляторів, використовуваних для обігріву житлових будинків і

службових приміщень, теплообмінних пристроїв для охолодження електронного обладнання, економайзерів, котлів, утилізаторів теплоти відхідних газів та іншого теплообмінного устаткування.

Мета досліджень – розробка методики розв'язку спряжених задач теплообміну при односторонньому обтіканні вертикальних поверхонь із плоскопаралельним ребренням за умов вільної конвекції; розрахунок та отримання основних теплових характеристик таких об'єктів; зіставлення з відомими експериментальними даними та результатами розрахунків за спрощеними методиками.

Матеріали та методика досліджень. Розглянемо вертикальну поверхню з безперервним ребренням, коли теплообмін відбувається шляхом вільної конвекції. При моделюванні процесів переносу в системі з великою кількістю плоских ребер (рис. 1), розташованих на вертикальній основі, можна дослідити умови течії та теплообміну між двома паралельними вертикальними пластинами. Вважаємо, що поздовжні розміри ребер істотно більше їх висоти. $L \gg h$. Аналіз процесів гідродинаміки та теплопереносу показує, що вказану систему можна розбити на три області (рис. 2). В області I на поверхні ребра формується межовий шар (МШ), причому, враховуючи вільний доступ зовнішнього теплоносія з торцевих ділянок, можна вважати, що він мало відрізняється від шару на окремій пластині.

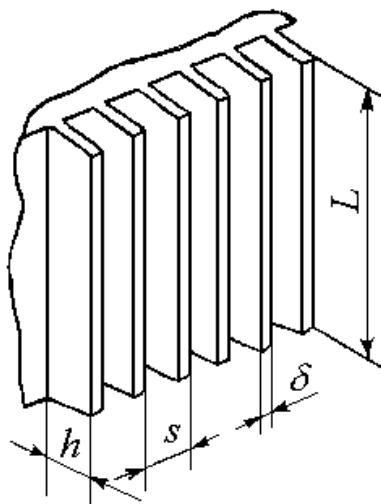


Рис 1. Поверхня з безперервним ребренням

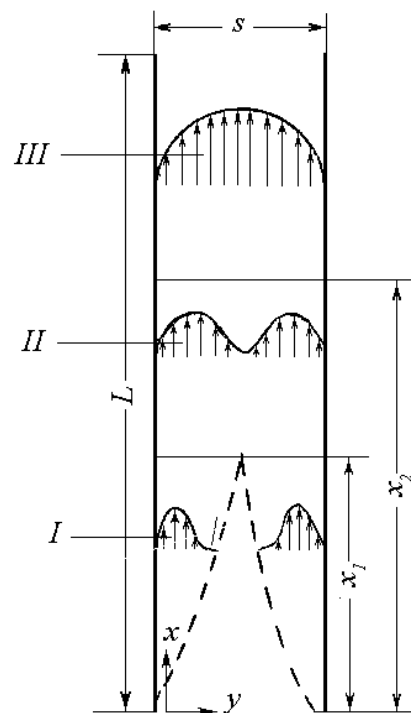


Рис. 2. Схема течії між ребрами:
I – область формування межового шару; II – перехідна течія;
III – область розвиненої течії

В області II відбувається змикання МШ на сусідніх ребрах і має місце перехідний режим течії, а в області III спостерігається розвинена вільноконвективна течія. Отже, розробивши відповідні математичні моделі теплообміну в трьох областях, що відрізняються гідродинамічною структурою течії, і виконавши умови безперервності теплових характеристик на границях переходу від однієї області до іншої, можна побудувати модель теплообміну для всієї системи в цілому.

В області I застосовані методи розрахунку МШ, які викладені в [2]. Скористаємося підходом, розробленим в [11], згідно з яким при ламінарному режимі течії справедливе співвідношення

$$Nu_x = Nu_x^* \left[\frac{\int_0^x \Delta T(x')^{5/3} dx'}{x \Delta T^{5/3}} \right]^{-1/4}, \quad (1)$$

де $Nu_x^* = \alpha^*(x)x/\lambda_g$, $Nu_x^*(x) = C_0 Ra_x^{1/4}$.

Локальний коефіцієнт тепловіддачі на ізотермічній поверхні $\alpha^*(x)$ або число Нуссельта $Nu^*(x) = \alpha^*(x)x/\lambda_g$, що входить до (1), знайдено в різних дослідженнях як експериментальним, так і розрахунковим шляхом [3]. Згідно з [3], вираз для коефіцієнта тепловіддачі $\alpha^*(x)$ може бути представлено у вигляді

$$\alpha^*(x) = c(Pr)\lambda_g (Gr_x Pr)^{1/4} / x, \quad (1a)$$

де $c(Pr)$ – коефіцієнт, що залежить від числа Прандтля Pr , який з достатнім ступенем точності може бути апроксимувати виразом

$$c(Pr) = \frac{3}{4} \left(\frac{Pr}{2,435 + 4,884 Pr^{1/2} + 4,953 Pr} \right)^{1/4} \quad (1b)$$

Область перехідної течії (область II) за своїми гідродинамічними і тепловими характеристиками зберігає всі характерні ознаки МШ. Відмінність полягає в тому, що в області змикання МШ температура теплоносія, що входить до $\Delta T = T_s - T_{g\infty}$, відрізняється від $T_{g\infty}$. З огляду на те, що для довгих ребер область II займає незначну частину від всієї довжини ребра, з невеликою величиною похибки можна вважати, що в цій області справедливе співвідношення (1), проте замість $T_{g\infty}$ слід використовувати інше значення температури T_{gm} . Визначимо його. Для цього використовуємо інтегральний метод розв'язку рівнянь ламінарного МШ. Згідно з [3] розподіл швидкостей і температур в поперечному перерізі добре апроксимується виразами

$$U = \tilde{U}(x) \frac{y}{\delta} \left(1 - \frac{y}{\delta} \right)^2; T_g - T_{g\infty} = (T_s(x) - T_{g\infty}) \left(1 - \frac{y}{\delta} \right)^2, \quad (2)$$

де y – поперечна координата (див. рис.2), а поздовжня складова швидкості $\tilde{U}(x)$ і товщина МШ $\delta(x)$ визначаються з розв'язку рівнянь МШ [3]. В результаті отримано

$$\tilde{U}(x) = 5,17\nu \left(\text{Pr} + \frac{20}{21} \right)^{-1/2} \left[\frac{g\beta(T_s - T_{g\infty})}{\nu^2} \right]^{1/2} x^{1/2}; \quad (3)$$

$$\delta(x) = 3,93 \text{Pr}^{-1/2} \left(\text{Pr} + \frac{20}{21} \right)^{1/4} \left[\frac{g\beta(T_s - T_{g\infty})}{\nu^2} \right]^{-1/4} x^{1/4}. \quad (4)$$

Температуру T_{gm} можна визначити як температуру на границі змикання МШ. Припускаючи в співвідношенні (2) $y = s/2$, знаходимо

$$T_{gm} = T_{g\infty} + (T_s(x) - T_{g\infty}) \left(1 - \frac{s}{2\delta} \right)^2, \quad (5)$$

де s – міжреберна відстань, а δ визначається з виразу (4).

На ділянці повністю розвиненої ламінарної течії (область III) розподіл швидкостей і температур у вертикальному, плоскому каналі наближено описується рівняннями [4,12]:

$$\mu \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = -g\beta\rho(T_g - T_s) + \frac{\partial p}{\partial x}; \quad (6)$$

$$\rho c_p U \frac{\partial T_g}{\partial x} = \lambda_g \frac{\partial^2 T_g}{\partial y^2}. \quad (7)$$

Рівняння (6), (7) зручно звести до безрозмірного вигляду:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} + \frac{Gr_s R}{\text{Re}} \theta_g = \frac{\partial \bar{p}}{\partial X}; \quad (8)$$

$$\frac{\text{Pr Re}}{R^2} \bar{U} \frac{\partial \theta_g}{\partial X} + \frac{\partial^2 \theta_g}{\partial Y^2} = 0, \quad (9)$$

де $\theta_g = \frac{T_g - T_s}{T_s - T_{g\infty}}$; $\bar{U} = \frac{U}{U_{cp}}$; $Y = \frac{2y}{s}$; $X = \frac{x}{L}$; $R = \frac{2L}{s}$; $\bar{p} = p \frac{(s/2)^2}{U_{cp} \mu L}$; $\text{Re} = \frac{U_{cp} L}{\nu}$ –

число Рейнольдса; $Gr_s = g\beta(T_s - T_{g\infty}) \frac{(s/2)^3}{\nu^2}$ – число Грасгофа;

$U_{cp} = \frac{2}{s} \int_0^{s/2} U dy$ – середнє по перерізу значення швидкості.

У [4,12] при розв'язку системи рівнянь (8), (9) для ізотермічних стінок каналу вважають, що градієнт температури по висоті каналу не

змінюється $\frac{\partial \theta_g}{\partial X} = A = \text{const}$, проте його величина може залежати від координати X :

$$\frac{\partial \theta_g}{\partial X} = A(X). \quad (10)$$

Процедура розв'язку системи рівнянь (8), (9) викладена, наприклад, у роботах [4,12], тому наведемо деякі результати розв'язку, які будуть використані надалі. Зокрема запишемо вирази для коефіцієнта тепловіддачі і середньомасової температури теплоносія:

$$\alpha_p = \frac{16\lambda_g}{s} k^2 \frac{M^2(k)}{F(k)}; \quad (11)$$

$$\bar{\theta}_g = \frac{\text{Re}}{RGr_s} k^2 \frac{F(k)}{M^2(k)}, \quad (12)$$

$$\text{де } \bar{\theta}_g = \int_0^1 \theta_g \bar{U} dY; M(k) = \frac{1}{2k} \frac{\text{sh} 2k - \sin 2k}{\cos 2k + \text{sh} 2k};$$

$$F(k) = \frac{3}{k} \frac{\sin 2k - \text{sh} 2k}{\cos 2k + \text{ch} 2k} + \frac{2 \sin 2k \text{sh} 2k}{(\cos 2k + \text{ch} 2k)^2}, k = \left(\frac{Gr_s \text{Pr} A}{4R} \right)^{1/4}.$$

Розглянемо теплоперенос в одиночному ребрі. У загальному випадку за відсутності внутрішніх джерел тепла він описується рівнянням

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0. \quad (13)$$

Для тонких ребер температура по товщині ребра змінюється незначно і можна провести її осереднення за координатою у

$$\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial z^2} + \frac{1}{\delta} \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=\delta/2} - \frac{1}{\delta} \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=-\delta/2} = 0, \quad (14)$$

де $\bar{T} = \frac{1}{\delta} \int_{-\delta/2}^{\delta/2} T dy$ – усереднена за перерізом температура ребра.

Враховуючи симетрію системи та умову рівності локальних теплових потоків на межі розділу ребро – теплоносії

$$-\lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial y} \Big|_{y=\delta/2} = \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=\delta/2} = q(x, z)$$

запишемо рівняння (14) в безрозмірній формі

$$\frac{\lambda \delta}{2h^2} \left[\left(\frac{h}{L} \right)^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} \right] = q(X, Z) / (T_0 - T_{g\infty}), \quad (15)$$

$$\text{де } \theta = \frac{\bar{T} - T_{g\infty}}{T_0 - T_{g\infty}}, Z = \frac{z}{h}.$$

Граничні умови для одиночного ребра, якщо знехтувати тепловими втратами з торцевих поверхонь, записуються у вигляді:

$$\left. \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right|_{x=h} = 0, \quad \bar{T}(z=0) = T_0, \quad \left. \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \right|_{z=h} = 0 \quad (16)$$

або в безрозмірній формі:

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=1} = 0, \quad \theta(Z=0) = 1, \quad \left. \frac{\partial \theta}{\partial Z} \right|_{Z=1} = 0. \quad (17)$$

Використовуючи безрозмірні змінні, запишемо вирази для щільності відведеного теплового потоку $q(X, Z)$ на ділянках ребра з різними умовами

течії. Відповідно до (1) для області I маємо

$$q_1 = \alpha^*(X)(T_0 - T_{g\infty})\theta \left[\frac{1}{X\theta^{5/3}} \int_0^X \theta^{5/3}(X') dX' \right]^{-1/4}. \quad (18)$$

Для області II

$$q_2 = \alpha^*(X)(T_0 - T_{g\infty})(\theta - \theta_n) \left[\frac{1}{X(\theta - \theta_n)^{5/3}} \int_0^{X_1} \theta^{5/3}(X') dX' + \int_{X_1}^X (\theta - \theta_n)^{5/3}(X') dX' \right]^{-1/4}, \quad (19)$$

причому $\theta_n = \frac{T_n - T_{g\infty}}{T_0 - T_{g\infty}}$, відповідно до (4) і (5) визначається виразом

$$\theta_n = \theta \left[1 - 0,5c(\text{Pr})(Gr_L \text{Pr})^{1/4} / RX^{1/4} \right]^2. \quad (20)$$

На ділянці розвиненої течії (область III) маємо

$$q_3 = \alpha_p(T_0 - T_{g\infty})(\theta - \bar{\theta}_g), \quad (21)$$

де $\bar{\theta}_g = \frac{\bar{T}_g - T_{g\infty}}{T_0 - T_{g\infty}}$; $\bar{T}_g = \int_0^1 T_g \bar{U} dY$ – середньомасова температура теплоносія

у каналі між ребрами; $\bar{U} = U / U_{cp}$; U_{cp} – середня швидкість по ширині

каналу, а величини α_p і $\bar{\theta}_g$, що входять до (21), визначаються виразами (11), (12).

Перш ніж перейти до розробки чисельного алгоритму розв'язку рівняння (15), де в різних областях течії $q(X, Z)$ знаходиться відповідно до виразів (18)–(21), визначимо координату переходу від однієї області до іншої. Довжина області I визначається умовою змикання МШ, що формуються на сусідніх ребрах, яка має вигляд

$$\delta(X = X_1) = s/2, \quad (22)$$

де X_1 – координата початку області II. З урахуванням (4) умова (22) перетвориться до вигляду:

$$X_1 = \theta \left[\frac{c(\text{Pr})}{2R} \right]^4 \text{Pr Gr}_L. \quad (23)$$

Довжина області перехідного режиму течії від МШ до режиму розвинутої течії $\Delta X_2 = X_2 - X_1$ (X_2 – координата переходу до режиму розвинутої течії) займає невелику частину від загальної поверхні пластини. У розрахунках можна вважати, що $\Delta X_2 = n \frac{s}{L}$, де n – ціле число. Значення n , як правило, не перевищує $n \leq 5$, і, як показують результати розрахунків, його варіювання істотно не впливає на результати розв'язку задачі.

Для того, щоб завершити побудову математичної моделі, необхідно визначити параметр $A(X)$ на границі між перехідною і розвинутою течією, тобто його значення $A(X = X_2)$. Воно визначається з умови безперервності теплового потоку на поверхні ребра:

$$q_2(X = X_2) = q_3(X = X_2). \quad (24)$$

Оскільки $X_2 = X_1 + 2nR$, то, використовуючи співвідношення (19), (21), а також враховуючи вирази (11), (12), подамо рівність (24) у вигляді:

$$\frac{16k^2 M^2(k)}{F(k)} \left[\theta - \frac{\text{Re}}{R \text{Gr}_s} k^2 \frac{F(k)}{M^2(k)} \right] = W \left[1 - (1 - \theta^{1/4} W)^2 \right]^{1/4} \chi \theta^{5/4} (X = X_2) \quad (25)$$

де
$$W = \frac{c(\text{Pr})}{2R} (\text{Gr}_L \text{Pr})^{1/4} X_2^{-1/4}, \quad k = \left(\frac{\text{Gr}_s \text{Pr} A}{4R} \right)^{1/4},$$

$$\chi = \left[\frac{1}{X(\theta - \theta_n)^{5/3}} \left(\int_0^{X_1} \theta^{5/3} dX' + \int_{X_1}^X (\theta - \theta_n)^{5/3} dX' \right) \right]^{-1/4} - \text{коефіцієнт неізотермічності. Число}$$

Рейнольдса Re , що входить до (25), визначається за значеннями U_{cp} у перерізі $X = X_2$. Оскільки $U_{cp} = \frac{2}{s} \int_0^{s/2} U dy$, то, беручи до уваги (2), знаходимо

$$U_{cp} = \tilde{U}(X = X_2) \left[\frac{1}{2} \left(\frac{s}{2\delta} \right) - \frac{2}{3} \left(\frac{s}{2\delta} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{s}{2\delta} \right)^3 \right]_{X=X_2}, \quad (26)$$

де $\tilde{U}(X = X_2)$, $\delta(X = X_2)$ обчислюються за формулами (3), (4).

Таким чином, оскільки $A(X = X_2) = 4k^2 \frac{R}{Gr_s Pr}$, розв'язуючи трансцендентне рівняння (25) відносно $k = \left(\frac{Gr_s Pr A}{4R} \right)^{1/4}$, можна визначити параметр $A(X = X_2)$.

Поряд із локальними тепловими характеристиками, такими як температурні розподіли, локальні коефіцієнти тепловіддачі і відведені з поверхні теплові потоки, важливою інтегральною тепловою характеристикою ребра є його теплова ефективність, яка визначається виразом

$$\eta = \frac{\int_0^1 dX \int_0^1 dZ q(X, Z)}{(T_0 - T_{g\infty}) \int_0^1 dX \int_0^1 dZ \alpha(X, Z)}. \quad (27)$$

Чисельний алгоритм розв'язку розробленої математичної моделі вибирався, виходячи з того, що для ребер великої довжини $L \gg h$ зміна градієнта температур в ребрах по осі OX істотно менша, ніж у напрямку OZ . Тому, можна скористатися методикою чисельного рахунку, розробленою в роботі [5], згідно з якою розрахунок проводиться, використовуючи чисельну схему Рунге-Кутта по координаті OZ для поточного значення координати X з деяким кроком ΔX , починаючи від нижньої кромки ребра. Розрахунок ведеться позонно: в області I $q(X, Z)$ розраховується за формулою (18), в області II за формулою (19), причому координату переходу визначають відповідно до виразу (23). Перш ніж перейти до розрахунку в області III, спочатку чисельно розв'язується трансцендентне рівняння (25) і визначається величина параметра $A(X = X_2)$. Для області розвиненої течії тепловий потік $q(X, Z)$ знаходяться відповідно до виразу (21). При обчисленні величин

α_p і $\bar{\theta}_g$ в області III за формулами (11), (12) різницю температур $T - T_{g\infty}$, що входить до числа k , визначають за значеннями, обчисленими на попередньому кроці з корекцією параметра $A(X) = \frac{\partial \theta_g}{\partial X}$ на кожному кроці.

Для апробації побудованої математичної моделі проводилося порівняння середніх значень коефіцієнта тепловіддачі по поверхні ребра, розрахованого за вищевикладеною методикою, з відомими розрахунковими та експериментальними даними, отриманими в роботах [1,6,7,9,10] для ізотермічної поверхні. При цьому середнє значення коефіцієнта тепловіддачі обчислювалося за формулою

$$\alpha_{cp} = \frac{1}{L} \int_0^L q(X) dX / (T_0 - T_{g\infty}), \quad (28)$$

де локальні значення в областях із різним режимом течії визначалися за розробленою методикою розрахунку, а поточне значення температури поверхні ребра приймалося постійним і рівним T_0 . Результати порівняння показують, що максимальна похибка між значеннями $Nu_{cp}^* = \alpha_{cp}^* s / \lambda_g$, обчисленими за формулою (28), і знайденими в роботах [1,6,7,9,10] не перевищує 10–15 %.

Результати досліджень. Використовуючи розроблену математичну модель, проведено розрахунок спряженого теплообміну для оребрення, виготовленого із сталі з розмірами ребер $500 \times 50 \times 1$ мм. Результати розрахунків наведено на рис. 3–5. На рис. 3 показано залежність усередненого по поверхні числа Нуссельта Nu_s від числа $Ra_s s / L$, яка отримана при чисельному розрахунку, експериментальні дані роботи [8] і залежність, знайдена в [1]. Як впливає з рисунка, маємо непоганий збіг розрахункових та експериментальних даних. Максимальна похибка розрахунків не перевищує 10–17 %.

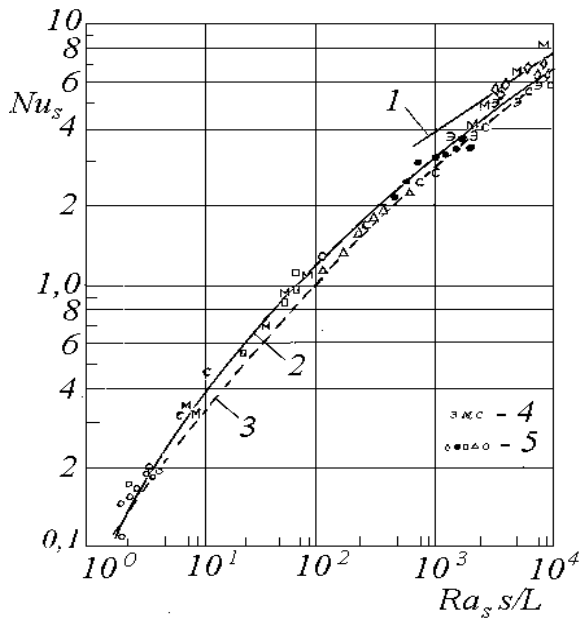


Рис. 3. Залежність числа Нуссельта $Nu_s = \alpha_{cp} s / \lambda_g$ від числа Рейнольдса $Ra_s s / L$:

- 1 – залежність, отримана в [1];
- 2 – усереднена крива за даними роботи [8];
- 3 – чисельний розрахунок; 4 – дані робіт [6], [7], [9]; 5 – дані роботи [8]

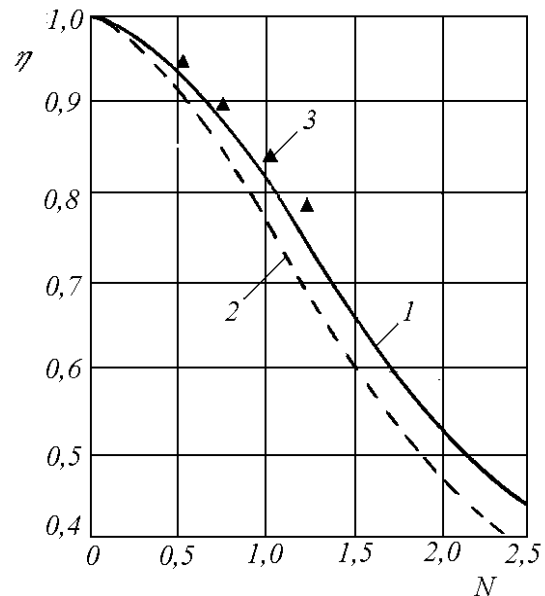


Рис. 4. Залежність теплової ефективності ребра η від параметра N :

- 1 – чисельний розрахунок; 2 – розрахунок за спрощеною методикою;
- 3 – експериментальні дані роботи [8]

На рис. 4 наведено залежність теплової ефективності ребра при різних значеннях характеристичного параметра $N = \left(\frac{2\alpha_{cp}}{\lambda\delta} \right)^{1/2} h$, де α_{cp} –

усереднений по поверхні ребра коефіцієнт тепловіддачі. Крім розрахункової залежності, на рис. 4 показано також залежність, отриману при розрахунку за спрощеною методикою, коли коефіцієнт тепловіддачі на всій поверхні ребра приймається постійним і рівним його середньому значенню для ізотермічного ребра. Там же наведено значення ефективності для сталевих ребер, знайдені експериментально в роботі [2]. Як впливає з порівняння, спрощена методика розрахунку призводить до заниження значень ефективності на 10–20 %.

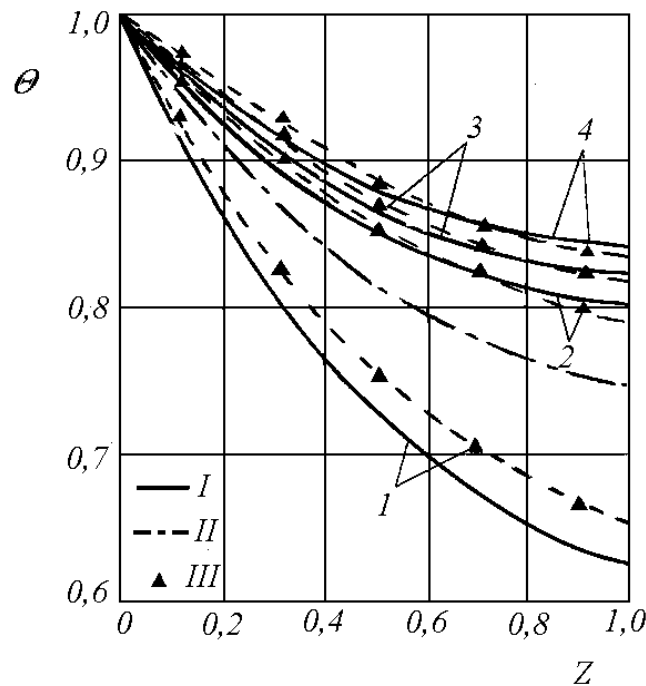


Рис. 5. Температурні розподіли по висоті ребра в різних перерізах:
1 – $X = 0,01$; 2 – 0,25; 3 – 0,5; 4 – 0,75; I – чисельний розрахунок; II – розрахунок за спрощеною методикою; III – експериментальні дані роботи [8]

На рис. 5 наведено температурні розподіли по висоті ребра для різних перерізів, отримані чисельним шляхом. Крім розрахункової залежності, на рис. 5 показано також розрахункову залежність, отриману при використанні усередненого коефіцієнта тепловіддачі для ізотермічного ребра та експериментальні дані, знайдені в [2]. Як впливає з рис. 5, найбільше падіння температурного напору по висоті ребра спостерігається на початкових ділянках ребра, де локальні значення коефіцієнтів тепловіддачі максимальні. Для ділянок, розташованих у верхній частині вертикальної основи, температурний напір по висоті ребра змінюється незначно, тому використання ребер великої довжини L неефективно і при конструюванні охолоджувальних пристроїв необхідно використовувати ребра невеликої довжини або розрізні ребра, на яких відбувається зрив МШ.

Для таких поверхонь коефіцієнти тепловіддачі, сумарні відведені теплові потоки та ефективність оребрення істотно вищі.

Висновки

1. Розроблено методику розрахунку спряженого теплообміну для вертикальних поверхонь з плоскопаралельним ребренням за умов вільної конвекції.
2. Проведено чисельний розрахунок ребрених поверхонь та отримано такі характеристики:
 - 1) залежність числа Нуссельта від числа Рейнольдса;
 - 2) залежність теплової ефективності ребер від характеристичного параметра ребра;
 - 3) температурні розподіли по висоті ребер;
3. Проведено зіставлення отриманих розрахункових результатів з відомими експериментальними даними та результатами розрахунків за спрощеними методиками. Отримано їх задовільний збіг.

Список літератури

1. Бодойя. Развитие естественной конвекции между нагретыми вертикальными пластинами / Бодойя, Остерл // Теплопередача. – 1962. – №1. – С.52–58.
2. Горобец В. Г. Теплообмен при обтекании неизотермических развитых поверхностей теплообмена / В.Г. Горобец. – К.: «ЦП «Компринт», 2011. – 353 с.
3. Джалурия Й. Естественная конвекция / Й. Джалурия. – М.: Мир, 1983. – 200 с.
4. Остроумов Г.А. Математическая теория установившейся теплопередачи в круглой вертикальной скважине при суперпозиции вынужденной и свободной ламинарной конвекции / Г.А. Остроумов // Журн. техн. физики. – 1950. – Т.20, вып.6. – С.750–757.
5. Спэрроу. Интенсификация теплоотдачи свободной конвекцией от вертикальных дискретных пластин / Спэрроу, Пракаш // Теплопередача. – 1980. – №2. – С.34–41.
6. Сотченко В.А. Свободно конвективный теплообмен вертикальных поверхностей с прямоугольными ребрами / В.А. Сотченко // В кн.: Исследование процессов тепло-массопереноса. – К.: Наук. думка, 1979. – С.53–58.
7. Старнер. Опытное исследование естественной конвекции на поверхности с прямоугольными ребрами / Старнер, Макманус // Теплопередача. – 1963. – №3. – С.103–109.
8. Трепутнев В.В. Экспериментальное исследование теплоотдачи вертикальных поверхностей с непрерывным ребрением при естественной конвекции / В.В. Трепутнев, В.Г. Горобец // Пром. теплотехника. – 1998. – №6. – С.19–24.
9. Elenbaas W. Heat dissipation of parallel plates by free convection / W. Elenbaas // Physica. – 1942. – V.9. – №1. – P.1–28.
10. Chaddock J.B. Free convection heat transfer from vertical rectangular fin arrays / J.B. Chaddock // ASHRAS Journal. – 1970. – V.7. – №8. – P. 40–47.
11. Raithby G.D. A general method of obtaining approximate solution to laminar and turbulent free convection problems / G.D. Raithby, K.G. Hollands // Advances in Heat Transfer. – 1975. – V.11. – Acad. Press. – New York. – P.265–315.
12. Tao L.N. On combined free and forced convection in channels / Tao L.N. // J. Heat Transfer. – 1960. – V.82. – №3. – P.233–238.

Разработана методика расчета сопряженного теплообмена вертикального плоскопараллельного оребрения в условиях свободной конвекции. Проведен расчет и определены основные интегральные и локальные характеристики исследуемой поверхности. Проведено сопоставление с известными экспериментальными данными и результатами расчета по упрощенным моделям теплопереноса.

Вертикальная поверхность с плоскопараллельным оребрением, свободная конвекция, теплообмен, тепловой поток, температурное распределение, эффективность ребра.

The technique of calculation of conjugate heat transfer for planar vertical finning under conditions of natural convection is developed. The calculation and principal integral and local characteristics of the surface are found. Comparison with known experimental data and the calculation results in a simplified model of heat transfer are made.

Vertical planar surface with fins, free convection, heat transfer, heat flow, temperature distribution, efficiency fin.

УДК 620.92

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АККУМУЛЯТОРОВ ГЕЛИОУСТАНОВОК

Б.Х. Драганов, доктор технических наук

Изложен метод анализа теплообменных процессов в аккумуляторе и указаны пути их решения. Приведены основы оптимизации исследуемых процессов.

Математическое моделирование, краевые условия, преобразование Ханкеля и Лапласа, критерий Прандтля, функциональный оператор.

Энергетические системы с использованием солнечной энергии имеют много преимуществ: неисчерпаемость, бесплатность их использования, безопасность эксплуатации, минимальное воздействие на окружающую среду и достаточно высокая эстетичность.

Однако этим системам присущи и недостатки, среди которых, прежде всего, изменчивость во времени. Этот недостаток может быть снижен при использовании аккумуляторов энергии.

Надежные и эффективные системы аккумулирования энергии не только обеспечат стабильное энергоснабжение потребителей, но и повысят коэффициент использования энергии за счет накопления пиковой и низко потенциальной энергии, которая не может быть получена

© Б.Х. Драганов, 2014

Викладено метод аналізу теплообмінних процесів в акумуляторі та вказано шляхи їх вирішення. Наведені основи оптимізації досліджуваних процесів.

Математичне моделювання, крайові умови, перетворення Ханкеля і Лапласа, критерій Прандтля, функціональний оператор.

The article a method for the analysis of heat transfer processes in the accumulator and the indicated solutions. The foundations of the optimization of the processes studied.

Mathematical modeling, boundary conditions, Hankel transform and Laplace, Prandle criterion , functional operator.

УДК 007.52

ОРІЄНТАЦІЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА В ПРОСТОРІ ТЕПЛИЦІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЙМОВІРНІСНИХ АВТОМАТІВ ТА СТИМУЛЮЮЧОГО НАВЧАННЯ

***В.П. Лисенко, І.М. Болбот, кандидати технічних наук
І.І. Чернов, аспірант****

Розглянуто метод вирішення задачі орієнтування мобільного робота за допомогою ймовірнісних автоматів. Опрацьовано теоретичну складову ймовірнісних автоматів теплиці як поля для переміщення робота. На основі теоретичних досліджень створено програмне забезпечення, що дозволяє розраховувати шлях пересування робота в просторі теплиці із урахуванням імовірних перешкод.

Імовірність, орієнтування мобільного робота, тепличне господарство, стимулююче навчання.

Дотепер часу успішно вирішені завдання глобальної навігації, але її використання стає проблематичним, коли потрібно, щоб робот орієнтувався всередині приміщень. Взагалі робота всередині закритих приміщень характеризується безліччю найрізноманітніших перешкод, починаючи від нерівномірності освітлення і закінчуючи проблемами відображення радіосигналів. У такому разі середовище вважається погано обумовленим, з ненадійними каналами зв'язку, з принциповою неточністю і невизначеністю. Тоді очевидною стає необхідність дослідження способів орієнтування, здатних працювати в цьому середовищі.

Мета досліджень – створення алгоритму орієнтування мобільного робота в просторі блочної теплиці, що має деяку стохастичну природу.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор В.П. Лисенко

© В.П. Лисенко, І.М. Болбот, І.І. Чернов, 2014

Матеріали та методика досліджень. За результатами аналізу сучасних систем орієнтації у просторі роботів та засобів машинного навчання порівнювались різні алгоритми пошуку оптимального шляху із урахуванням слабкої формалізації умов при постановці задачі.

Результати досліджень. Питання управління роботами розглядається в рамках так званої інтелектуальної робототехніки. Саме поняття є нині не цілком визначеним. Більшість визначень інтелектуального робота зводяться до перерахування інтелектуальних властивостей, якими він повинен володіти («зір», «слух», «планування» і т.д., аж до вказівки конкретних механізмів штучного інтелекту). Менш формальним визначенням є здатність системи вирішувати завдання, сформульовані в загальному вигляді [2].

Оскільки теплиця є зоною роботи не тільки робота, але й людей, що обслуговують її та доглядають за рослинами, роботу недостатньо пересуватись визначеним маршрутом, що задає оператор. Він повинен шляхом накопичення досвіду вчитись оминати перешкоди, що стають на його шляху та брати до уваги ймовірність тієї чи іншої події, та відповідно вибудовувати свій маршрут згідно з цим прогнозам.

Для побудови керуючих імовірнісних автоматів використовуються методи, які оцінюють реакцію автомата і певним чином перерозподіляють ймовірності, пов'язані з цією реакцією. У загальному випадку це зводиться до перевірки певної умови, на основі якого робиться висновок про те, була реакція хорошою чи поганою. При цьому результуючий автомат буде більшою мірою слідувати визначеній стратегії, оскільки алгоритм навчання не враховує, що «хороша» реакція на цьому кроці може призвести до поганого результату на наступних кроках. Пропонується підхід, заснований на використанні алгоритмів стимулюючого навчання.

Нехай заданий мобільний робот, який взаємодіє з навколишнім середовищем, робить якісь дії. Середовище реагує на дії робота і певним чином рангує, або карає його. Для того, щоб робот зміг вибрати правильну тактику поведінки, йому слід стежити за рангами (покараннями) від навколишнього середовища. Такий вид навчання називається стимулюючим (рис. 1). Поведінка робота щодо означеної задачі характеризується такими параметрами: S – множина станів, в яких може перебувати мобільний робот; A – множина доступних робота дій; t – дискретний крок за часом; на кожному кроці робот розпізнає поточний стан $s_t \in S$ і вибирає дію $a_t \in A$; після цього навколишнє середовище повертає мобільному роботу ранг $r_t = (s_t, a_t)$ і переносить його в новий стан $s_{t+1} = \delta(s_t, a_t)$.

Для розглянутого випадку функції δ і r є частиною навколишнього середовища і роботу невідомі. Також розглядаються лише кінцеві множини S і A .

Завдання робота полягає в тому, щоб знайти оптимальну стратегію вибору наступної дії щодо поточного стану $\pi: S \rightarrow A$. Для оцінки оптимальності знайдених стратегій використовуються різні моделі, але на практиці перевага віддається моделі нескінченного горизонту. Відповідно

до цієї моделі оптимальною називається стратегія, що максимізує ранг робота відповідно до такої формули [3]:

$$V^{\pi}(s_t) \equiv r_t + \gamma r_{t+1} + \gamma^2 r_{t+2} + \dots \equiv \sum_{i=0}^{\infty} \gamma^i r_{t+i}, \quad (1)$$

де $0 \leq \gamma \leq 1$ – деяка константа, яка дозволяє більшою мірою враховувати нагороду, отриману від навколишнього середовища тут і зараз, ніж у найближчому майбутньому. Це справедливо для більшості реальних завдань, оскільки, чим раніше робот отримає нагороду тим краще. Нагорода, яку він теоретично повинен отримати через двадцять кроків, може і не дістатися роботу, якщо у нього в запасі їх залишилося всього десять.



Рис.1. Цикл навчання

Оптимальну стратегію поведінки робота можна виразити таким співвідношенням [3]:

$$\pi^* \equiv \arg_{\pi} \max V^{\pi}(s), \quad (\forall s). \quad (2)$$

Для зручності позначимо $V^*(s)$ функцію прибутку, відповідну оптимальній стратегії. Тоді попередню тотожність (2) можна переписати у вигляді [3]:

$$\pi^*(s) \equiv \arg_{\pi} \max [r(s, a) + \gamma V^*(\vartheta(s, a))]. \quad (3)$$

Головне завдання робота – знайти оптимальну стратегію π^* . Однак безпосередньо обчислити функцію $\pi: S \rightarrow A$ досить важко, оскільки вся інформація, доступна роботу, – це послідовність заохочень від навколишнього середовища $r(s_i, a_i)$, де $i = 0, 1, 2, \dots$

Цю проблему можна вирішити введенням так званої Q-функції [3]:

$$Q(s, a) \equiv r(s, a) + \gamma V^*(\vartheta(s, a)). \quad (4)$$

Вираз (5) для кожної пари стан – дія (s, a) повертає максимальний ранг, яку отримає робот, якщо, перебуваючи в стані s , вибере дію a . Цю тотожність для оптимальної стратегії можна переписати у вигляді [3]:

$$\pi^*(s) \equiv \arg_{\pi} \max Q(s, a). \quad (5)$$

Ця формула показує, що для знаходження оптимальної стратегії роботу замість функції V^* достатньо обчислити функцію Q , що дозволяє

вибирати оптимальне дію для поточного стану без будь-яких знань про функції δ і r .

Таким чином, для одержання оптимальної стратегії потрібно знайти значення функції Q , яка обчислюється безпосередньо через взаємодію робота з навколишнім середовищем (через послідовність $r(s_i, a_i)$, де $i = 0, 1, 2, \dots$).

Внутрішньою моделлю для цього методу є Q -функція, яка показує потенційний ранг робота для всіх пар стан–дія. На основі цієї моделі для кожного стану робота логічно зіставити ймовірності переходів вихідного автомата кожному з можливих дій робота пропорційно очікуваного прибутку для цієї дії. Таким чином, перебуваючи в стані s_i , робот повинен вибрати дію a_j ($0 \leq j \leq n_i$) з імовірністю [4]:

$$p_j = \frac{R(s_i, a_j)}{\sum_{k=0}^{n_i} R(s_i, a_k)}, \quad (6)$$

$$R(s_i, a_k) = \begin{cases} Q(s_i, a_k) & \text{при } Q(s_i, a_k) \geq 0 \\ 0 & \text{при } Q(s_i, a_k) < 0 \end{cases}, \quad (7)$$

де n_i – число доступних робота дій у стані s_i (при цьому a_0 означає, що робот не робить ніяких дій і залишається в поточному стані).

Вираз (7) задає нульові ймовірності діям з від'ємним значенням Q -функції. Таким чином, виключається можливість того, що робот здійснить заздалегідь не вигідну для нього дію. Прикладом заздалегідь не вигідної дії може бути спроба мобільного робота вчинити дію «йти вперед», коли перед ним знаходиться стіна. У цьому випадку робот залишається на місці і отримує негативне число при «неправильній» дії. При традиційному підході, коли робот слідує оптимальній стратегії π^* , така дія виключається в силу того, що потенційний ранг для нього буде в будь-якому випадку менше, ніж для будь-якої осмисленої дії.

Для реалізації алгоритму необхідно задати деякі умови для його успішного виконання:

- мобільний робот рухається в просторі теплиці та повинен пройти під час свого руху певні контрольні точки, що задаються оператором перед запуском робота;
- оскільки робот під час руху між рядами рослин знаходиться на напрямних, кількість його дій у цей момент обмежена рухом вперед чи назад;
- заїзд на напрямні здійснюється за допомогою кольорової розмітки, що нанесено на підлогу теплиці (рис.2);
- за наявності перешкоди на маршруті робот визначає її ультразвуковим датчиком; якщо є можливість її обминати, то здійснюється маневрування; за неможливості дістатися до певної цілі робот подає звуковий сигнал та відправляє повідомлення оператору і переходить до наступної цілі;

- для спрощення орієнтації робота умовно простір теплиці розбито на сектори; зміну сектора робот відстежує за допомогою кольорових міток на горщиках рослин.

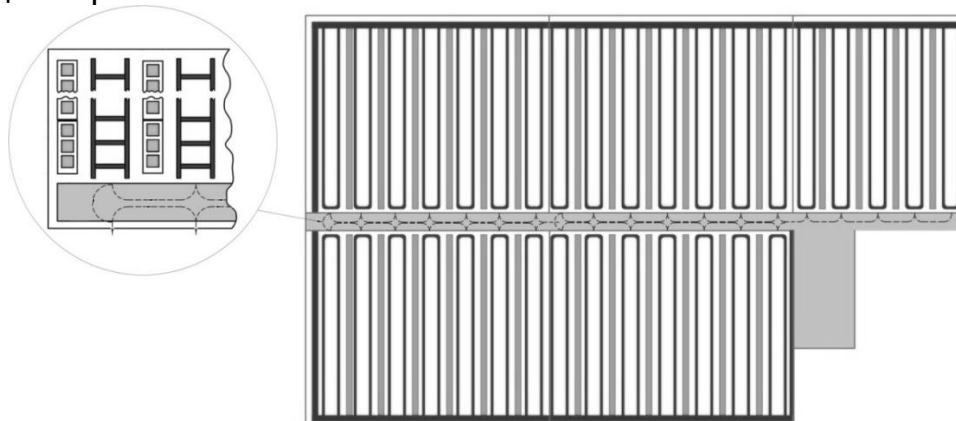


Рис.2. Візуальний план теплиці та розмітка для спрощення орієнтування робота

Для демонстрації роботи алгоритму розраховується рух робота по лівому блоку теплиці (рис.3). На рисунку темнішим відтінком показано клітинки, на які робот не може заїхати, світлішим – клітинки цілі, які визначені оператором.

Клітинки-стани нумеруються рядками, починаючи від 1 для верхньої лівої клітинки і закінчуючи 400 для нижньої правої. Дії робота теж нумеруються, починаючи з 1: 1 – рух вгору, 2 – рух вправо, 3 – рух вниз, 4 – рух вліво.

Виконуючи навчання мобільного робота згідно з описаними алгоритмами отримуємо автоматну модель поставленої задачі, що являє собою стохастичну матрицю переходів. Рядки цієї матриці відповідають клітинкам-станам мобільного робота, стовпці – можливим діям. Таким чином, стохастична матриця переходів зіставляє з кожною парою стан-дія значення імовірності цієї дії. Значення відповідних ймовірностей стохастичної матриці переходів розраховуються за виразом (6).

2	4	6	8	10	12	14	16	18	
22	24	26	28	30	32	34	36	38	
42	44	46	48	50	52	54	56	58	
62	64	66	68	70	72	74	76	78	
82	84	86	88	90	92	94	96	98	
102	104	106	108	110	112	114	116	118	
122	124	126	128	130	132	134	136	138	
142	144	146	148	150	152	154	156	158	
162	163	164	165	166	167	168	169	170	171
182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
202	203	204	205	206	207	208	209	210	211
222	223	224	225	226	227	228	229	230	231
242	244	246	248	250	252	254	256	258	
262	264	266	268	270	272	274	276	278	
282	284	286	288	290	292	294	296	298	
302	304	306	308	310	312	314	316	318	
322	324	326	328	330	332	334	336	338	
342	344	346	348	350	352	354	356	358	
362	364	366	368	370	372	374	376	378	
382	384	386	388	390	392	394	396	398	

Рис. 3. Поле переміщень робота по лівому блоку теплиці

Нульові ймовірності вибору дії в таблиці (рис. 3) показують спробу робота вийти за межі поля, що призводить до негативної оцінки сумарного прибутку. Із таблиці виключені клітинки темного кольору, тому що робот не може на них знаходитися.

Для візуальної демонстрації на рис.4 показано інтерфейс користувача. Розмір поля задається користувачем. Також користувач визначає: цілі – лівий клік мишею (зелений колір) та перешкоди – правий клік (червоний колір).

Значення кількості ітерації визначає кількість циклів навчання, параметр рівня навчання позначає те, як добре робот вивчає успішні маршрути (не рекомендується виставляти цей параметр занадто високим). Значення штрафів та нагород визначають, яку вигоду робот отримує при знаходженні цілі або при спробі виходу з поля, та встановлюються експериментально.

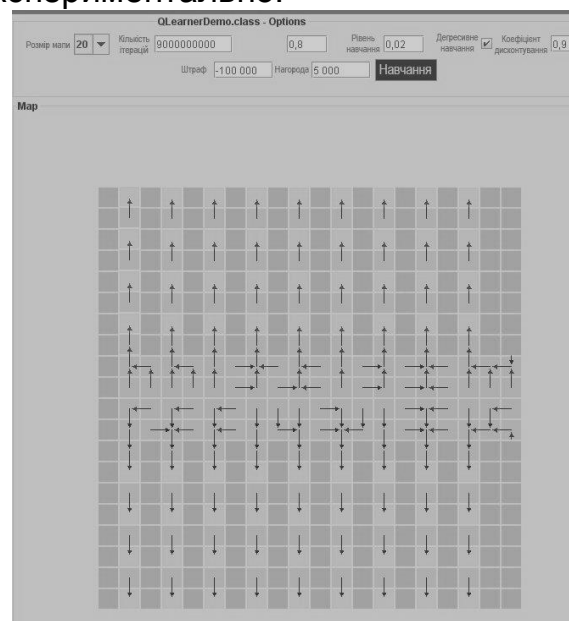


Рис.4. Інтерфейс програмної реалізації алгоритму

Для успішного проходження маршруту алгоритму потрібно пройти період навчання на накопичення досвіду спроб та помилок. Із накопиченням досвіду кількість невдалих спроб і час проходження маршруту зменшується, а кількість отриманих рангів навпаки зростає (рис.5).

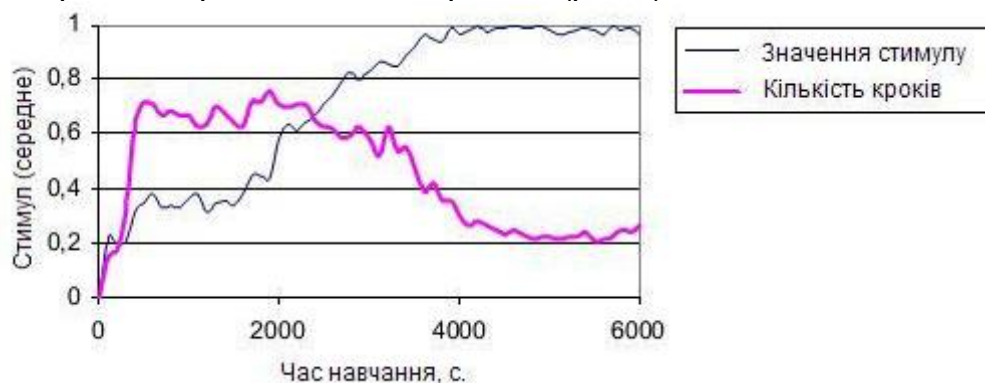


Рис.5. Графік залежності часу навчання та отриманих рангів

Висновки

Враховуючи стохастичну природу можливих перешкод у теплиці, доцільно для орієнтування мобільного робота в просторі блочної теплиці, використовувати ймовірнісні алгоритми машинного навчання. Після періоду навчання ефективність роботи алгоритму стимулюючого навчання значно збільшується і дозволяє мобільному роботу самостійно пересуватися в просторі блочної теплиці, оминаючи перешкоди.

Список літератури

1. Добрынин Д. А. Моделирование некоторых форм адаптивного поведения интеллектуальных роботов / Д.А. Добрынин, В.Э. Карпов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2006. – №2. – С.45–54.
2. Карпов В.Э. К вопросу об управлении мобильным роботом в условиях общей постановки задачи / В.Э. Карпов // Вестник компьютерных и информационных технологий.– 2008. – № 1. – С. 2–9.
3. Ghnemat R. Agent based Modeling for Spatial self organization /Complex Systems – Computer Sciences Implementation Applications to Engineering. 2007.
4. Mitchel T. Machine Learning. McGraw Hill Education (ISE Editions). 1997.

Рассмотрен метод решения задачи по ориентированию мобильного робота на основе использования вероятностных автоматов. Проработана теоретическая составляющая вероятностных автоматов теплицы как поля для перемещения робота. На основе теоретических исследований создано программное обеспечение, позволяющее рассчитывать путь передвижения робота в пространстве теплицы с учетом возможных препятствий.

Вероятность, ориентирование мобильного робота, тепличное хозяйство, стимулирующее обучение.

Considered the method of solving the problem orienteering mobile robot based on the use of probabilistic automata. Elaborated theoretical component of probabilistic automata, greenhouses as fields to move the robot. On the basis of theoretical studies created software that allows you to calculate the path of movement of the robot in space greenhouses considering possible obstacles.

Probability, orientation of mobile robot, greenhouses, stimulating learning.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Б.Х. Драганов, доктор технических наук

А.В. Мищенко, Е.В. Шелиманова, кандидаты технических наук

Проанализирован процесс теплообмена в пористой среде. Изучаемый процесс предполагается осесимметричным и стационарным, его эффективность определяется по величине производства энтропии.

Пористая среда, теплообмен, диссипация тепловой энергии, степень производства энтропии, функция Бесселя.

Пористые среды широко используются во многих областях теплоэнергетики. Они играют существенную роль в процессах аккумуляции тепла. Аккумуляция энергии не только обеспечит стабильное энергоснабжение потребителей, но и повысит коэффициент использования энергии за счет накопления пиковой и низкопотенциальной энергии, которая не может быть получена без соответствующих ее преобразований. Поэтому проблема наиболее эффективного аккумуляции является, несомненно, актуальной. Применение тепловых аккумуляторов позволяет значительно повысить эффективность использования возобновляемых источников энергии [1, 13].

Проблеме тепломассообмена в пористых средах посвящено большое количество работ [10, 14, 18, 20].

Цель исследований – изучение температурного поля ограниченного цилиндра при наличии внутреннего источника тепла.

Материалы и методика исследований. Можно принять, что перемещение жидкости в баке незначительное и поэтому основным процессом передачи тепла является теплопроводность.

Таким образом, задача формулируется следующим образом: дано ограниченный цилиндр ($-h < z < h$, $\omega < r < R$), что сначала имеет температуру, равную температуре окружающей среды T_0 . В начальный момент времени боковая поверхности цилиндра и поверхности торцов начинают нагреваться с постоянной скоростью b град/с, где $b \leq \lambda / \sqrt{a}$ – коэффициент тепловой активности (λ – теплопроводность; a – температуропроводность).

Согласно формулировке задачи математическая модель формируется в виде двумерного уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах [5]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right]. \quad (1)$$

Краевые условия записываются следующим образом

$$T(r, z, 0) = T_0; \quad (2)$$

$$T(r, h, \tau) = T(R, z, \tau) T_0 + b \tau; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T(r, 0, \tau)}{\partial z} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial T(0, z, r)}{\partial r} = 0. \quad (5)$$

Общее решение сформулированной задачи основывается на методе интегральных преобразований Ханкеля и Лапласа [2]:

$$T(r, z, t) - T_0 = br - \frac{bR^2}{4a} \left[1 - \frac{r^2}{R^2} - 8 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) \operatorname{ch} \mu_n \frac{z}{R}}{\mu_n^3 J_1(\mu_n) \operatorname{ch} \mu_n k} \right] + \\ + \frac{4bh^2}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m+1} J_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) \cos \lambda_m \frac{z}{h}}{\mu_n J_1(\mu_n) \lambda_m (\lambda_m^2 + \mu_n^2 k^2)} \times \exp\left[-(\lambda_m^2 + \mu_n^2 k^2) Fo_h\right] \quad (6)$$

В этом уравнении, кроме вышеуказанных, приняты, обозначения: J_0, J_1 – функции Бесселя нулевого и первого порядка первого рода; $\lambda_m = (2m-1)\pi/2$ – теплопроводность; m – темп изменения температуры; $k = h/R$; $Fo = a\tau/h$ – критерий Фурье; μ_n – корни характеристического уравнения:

$$J_0(\mu) = 0. \quad (7)$$

Из уравнения (6) можно получить безразмерные зависимости для рассматриваемого процесса:

$$\frac{\theta}{PdFo} = f\left(k, \frac{r}{R}, \frac{z}{h}, Fo\right), \quad (8)$$

где $Pd = \left(\frac{d\theta}{dFo}\right)_{\max}$ – критерий Предводителя; $\theta = \frac{T(r, z, \tau) - T_0}{T_0}$ –

относительная избыточная температура в произвольной точке тела.

Приведенное критериальное уравнение может быть использовано для обработки исследуемых параметров в безразмерных координатах, которые лежат в основе обработки экспериментальных данных.

Результаты исследований. Для оптимизации энергетических систем в настоящее время используются следующие методы:

- теоретико-графовых построений [17];
- эксергоэкономический [16, 18];
- энтропийный [12, 15, 20].

При оптимизации энергопотребляющих систем методом энтропийного анализа нет необходимости оперировать показателями стоимости элементов исследуемых вариантов структуры установки. Поэтому целесообразно обратиться к этому методу по энергетическим показателям.

Исходная система уравнений для осесимметричного и стационарного случая записывается так:

– состояния:

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho u) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v) = 0, \quad (9)$$

– движения в направлении координаты z :

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho u u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v u) = -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu_e \frac{\partial u}{\partial r} \right) - f \frac{\mu_e u}{K} - f \frac{\rho F}{\sqrt{K}} |u| u, \quad (10)$$

– движения в направлении радиуса r :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z}(\rho u v) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v v) = & -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu_e \frac{\partial v}{\partial r} \right) - \\ & - f \frac{\mu_e v}{K} - f \frac{\rho F}{\sqrt{K}} |u| v - \frac{\mu_e v}{r^2} n, \end{aligned} \quad (11)$$

где u , v – компоненты скорости; ρ – плотность; f – параметры, определяющие степень пористости исследуемого тела; μ_e – эффективная вязкость; K – площадь, м^2 ; F – показатель интенсивности; $|u| = (u^2 + v^2)^{0.5}$, м/с .

Уравнение энергии, если пренебречь эффектом диссипации, в силу вязкости, а также теплообменом имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho_e c_e u T) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}(\rho_e c_e r^n v T) = \frac{\partial}{\partial z} \left(k_e \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^n k_e \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (12)$$

где k_e , c_e и ρ_e – соответственно эффективный коэффициент теплопроводности, эффективный коэффициент теплообмена и эффективная плотность.

В безразмерной форме анализируемая система уравнений записывается следующим образом:

– в направлении Z :

$$\frac{\partial}{\partial Z}(VU) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n VU) = -\frac{\partial P}{\partial Z} + \frac{1}{R_e} \left[\frac{\partial}{\partial Z} \left(\frac{\partial U}{\partial Z} \right) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial U}{\partial R} \right) \right] - f \frac{U}{D_a R_e}, \quad (13)$$

– в направлении R :

$$\frac{\partial}{\partial Z}(UV) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n VU) = -\frac{\partial P}{\partial R} + \frac{1}{R_e} \left[\frac{\partial}{\partial Z} \left(\frac{\partial V}{\partial Z} \right) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial V}{\partial R} \right) \right] - f \frac{V}{D_a R_e} - f \frac{V}{R_e R^2} n; \quad (14)$$

– уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial Z}(U\Theta) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n V\Theta) = \frac{1}{P_e} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial Z^2} \right) + \frac{1}{P_e R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial \Theta}{\partial R} \right). \quad (15)$$

Диссипация тепловой энергии для асимметричного движения представляется так:

$$\Phi = 2 \left[\left(\frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{v}{r} n \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial r} \right]^2. \quad (16)$$

Генерация энтропии в безразмерной форме равна:

$$E_g = \left(\frac{\partial \Theta}{\partial Z} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Theta}{\partial R} \right)^2 + (1-f) Br_m \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial V}{\partial R} \right)^2 + \left(\frac{V}{R} n \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial Z} \right)^2 \right] + \left[\frac{\partial V}{\partial Z} + \frac{\partial U}{\partial R} \right]^2 \right\} + f \frac{Br_m}{D_a} [\bar{V}]^2. \quad (17)$$

В уравнениях (13 – 17) приняты обозначения:

$Z = z/z_{in}$; $U = u/u_{in}$; $V = v/v_{in}$; $R = r/r_{in}$; $\Theta = (T - T_{in})/T_w - T_{in}$; $P = p/p_{in}$; $\Theta = (T - T_{in})/T_w - T_{in}$; $P = p/p_{in}$; $D_a = k/r_0$ – число Дарси; $R_e = \rho \cdot u_{in} \cdot r/\mu$ – число Рейнольдса; Br_m – преобразованное число Брикмана.

Энтропийный метод анализа и концепция эксергоэкономической оптимизации получили особое развитие в последние два-три десятилетия благодаря научным работам А. Бежана и Т. Морозюк.

Выводы

Пористые среды играют существенную роль не только в технических областях, но и в природе, биологии и заслуживают всестороннего анализа. Следует отметить исключительную роль в исследованиях термобиологических явлений И. Пригожина и его научной школе [6 – 8].

Список литературы

1. Амерханов Р.А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии / Р.А.Амерханов. – М.: Колос, 2003. – 532 с.

2. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г.Бекман, П.Гилли – М.: Мир, 1987. – 272 с.
3. Долинский А.А. Оптимизация энергетических систем методом теоретико-графовых построений/А.А. Долинский, Б.Х. Драганов. – К.: Академперіодика, 2013. – 37 с.
4. Долинский А.А. Оптимизация энергоэкономической системы теплоснабжения при использовании возобновляемых источников энергии / А.А. Долинский, Б.Х. Драганов // Пром. теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 1. – С. 5 – 9.
5. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В.Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.
6. Николис Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин . – М.: Мир, 1990. – 342 с.
7. Николис Г. Самоорганизация в неравномерных системах/ Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
8. Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М.: Мир, 2008. – 462 с.
9. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы./ Дж. Тсатсаронис. – Одесса: Студия «Негоциант», 2002. – 152 с.
10. Began A. Forma si structura de la energie la natura. – Bucuresti: Editura Agir, 2004. – 330 p.
11. Began A. Thevml Designand Optimization /A. Began, G. Tsatsaronis, M. Moran // New York: J. Wiley, 1796. – 571 p.
12. A. Bejan entropy generation minimization in heat transfer. In: E. Sciubba. M. Moran (Eds.) second Law Analysis of Energy systems: toward the 21st century. Proceedings of International Conferences ROMA', 1995. – P. 363 – 372.
13. Draganov B.H. Complex use of Renewable/B.H. Draganov, L.A. Fara // Solar energy for Sustainable Development. 1995. – 4.– №1,2. – P.38-41.
14. J.Y. Jang, J.L. Chen Forced convection in a parallel plate channel partially filled with a high porosity medium. Int. Commun. Heat Mass Transfer 19 (1992). P. 263 – 273.
15. J.L. Lage, A. Narasimhan Porous media enhanced forced convection fundamentals and applications, in: K. Vafai, H.A. Hadim (Eds.), Handbook of Porous Media, Marcel Dekker, New York, 2000. 430 p.
16. G. Lauriant. R. Ghafir Forced convective transfer in porous media, in: K. Vafai, H.A. Hadim (Eds.), Handbook of porous Media, Marcel Dekker, New York, 2000.
17. A.A. Mohamad Heat transfer enhancements in heat exchangers fitted with porous media Part I: constant wall temperature. Int. J. Therm. Sci. 42 (2003). – P. 385 – 395.
18. T. Morosuk Porous media theory for fouling problems in heat exchangers of refrigeration machines and heat pumps, on current issues on heat and mass transfer in porous media, in: Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Porous Media, 9-20 June 2003, Neptun, Romania, 2003. – P. 406 – 416.
19. T.V. Morosuk Entropy generation in conduits filled with porous medium totally and partially/International Journal of Heat and Mass Transfer 48 (2005). – P. 2548 – 2560.
20. D. Poulikakos, M. Kazmierczak Forced convection in a duct partially filled with a porous material, ASME J. Heat Transfer 109 (1987). P. 653 – 662.

Проаналізовано процес теплообміну в пористому середовищі. Досліджуваний процес передбачається осесиметричним і стаціонарним, його ефективність визначається за величиною виробництва ентропії.

Пористе середовище, теплообмін, дисипація теплової енергії, ступінь виробництва ентропії, функція Бесселя.

Analysis of the process of heat transfer in porous media. Learning process is supposed osimetrichnym and stationary. Investigated the effectiveness of the process is determined by the value of the entropy production.

Porous medium, heat transfer, heat dissipation, the degree of entropy production, the Bessel function.

УДК 004.896

ПРОГНОЗ ТА ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСАХ

***В.П. Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа, А.О. Дудник,
кандидати технічних наук
Т.І. Лендєл, І.І. Чернов, аспіранти****

Проаналізовано динаміку зміни вартості альтернативних джерел енергії, оцінено актуальність створення прогностичних моделей вартості природного газу. Обґрунтовано застосування нейронних мереж для створення предиктів ціни природного газу. Вибрано багатошаровий перцептрон як інструментарій для створення прогнозів щодо ціни природного газу. Оцінено структуру вартості виробництва томатів. Проаналізовано ступінь перспективності використання альтернативних джерел енергії на тепличних комплексах.

Нейронна мережа, багатошаровий перцептрон, прогнозування, альтернативні джерела енергії.

Планування вартості енергоресурсів для великих підприємств дає можливість оцінювати майбутній його дохід та можливі варіанти розвитку в цілому. Очевидно, що за останній час для тепличних господарств найважливішим енергоресурсом став природний газ. Оскільки його ціна постійно змінюється, постає питання її адекватного прогнозування [3].

Разом із тим доцільно здійснити аналіз використання альтернативної енергетики на основі порівняння різних технологій її виробництва. Також, при аналізі оптимального вибору джерела енергії і способу її вироблення на

* Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор В.П. Лисенко

© В.П. Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа,
А.О. Дудник, Т.І. Лендєл, І.І. Чернов, 2014

Проаналізовано процес теплообміну в пористому середовищі. Досліджуваний процес передбачається осесиметричним і стаціонарним, його ефективність визначається за величиною виробництва ентропії.

Пористе середовище, теплообмін, дисипація теплової енергії, ступінь виробництва ентропії, функція Бесселя.

Analysis of the process of heat transfer in porous media. Learning process is supposed osimetrichnym and stationary. Investigated the effectiveness of the process is determined by the value of the entropy production.

Porous medium, heat transfer, heat dissipation, the degree of entropy production, the Bessel function.

УДК 004.896

ПРОГНОЗ ТА ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСАХ

***В.П. Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа, А.О. Дудник,
кандидати технічних наук
Т.І. Лендєл, І.І. Чернов, аспіранти****

Проаналізовано динаміку зміни вартості альтернативних джерел енергії, оцінено актуальність створення прогностичних моделей вартості природного газу. Обґрунтовано застосування нейронних мереж для створення предиктів ціни природного газу. Вибрано багатошаровий перцептрон як інструментарій для створення прогнозів щодо ціни природного газу. Оцінено структуру вартості виробництва томатів. Проаналізовано ступінь перспективності використання альтернативних джерел енергії на тепличних комплексах.

Нейронна мережа, багатошаровий перцептрон, прогнозування, альтернативні джерела енергії.

Планування вартості енергоресурсів для великих підприємств дає можливість оцінювати майбутній його дохід та можливі варіанти розвитку в цілому. Очевидно, що за останній час для тепличних господарств найважливішим енергоресурсом став природний газ. Оскільки його ціна постійно змінюється, постає питання її адекватного прогнозування [3].

Разом із тим доцільно здійснити аналіз використання альтернативної енергетики на основі порівняння різних технологій її виробництва. Також, при аналізі оптимального вибору джерела енергії і способу її вироблення на

* Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор В.П. Лисенко

© В.П. Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа,
А.О. Дудник, Т.І. Лендєл, І.І. Чернов, 2014

прикладі забезпечення тепловою енергією тепличного комбінату актуальним є врахування ризиків, пов'язаних зі зміною цін на паливо.

Мета досліджень – аналіз результатів прогнозування вартості різних видів енергії щодо доцільності їх використання при виробництві продукції в тепличних комплексах.

Матеріали та методика досліджень. Основна вартість вироблення електроенергії містить 4 складові: ціна палива, економія від зниження викидів CO₂ (дані European Trading System), вартість експлуатації та технічного обслуговування, капітальні витрати, включаючи планування і роботу на об'єкті.

При цьому приблизно 75 % загальної ціни вітроенергетичної установки (ВЕУ) припадає на початкові капіталовкладення, що включають вартість турбіни з перетворювачем, електрообладнання, мережевих підведень тощо. Затрати на техобслуговування ВЕУ берегового базування оцінюються в 1,2—1,5 євро/кВт за термін служби генератора (рис. 1) [4].

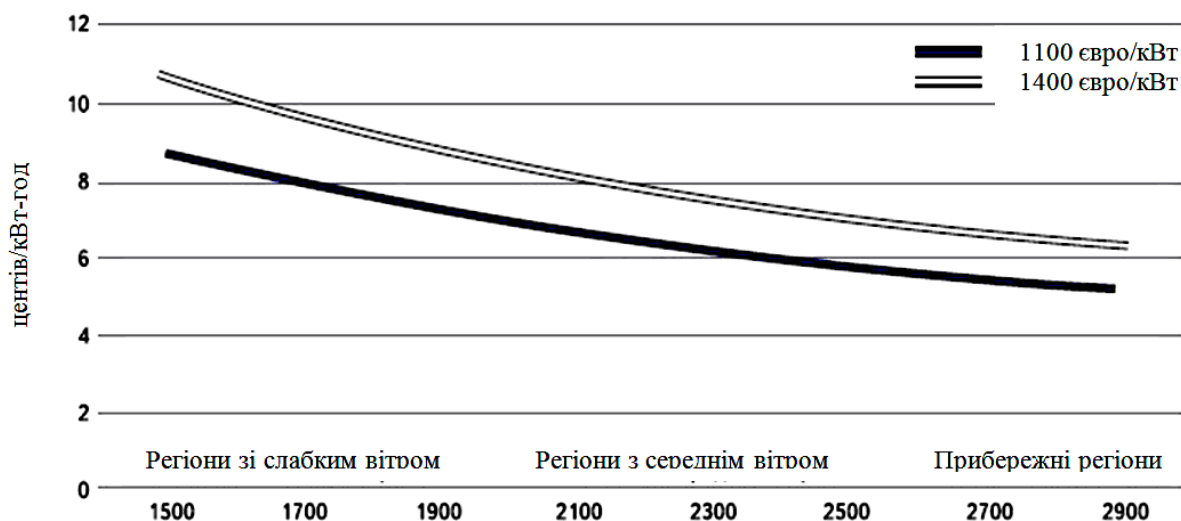


Рис.1. Графіки вартості вітрової енергії

Проведений на основі положення [5] аналіз показав, що використання енергії вітру дозволяє скоротити викиди CO₂ в середньому на 690 г/кВт при вартості 25 євро/т; виробництво 1 тВт альтернативної енергії дозволяє знизити споживання палива на 42 млн євро, при ціні нафти 90 \$/барель (рис. 2).

Збільшення обсягів використання сонячної енергії в 2013 році був не таким інтенсивним як у 2012 році, що викликано зростанням конкурентоспроможності інших видів енергії та потребою в перебудові мережевого господарства і створення накопичувальних потужностей [6]. Проте географічне розміщення господарства суттєво впливає на можливість використання сонячної енергії для опалення, адже у південних регіонах, де сонячних днів значно більше, потреба у тепличних підприємствах значно нижче, ніж у регіонах північного розташування. Тому, оптимальним варіантом може стати лише часткове застосування сонячної енергії поряд із традиційними видами.

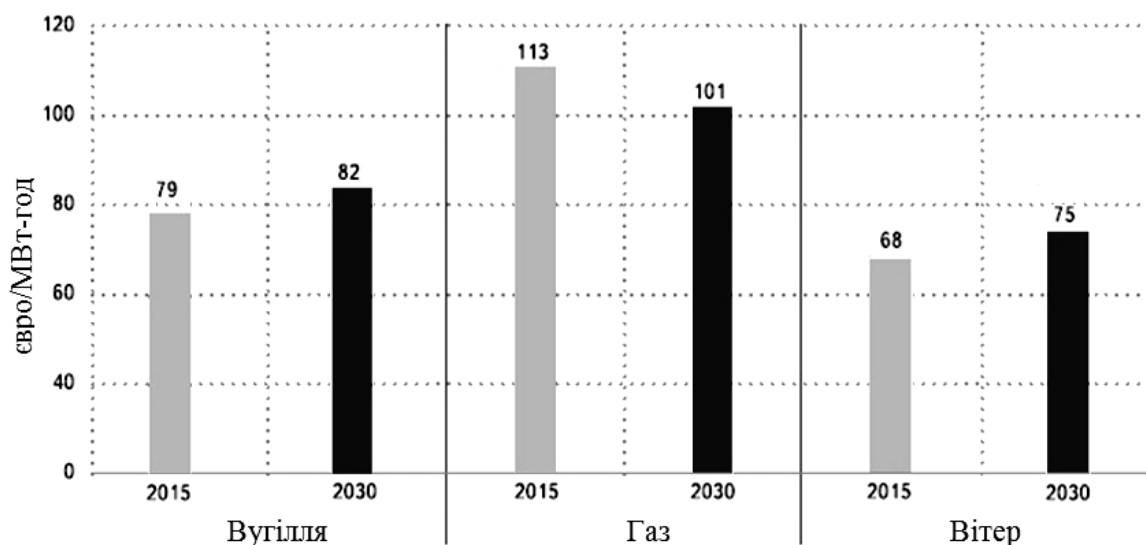


Рис.2. Прогнозована вартість джерел електроенергії

При цьому прогнозування вартості природного газу для України здійснювати дуже складно, оскільки на неї часто впливають геополітичні чинники.

Отже, актуальним є проведення комплексного аналізу предиктив вартості (собівартості) енергоносіїв як альтернативних, так і класичних при використанні їх тепличних комплексів.

Для прогнозування вартості газу, як часового ряду, застосовувався математичний апарат нейронних мереж (НМ). Оскільки у порівнянні з класичними методами аналізу часових рядів НМ мають певні переваги [1, 2]: постійна оптимізація власної структури з метою мінімізації прогностичної помилки в режимі реального часу; більш високі потенційні можливості при аналізі складних динамічних систем та закономірностей; здатність успішно вирішувати завдання, спираючись на неповну, викривлену і внутрішньо-суперечливу вхідну інформацію.

Для синтезу та дослідження відповідних НМ був використаний програмний пакет Statistica Neural Networks. Критерій – мінімізація помилки НМ. У контексті нашої задачі його перевага над аналогічними розробками полягає у реалізації функціонального блока оптимізації архітектури нейромоделей, який використовує лінійні підходи та метод імітації “відпалювання” на основі розподілу ймовірностей Гіббса:

$$P(\bar{x}^* \rightarrow \bar{x}_{i+1} | \bar{x}_i) = \begin{cases} 1, F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i) < 0 \\ \exp\left(-\frac{F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i)}{Q_i}\right), F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i) \geq 0 \end{cases}, \quad (1)$$

де $Q_i > 0$ — елементи довільно спадаючої до нуля послідовності.

Як навчальні вибірки застосовувалися статистичні дані щодо ціни на газ протягом 2002—2013 р.р. для України (рис. 3).

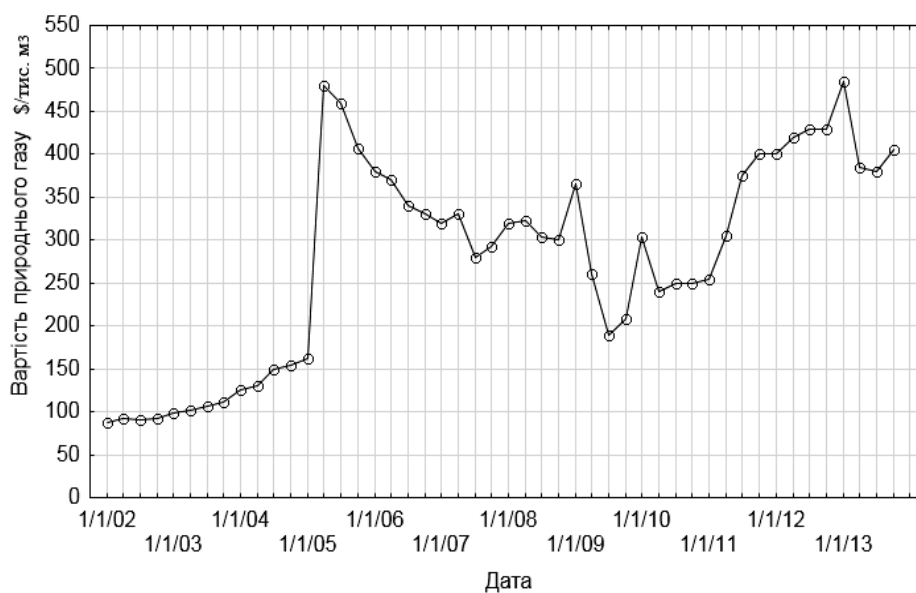


Рис. 3. Графік ціни на природний газ для України: 2002 – 2013 рр. (поквартально)

Використання нейронних мереж дозволило синтезувати прогнозований ряд ціни на природний газ і створити варіанти прогнозу ціни без останніх двох кварталів 2013 року (рис 4).

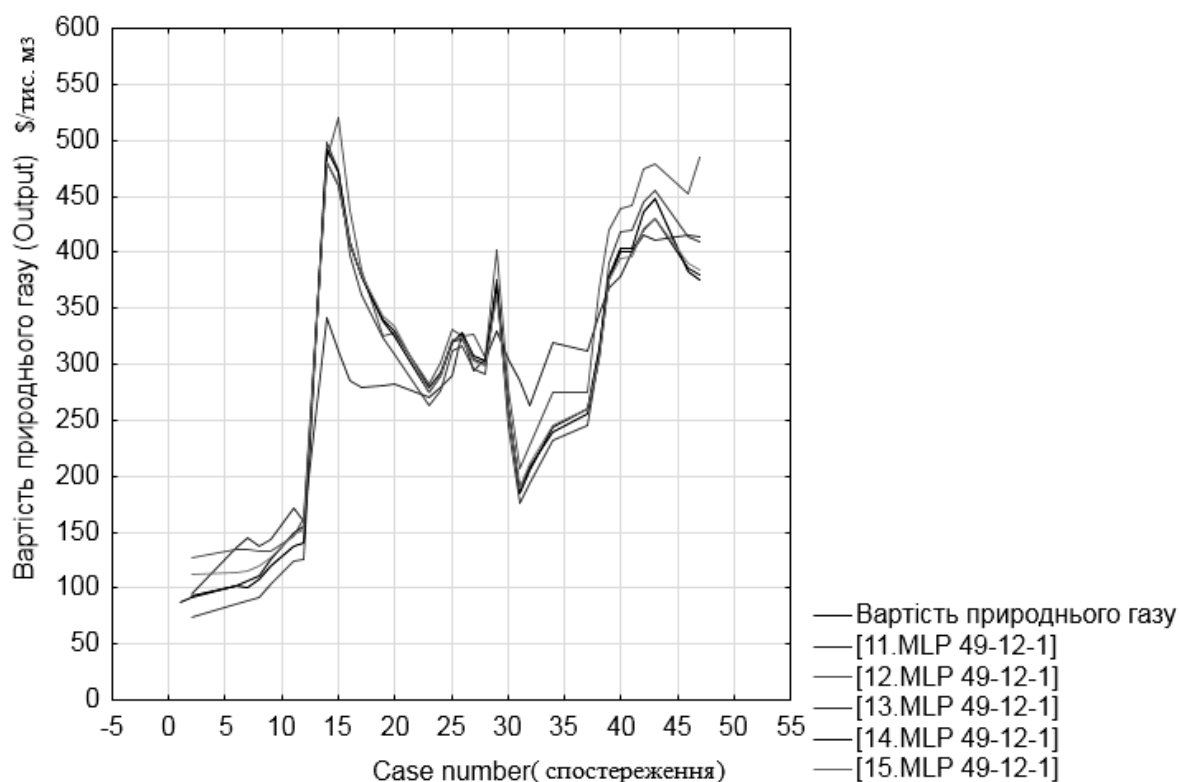


Рис. 4. Графік прогнозування ціни природного газу (Україна)

Найкращу якість навчального прогнозу показав багатошаровий персептрон: середньоквадратична похибка – 0,9 %. Подавши на вхід дані вартості газу двох останніх кварталів 2013 року, отримали якість прогнозу

– 34,8%, що свідчить про вплив непередбачуваних, з точки зору часового ряду, чинників.

Для порівняння, застосувавши аналогічний підхід, спрогнозували вартість ціни природного газу для Європи (рис. 5).

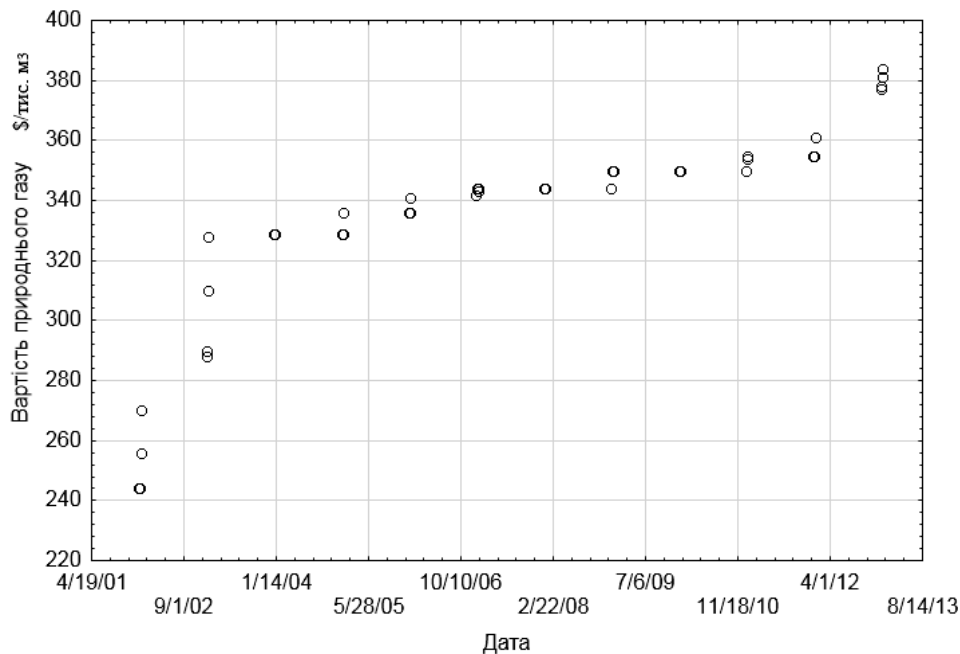


Рис. 5. Графік цін на природний газ для Європи: 2002 – 2013 рр. (поквартально)

Знову найефективнішу предикативність показав багатошаровий персептрон (рис. 6): навчальна середньоквадратична похибка – 1,6%. Однак, подавши на вхід мережі дані вартості газу двох останніх кварталів 2013 року, отримали якість прогнозу значно кращу: середньоквадратична похибка – 12,3 %, що свідчить про менший вплив непередбачуваних складових (геополітичних) на вартість енергоносія для Європи.

Отримані результати (див. рис. 4, 6) дозволяють стверджувати, що для Європи можна досить добре прогнозувати ціну на природний газ, оскільки тут менше впливають геополітичні чинники.

Такий прогноз із застосуванням навченого багатошарового персептрона показує зростання вартості природного газу до грудня 2017 р. на 9,7 %.

Окрім аналізу ціноутворення на енергоресурси для тепличних комплексів, також необхідно розглядати структуру енерговитрат при забезпеченні технологічних умов вирощування рослин.

Аналіз структури енерговитрат при виробництві томатів в умовах тепличного господарства дозволив встановити, що на обігрів шатра теплиці використовується близько 80 % теплоти, ґрунту – 9 %, води для підживлення рослин – 4 %, інші затрати складають – 7 %. Згідно з даними Діпрондісільпрому у 80-х роках витрати на обігрів зимових теплиць досягали 40 % всіх експлуатаційних витрат, нині ці витрати на обігрів сягають до 65...70 % (рис. 7).

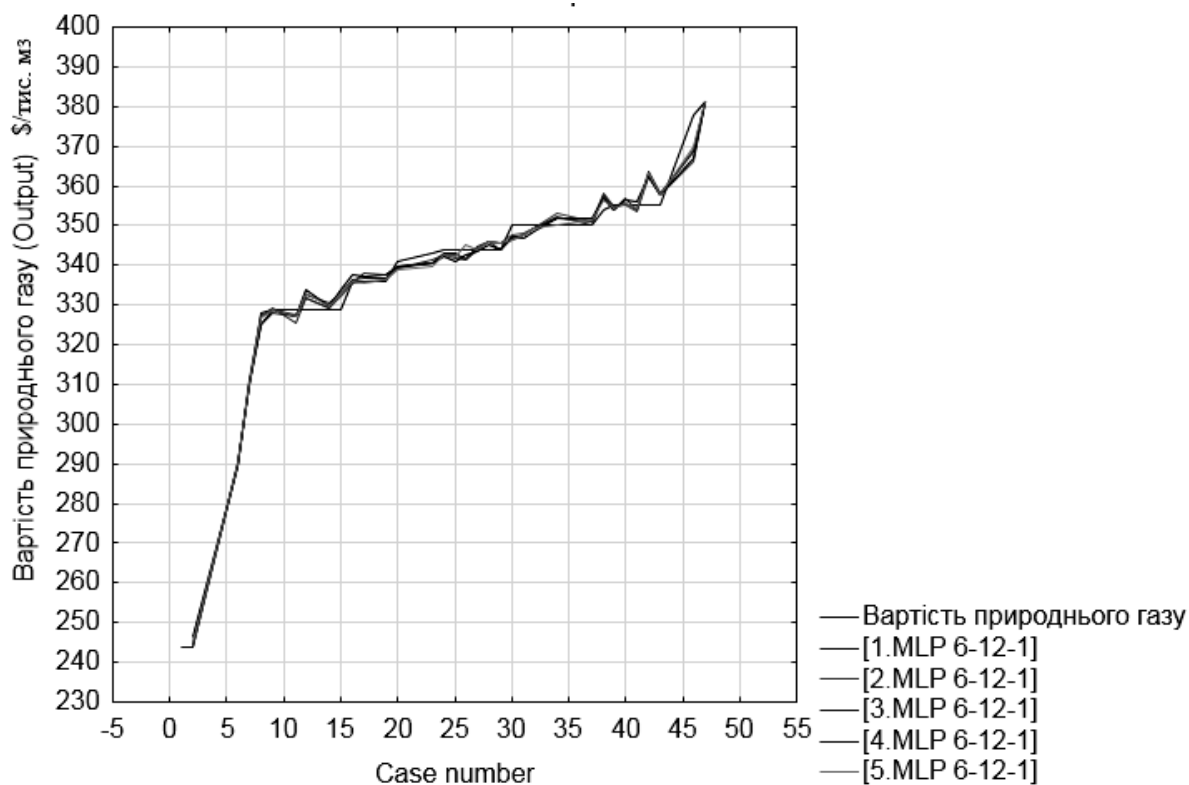


Рис. 6. Варіанти прогнозу ціни природного газу (Європа)

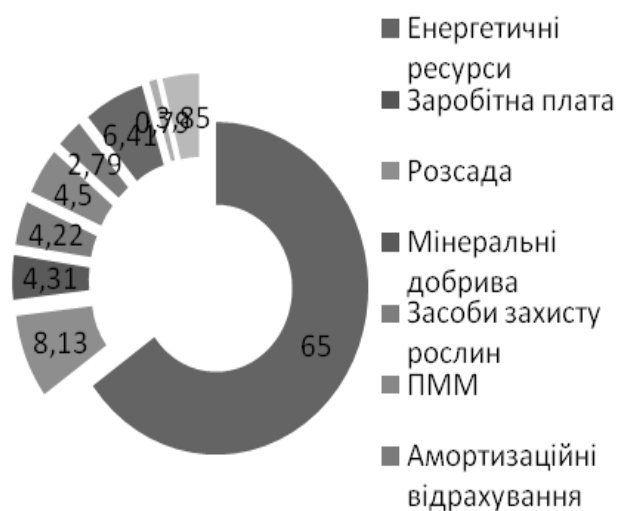


Рис.7. Структура собівартості виробництва томатів в Україні

Середня ціна томатів в Україні протягом 2013 року становила 30 грн/кг. Використання структури собівартості вирощування томатів і інформація про ціни на енергію різних джерел дозволили розрахувати орієнтовну вартість 1 кг томатів при застосуванні того чи іншого виду палива як традиційного, так і альтернативного (таблиця).

Вартість 1 кг томатів при використанні різних видів палива

Параметр	Природний газ	Вітрова енергія	Сонячна енергія	Геотермальна енергія
Вартість енергетичних ресурсів, грн.	19,5	22	16,94	38,72
Ціна 1 кг томатів, грн.	30	32,5	27,44	49,22

Очевидно, що всі альтернативні джерела енергії можуть скласти конкуренцію природному газу (див. таблицю) щодо енергозатратності виробництва одиниці продукції. Однак, врахувавши динаміку зміни вартості джерел енергії (див. рис. 2), ціни на природний газ (див. рис. 6) та капітальних затрат (головний обмежуючий чинник) на отримання необхідної енергетичної потужності, можна стверджувати, що без докорінної зміни технології виробництва альтернативних джерел енергії, найближчі роки (мінімум 8 років), економічно недоцільно розглядати їх як ефективні енергозамінники, звичайно, за умов мінімізації впливу суб'єктивних чинників на вартість природного газу.

Висновки

Аналіз впливу різних джерел енергії, у тому числі альтернативних, на вартість виробництва продукції тепличних господарств (томатів), показав необхідність докорінного удосконалення (здешевлення) технології створення технічних засобів альтернативних джерел енергії, оскільки динаміка зміни вартості природного газу, при усуненні (згладжуванні) суб'єктивних чинників, демонструє продовження його домінування протягом найближчих 5—8 років у виробництві біологічної продукції закритого ґрунту.

Список літератури

1. Гареев А.Ф. Применение вероятностной нейронной сети для задачи классификации текстов / А.Ф. Гареев // Наука и образование. – М.: НиО. – 2004. – №11. – С. 105–117.
2. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.
3. Awerbuch S., Morthorst P.-E. The Economics of Wind Energy. A report by the European Wind Energy Association. March 2009
4. Digest of UK energy statistics'. Renewable sources of energy. Department of Energy & Climate Change, 2012
5. World energy outlook 2012. International Energy Agency, 2012
6. <http://renewableenergy.com>

Проанализирована динамика изменения стоимости альтернативных источников энергии, оценена актуальность создания прогностических моделей стоимости природного газа. Обосновано применение нейронных сетей для создания предиктив цены природного газа. Выбран многослойный персептрон в качестве инструментария для создания прогнозов по цене природного газа. Оценена структура

стоимости производства томатов. Проанализирована степень перспективности использования альтернативных источников энергии на тепличных комплексах.

Нейронная сеть, многослойный персептрон, прогнозирование, альтернативные источники энергии.

The dynamics of changes in the cost of alternative energy sources, estimated relevance of predictive models of the cost of natural gas. Application of neural networks to create predyktiv price of natural gas. Your multilayer perceptron as a tool for making predictions about the price of natural gas. Reviewed tomato production cost structure. Analyzed the extent of promising alternative energy sources for greenhouse complex.

Neural network, multilayer perceptron, forecasting, alternative energy sources.

УДК 621.3: 631.53.027.33

УСТАНОВКА ДЛЯ ЗНЕШКОДЖЕННЯ КОМАХ-ШКІДНИКІВ ЗЕРНА У СИЛЬНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

**О.М. Берека, доктор технічних наук
О.В. Науменко, аспірант***

Розглянуто установку для знезараження комірних шкідників у сильному електричному полі імпульсного струму. Досліджено переваги використання джерела живлення імпульсного струму та допоміжних електродів з метою підвищення інтенсивності розрядних процесів у зерновій масі.

Зернова маса, комірні шкідники, сильне електричне поле, розрядні процеси.

Заселеність зернових комахами-шкідниками досягає 37 %. За даними ФАО щорічно комахи-шкідники запасів поїдають до 15 % зерна, виробленого в світі, а в окремих країнах, що розвиваються, — 30 і, навіть, 50 %. В Україні щороку втрачається від шкідників хлібних запасів при зберіганні щонайменше 4 млн т зерна. Зерно кукурудзи від пошкодження комірним довгоносом втрачає до 35 % ваги, пшениці — 50 %. Гусениці зернової молі виїдають до 70 % ендосперму, вага зерна знижується на 56 % [1, 7].

Уражене зерно забруднюється відходами їх життєдіяльності, хліб з такого зерна погано випікається, отруйні сечокислі солі, якими просочені

*Науковий керівник — доктор технічних наук., професор О.М. Берека

© О.М. Берека, О.В. Науменко, 2014

стоимости производства томатов. Проанализирована степень перспективности использования альтернативных источников энергии на тепличных комплексах.

Нейронная сеть, многослойный персептрон, прогнозирование, альтернативные источники энергии.

The dynamics of changes in the cost of alternative energy sources, estimated relevance of predictive models of the cost of natural gas. Application of neural networks to create predyktiv price of natural gas. Your multilayer perceptron as a tool for making predictions about the price of natural gas. Reviewed tomato production cost structure. Analyzed the extent of promising alternative energy sources for greenhouse complex.

Neural network, multilayer perceptron, forecasting, alternative energy sources.

УДК 621.3: 631.53.027.33

УСТАНОВКА ДЛЯ ЗНЕШКОДЖЕННЯ КОМАХ-ШКІДНИКІВ ЗЕРНА У СИЛЬНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

***О.М. Берека, доктор технічних наук
О.В. Науменко, аспірант****

Розглянуто установку для знезараження комірних шкідників у сильному електричному полі імпульсного струму. Досліджено переваги використання джерела живлення імпульсного струму та допоміжних електродів з метою підвищення інтенсивності розрядних процесів у зерновій масі.

Зернова маса, комірні шкідники, сильне електричне поле, розрядні процеси.

Заселеність зернових комахами-шкідниками досягає 37 %. За даними ФАО щорічно комахи-шкідники запасів поїдають до 15 % зерна, виробленого в світі, а в окремих країнах, що розвиваються, — 30 і, навіть, 50 %. В Україні щороку втрачається від шкідників хлібних запасів при зберіганні щонайменше 4 млн т зерна. Зерно кукурудзи від пошкодження комірним довгоносіком втрачає до 35 % ваги, пшениці — 50 %. Гусениці зернової молі виїдають до 70 % ендосперму, вага зерна знижується на 56 % [1, 7].

Уражене зерно забруднюється відходами їх життєдіяльності, хліб з такого зерна погано випікається, отруйні сечокислі солі, якими просочені

*Науковий керівник — доктор технічних наук., професор О.М. Берека

© О.М. Берека, О.В. Науменко, 2014

ці відходи, потрапивши до хліба, а з ним до шлунка людини чи тварини, викликають гострі шлункові захворювання. Продукти, пошкоджені хрущачами, набувають запаху крезолу і зберігають його протягом 8 міс. Такі продукти не можна споживати. В екскрементах личинок горохового зерноїда міститься шкідливий для здоров'я людей та тварин алкалоїд кантаридин [7].

Доведено, що негативно впливає на функціональну діяльність нирок та печінки зерно, в кілограмі якого знаходиться понад 15 особин рисового довгоносика, 5 – комірною, 6 – борошняних хрущаків, 25 – борошноїдів, 150 – хлібних кліщів [7].

До активних засобів знищення шкідників належить дезінсекція. На теперішній час є три способи дезінсекції: фумігація, волога та аерозольна обробки.

Для фумігації застосовують спеціальні препарати, в основі яких лежить певна діюча хімічна речовина. Як діючі речовини в хімічних препаратах для фумігації використовують фосфід алюмінію, фосфід магнію і бромистий метил, які є досить токсичними.

Крім того, фумігація – це досить складний процес, де потрібно враховувати такі вимоги: повна герметизація складських приміщень; у приміщеннях зерно слід накривати плівкою; силоси мають бути повністю завантажені зерном; неможлива обробка окремих частин партії зерна; розпочавши введення препарату, не можна переривати цей процес; недостатньо ефективна обробка проти хлібних кліщів; зерно не захищене від повторного зараження; небезпека отруєння людей газом; тривалий простій підприємства; обмеження щодо температури зерна – не нижче 15 °С, зовнішнього повітря – не нижче 10 °С, всередині приміщення (влітку) – не вище 25 °С. Під час фумігації складських приміщень, зерна та продуктів його переробки виробники препаратів рекомендують експозиції в межах 5...10 діб. Для видалення фуміганта із оброблених об'єктів після закінчення встановленої експозиції фумігації проводять дегазацію. Тривалість дегазації – від 2 до 10 і більше діб. Реалізація продукції проводиться не раніше ніж через 20 діб. Після дегазації об'єктів визначають якість фумігації. У випадку виявлення живих екземплярів шкідників проводять додаткове знезараження [1].

Мета досліджень – розробка екологічно безпечної технології знезараження зернової маси.

Матеріали та методика досліджень. В основу розробки технології обробки зернового матеріалу в сильному електричному полі були покладені розроблені на кафедрі електропривода та електротехнологій НУБіП України способи та пристрої, в яких використовуються електрофізичні процеси, що відбуваються в зерновій масі під дією сильного електричного поля [4, 5].

У запропонованому методі обробки зерно розміщується між плоско-паралельними пластинчастими електродами, до яких підводиться висока напруга. Особливістю такого виду обробки є те, що на зернову масу, мікрофлору та комах-шкідників діють такі фактори впливу: сильне

електричне поле; поверхневий та об'ємний струм; іонізаційні процеси, що відбуваються в повітряному просторі зернової маси; аероіони та озон, які утворюються під дією часткових розрядів [2].

Схема установки для знешкодження комах-шкідників зерна в сильному електричному полі [3] наведено на рис.1, камери обробки зернового матеріалу – на Рис. 2.

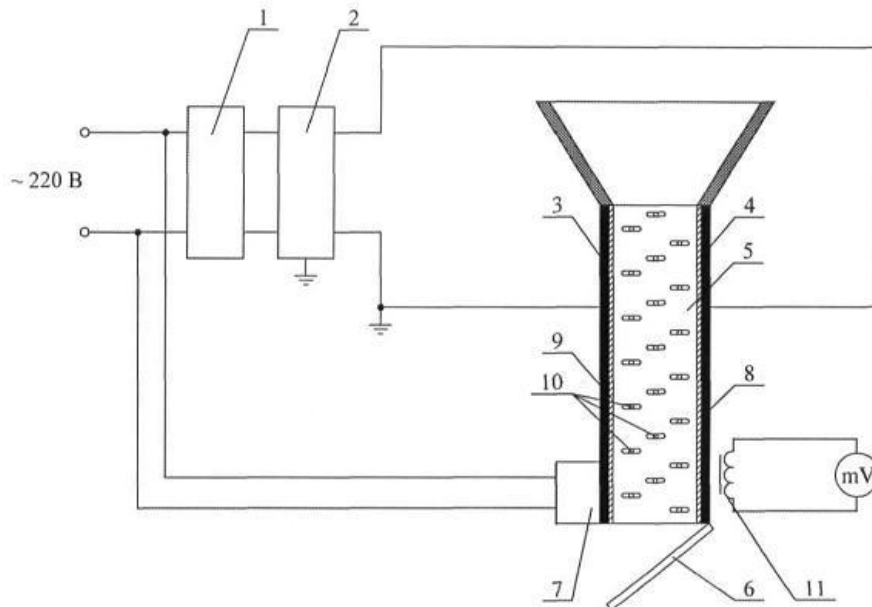


Рис. 1. Схема установки для знешкодження комах-шкідників зернового матеріалу

Установка працює так. У камеру 5 для обробки засипається продукція. Вмикається регулятор напруги 1, при цьому автоматично вмикається джерело високої напруги імпульсного струму 2, після чого високовольтна напруга подається на електроди 3 і 4. Продукція, яка відділена від електродів ізоляційними пластинами, знаходиться в сильному електричному полі. При відповідній напруженості електричного поля в об'ємі продукції відбуваються часткові розряди в повітряних включеннях, де нерівномірність розподілу напруги електричного поля найбільша і в першу чергу на допоміжних електродах в осередках різко неоднорідного електричного поля. За наявності в камері обробки допоміжних зигзагоподібних електродів збільшується амплітуда і частота часткових розрядів, що призводить до підвищення концентрації озону в зерновій масі. Із збільшенням прикладеної напруги іонізація відбувається у все більшій кількості повітряних включень, причому величина імпульсу часткового розряду у наступних повітряних включеннях буде більшою, ніж у попередніх. Крім того, буде підвищуватися інтенсивність іонізації у включеннях, де вона почалася при менших напругах і найбільше на допоміжних електродах в осередках різко неоднорідного електричного поля. При відповідному рівні напруженості електричного поля у всьому об'ємі продукції утворюється озоно-аероіонна суміш, концентрація якої

регулюється напруженістю електричного поля. Час експозиції обробки обумовлюється часом проходження зерна від верхнього краю плоско-паралельних електродів до нижнього. Швидкість проходження зернової маси в камері обробки 5 регулюється кутом відкриття випускного затвору (змінюється площа вихідного отвору камери обробки 6 та роботою електромагнітного вібратора 7. Під час проходження в камері обробки 5 зернова маса перемішується завдяки допоміжним зигзагоподібним електродам 10. Інтенсивність іонізаційних процесів контролюється за допомогою індуктивного датчика 11 та мілівольтметра. Для регулювання напруженості електричного поля використовується регулятор напруги 1. Подається висока напруга, що забезпечує напруженість електричного поля $5...5,5$ кВ/см і концентрацію озону $1,5...2,5$ г/м³. Тривалість обробки становить 10 хв.

Результати досліджень. З метою розширення технологічних можливостей, а саме – збільшення продуктивності синтезу озону, що забезпечує екологічно безпечне знешкодження комах-шкідників в пристрої застосовано джерело високої напруги імпульсного струму. Використання такого джерела забезпечує суттєве збільшення часткових розрядів у повітряних включеннях зернової маси в порівнянні з джерелами постійного або змінного струму, а відповідно і концентрацію озону. На рис.3, як порівняння, наведено осцилограми часткових розрядів у камері обробки при використанні високовольтного трансформатора змінного струму промислової частоти типу ОСВ – 1,5 (а) та джерела високої напруги імпульсного струму з частотою 15 кГц (в). Напруженість електричного поля у зерновій масі в обох випадках встановлювалася в межах 5 кВ/см.

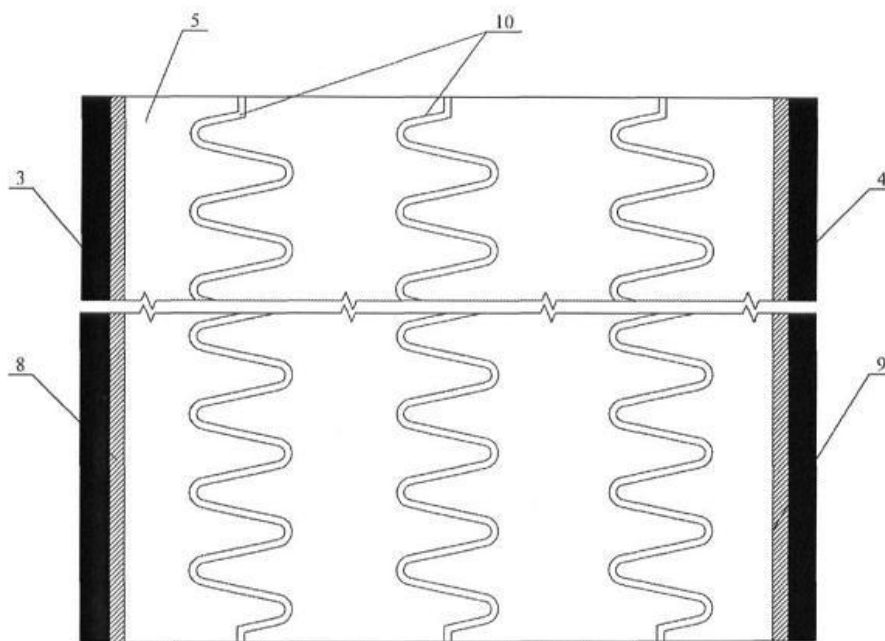


Рис. 2. Камера обробки зерна (вигляд зверху)

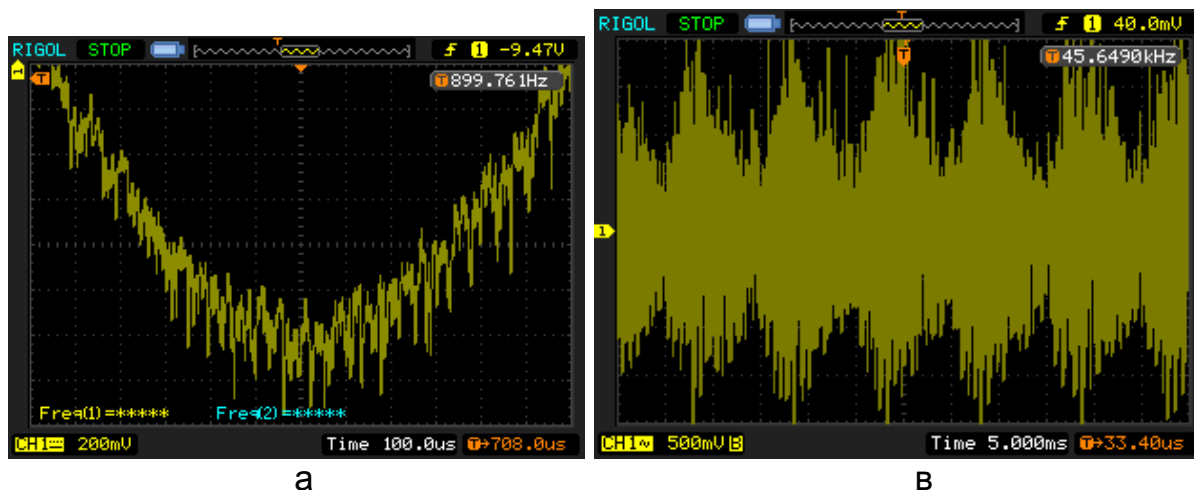


Рис. 3. Осцилограми часткових розрядів у камері обробки з використанням джерела високої напруги:

а – високовольтного трансформатора змінного струму; в – імпульсного струму

З осцилограм видно, що частота часткових розрядів при використанні джерела високої напруги імпульсного струму становить 45,64 кГц, що в 50 разів більше, ніж при високовольтному трансформаторі – 899,76Гц.

Також для збільшення продуктивності синтезу озону та перемішування зернової маси під час її руху в камеру обробки введені допоміжні зигзагоподібні електроди. Допоміжні електроди мають зигзагоподібну форму і виготовлені з металу. Розташовані вони вздовж плоскопаралельних електродів і закріплені до стінок камери обробки. Електричного контакту з джерелом високої напруги вони не мають. Під дією електричного поля в допоміжних електродах відбувається поляризація і на зигзагоподібних виступах накопичуються електричні заряди відповідного знака. Таким чином, створюються штучні осередки різко неоднорідного електричного поля і відповідно додаткові центри проходження часткових розрядів, що в результаті збільшує загальну інтенсивність розрядних процесів і відповідно концентрацію озону. На рис. 4 показано осцилограму розрядних процесів у камері обробки при використанні джерела високої напруги імпульсного струму та допоміжних зигзагоподібних електродів.

З осцилограми видно, що частота розрядів становить 62,73 кГц. Це в 1,4 раза більше, ніж без додаткових електродів при однакових значеннях підведеної напруги.

Отже, застосування джерела високої напруги імпульсного струму та допоміжних зигзагоподібних електродів дозволило збільшити частоту часткових розрядів у повітряних включеннях зернової маси в 70 разів порівняно з використанням високовольтного трансформатора змінного струму, при однакових режимних параметрах.

Для виявлення можливості знешкодження зерна від комірних шкідників проведено обробку зерна пшениці вологістю 13 %, зараженого довгоносиками. Для проведення обробки брали 100 живих екземплярів

довгоносики і додавали в зерно, яке було засипано в камеру обробки. Після обробки проводили за ними спостереження. Параметри обробки такі: напруга живлення $U = 16 \text{ кВ}$; споживаний струм під час руху зерна $I = 950 \text{ мкА} = 0,95 \text{ мА}$; густина струму $j = 0,0222 \text{ А/м}^2 = 22 \text{ мА/м}^2$; споживана потужність $S = 15,2 \text{ ВА}$; тривалість обробки $t = 10 \text{ хв}$. Результати обробки комірних довгоносики наведено на рис. 5 та у таблиці. З наведеної залежності видно, що використання цього пристрою дозволяє досягти повного знищення комах-шкідників зернових запасів.

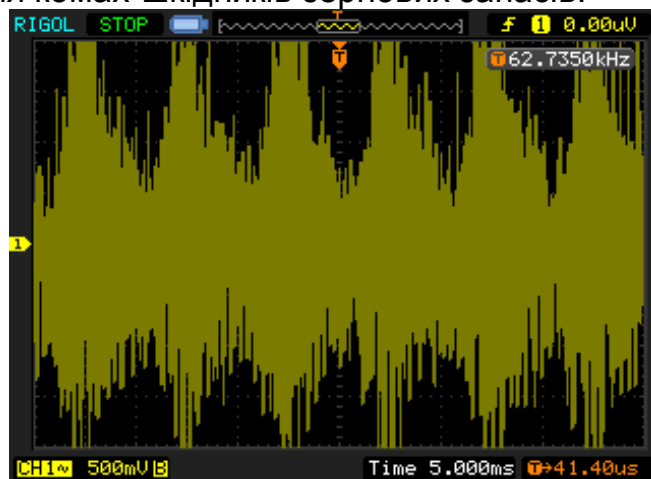


Рис. 4. Осцилограма часткових розрядів у камері обробки при використанні джерела високої напруги імпульсного струму та допоміжних зигзагоподібних електродів

Залежність життєздатності комірних довгоносики після обробки

Кількість живих комах N, %	100	60	26	18	12	0
Час t, діб	0	1	2	3	4	5

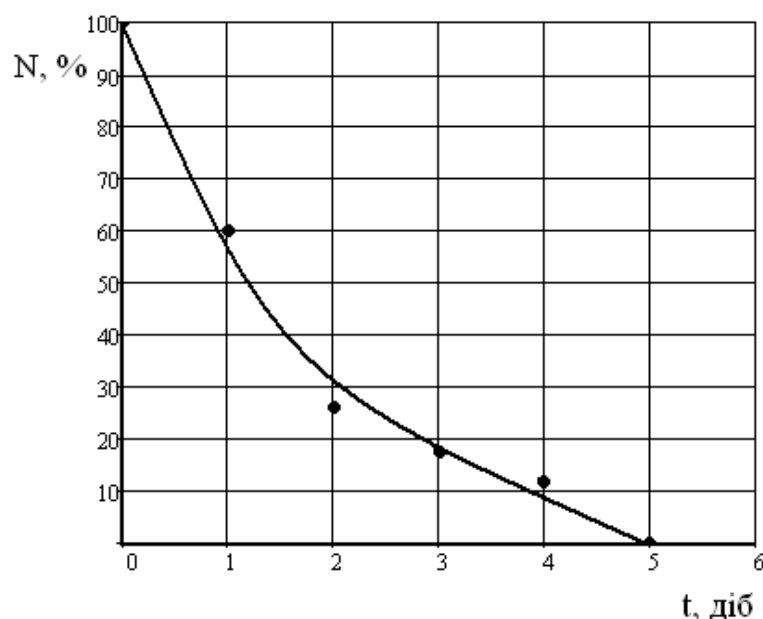


Рис. 5. Результати знешкодження комірних довгоносики у сильному електричному полі

Висновки

Розглянуто установку для знешкодження комірних шкідників у сильному електричному полі імпульсного струму. Визначено переваги використання джерела високої напруги імпульсного струму порівняно з іншими джерелами живлення. Встановлено збільшення інтенсивності розрядних процесів при використанні джерела живлення імпульсного струму у 50 разів порівняно з використанням джерела живлення змінного струму. При установці допоміжних зигзагоподібних електродів отримали збільшення інтенсивності розрядних процесів в 1,4 раза більше ніж без додаткових електродів при однакових режимних параметрах.

Список літератури

1. Берека О. М. Знешкодження в сильних електричних полях комах-шкідників зерна / О. М. Берека, О. В. Науменко // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – 2011. – Volume 13D. – С. 291 – 295.
2. Берека О.М. Дія сильних електричних полів на насіння сільськогосподарських культур / О.М. Берека // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2007. – № 1(20) – С. 23 – 29.
3. Пат. № 105984 Україна, МПК А23L 3/32 (2006.01), А01F 25/14 (2006.01). Пристрій для знешкодження комах-шкідників зерна у сильному електричному полі / Берека О.М, Науменко О.В.; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № а201303445; заявл. 20.03.2013; опубл. 10.07.2014, Бюл. №13.
4. Пат. № 77281 Україна, МПК А23L 3/32, А01F 25/00. Спосіб обробки продукції при зберіганні і пристрій для його здійснення / Берека О.М., Червінський Л.С., Салата М.П.; заявник і патентовласник Національний аграрний університет. – №20041008542; заявл. 20.10.2004; опубл. 15.11.2006, Бюл. №11.
5. Пат. № 84978 Україна, МПК А 01 С 1/00. Пристрій для обробки продукції при зберіганні / Берека О.М., Червінський Л.С., Салата М.П., Усенко С.М.; заявник і патентовласник Національний аграрний університет. – № а200703860; заявл. 06.04.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. №23.
6. Трисвятский Л. А. Хранение зерна / Л.А. Трисвятский – [5-е изд. перераб. и доп.] – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
7. Шевченко Н. Г. Шкідники запасів зерна та контроль їх чисельності / Н. Г. Шевченко, Т. П. Гордієнко // Посібник українського хлібороба – К., 2008. – С. 41 – 44.

Рассмотрена установка для уничтожения амбарных вредителей в сильном электрическом поле импульсного тока. Исследованы преимущества использования источника питания импульсного тока и дополнительных электродов для увеличения интенсивности разрядных процессов в зерновой массе.

Зерновая масса, амбарные вредители, сильное электрическое поле, разрядные процессы.

It is looked at the installation for grain disinsection in high electric field of pulsed current. It is analyzed advadvantages of using of pulsed current supply source and additional electrodes for intensify of discharge processes in grain mass.

Grain mass, granary pests, high electrical field, discharges processes.

УДК 621.365.5

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНОГО ІНДУКТОРА ІЗ ЗАВАНТАЖЕННЯМ У ВИГЛЯДІ ПУЧКА ФЕРОМАГНІТНИХ ТРУБ

***І.П. Кондратенко, доктор технічних наук
А.О. Березюк, кандидат технічних наук***

Проаналізовано залежність енергетичних характеристик циліндричного індуктора із завантаженням у вигляді пучка феромагнітних труб від геометричних і режимних параметрів індуктора та встановлено їх взаємозв'язки.

Індуктор, феромагнітне завантаження, індукційний нагрів.

Для ефективного нагріву проміжних середовищ важлива розгалужена поверхня теплообмінного апарата. Розгалужена поверхня теплообміну може бути реалізована в циліндричному індукторі із завантаженням у вигляді пучка труб, вздовж яких проходить (протікає) матеріал (теплоносіє), що нагрівається (рис. 1.).

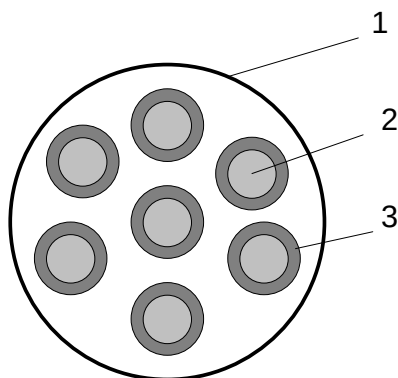


Рис. 1. Циліндричний індуктор із завантаженням у вигляді багатотрубно́ї системи:

1 – індуктор; 2 – матеріал, що нагрівається;
3 – завантаження у вигляді феромагнітної труби

It is looked at the installation for grain disinsection in high electric field of pulsed current. It is analyzed advadvantages of using of pulsed current supply source and additional electrodes for intensify of discharge processes in grain mass.

Grain mass, granary pests, high electrical field, discharges processes.

УДК 621.365.5

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНОГО ІНДУКТОРА ІЗ ЗАВАНТАЖЕННЯМ У ВИГЛЯДІ ПУЧКА ФЕРОМАГНІТНИХ ТРУБ

***І.П. Кондратенко, доктор технічних наук
А.О. Березюк, кандидат технічних наук***

Проаналізовано залежність енергетичних характеристик циліндричного індуктора із завантаженням у вигляді пучка феромагнітних труб від геометричних і режимних параметрів індуктора та встановлено їх взаємозв'язки.

Індуктор, феромагнітне завантаження, індукційний нагрів.

Для ефективного нагріву проміжних середовищ важлива розгалужена поверхня теплообмінного апарата. Розгалужена поверхня теплообміну може бути реалізована в циліндричному індукторі із завантаженням у вигляді пучка труб, вздовж яких проходить (протікає) матеріал (теплоносіє), що нагрівається (рис. 1.).

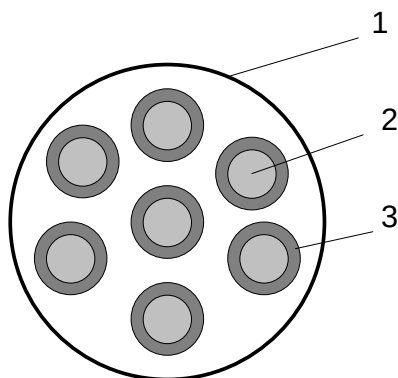


Рис. 1. Циліндричний індуктор із завантаженням у вигляді багатотрубно́ї системи:

1 – індуктор; 2 – матеріал, що нагрівається;
3 – завантаження у вигляді феромагнітної труби

Необхідні параметри та режим нагріву можна забезпечити, вибираючи раціональні геометричні розміри індуктора і циліндричних елементів завантаження, а також встановлюючи необхідну швидкість руху (продуктивність) матеріалу вздовж каналу індуктора.

Мета досліджень – встановлення залежності енергетичних показників циліндричного індуктора з феромагнітним завантаженням від його геометричних і режимних параметрів.

Матеріали та методика досліджень. Електромагнітний розрахунок індукторів із завантаженням у вигляді феромагнітної багатотрубною системи може бути реалізований на основі методу, наведено в роботі [1], де електромагнітне поле циліндричного індуктора розраховувалося на основі системи рівнянь Максвелла:

$$\operatorname{rot} H = j, \operatorname{div} B = 0, \operatorname{rot} E = -\partial B / \partial t, \quad (1)$$

з урахуванням матеріальних рівнянь:

$$B = \mu H, \quad j = \sigma E. \quad (2)$$

де B, H, E, j – вектори магнітної індукції, напруженості магнітного та електричного полів, густини струму; σ, μ – питома електропровідність і магнітна проникність матеріалу труби, які для цієї задачі приймаємо сталими.

При цьому, за довжиною індуктора, виконуються граничні умови $A_\varphi|_{z=0} = A_\varphi|_{z=l} = 0$, що відповідають реальним умовам загасання електромагнітного поля на деякій відстані від індуктора, а також граничні умови на границях розмежування виділених областей, а саме: рівності нормальних складових магнітної індукції ($B_\rho^- = B_\rho^+$), рівності тангенціальних складових напруженості магнітного поля на границях, де струмовий шар відсутній $H_z^- = H_z^+$, і стрибку напруженості магнітного поля на границі, де присутній струмовий шар $H_z^+ - H_z^- = I_0$.

Розв'язок електромагнітної задачі, яка зводиться до модифікованого рівняння Бесселя, для азимутальної складової векторного магнітного потенціалу дозволяє знайти розподіл щільності струму в трубі:

$$j_\varphi = -\sigma i \omega A_\varphi. \quad (3)$$

З огляду на те, що величина магнітної проникності феромагнітної труби нелінійно залежить від напруженості магнітного поля, компоненти електромагнітного поля визначаються в ітераційному обчислювальному процесі. Для цього розроблений метод передбачає визначення параметрів послідовної схеми заміщення, а саме:

- комплексного опору, що вноситься для індуктора із завантаженням у вигляді пучка феромагнітних труб:

$$Z_{mn} = n Z_{m1} - Z_{xx} (n-1), \quad (4)$$

де Z_{m1} – комплексний опір, що вноситься для індуктора із завантаженням у вигляді однієї феромагнітної труби; Z_{xx} – внесений комплексний опір індуктора без завантаження; n – кількість циліндричних елементів (труб) у завантаженні.

- активного опору обмотки індуктора

$$r_{об} = \frac{\rho l}{S}, \quad (5)$$

де $\rho = 0,0205, \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ – питомий опір мідного проводу при температурі 50°C ; $l = 2\pi r_1 w$ – довжина проводу обмотки індуктора, м;

$S = \frac{\pi d_{np}^2}{4}$ – площа поперечного перерізу проводу, мм^2 ;

Таким чином, врахувавши опори на схемі заміщення, можна визначити енергетичні характеристики індукційної установки. Потрібно зазначити, що ефективність роботи пристроїв індукційного нагріву, в основному, визначається величиною їх коефіцієнта корисної дії (ККД). ККД пристроїв індукційного нагріву визначається електрофізичними властивостями та геометричними розмірами завантаження та індуктора, а саме: довжиною намотки, кількістю витків обмотки, числом шарів, конфігурацією індукуючого проводу тощо. ККД розраховується як відношення потужності, що передано в завантаження (корисної потужності) до повної потужності, яка складається з корисної потужності та потужності втрат в обмотках.

Останнє стосується лише електричного ККД. Повний ККД пристроїв індукційного нагріву, також, повинен включати втрати, що пов'язані з теплопередачею тепла від нагрітого завантаження на елементи конструкції індуктора та навколишнє середовище. Тим не менше, досвід створення пристроїв індукційного нагріву, особливо таких, що передбачають нагрів до температури, за якої проміниста складова теплообміну не є визначальною, показує, що ККД перш за все визначається електричними втратами в обмотці індуктора, тому в роботі буде розглядатися лише електричний ККД.

Для прикладу розглянемо індукційний нагрів пучка феромагнітних труб, що розміщені в циліндричному індукторі з внутрішнім діаметром $d_{нд} = 0,2 \text{ м}$ і довжиною намотки $a = 0,6 \text{ м}$. Виберемо параметри індуктора, який призначений для нагріву, наприклад води, потужністю 7 кВт.

Результати досліджень. При вказаному діаметрі індуктора, як показують попередні розрахунки, припустимо застосовувати промислову частоту струму (50 Гц). Також, з економічної точки зору, доцільно використовувати джерело промислової напруги – 380/220 В.

Виконання індуктора багат шаровим дає змогу досягти високого ККД та зменшити величину струму в обмотках, але це може призвести до значного збільшення електричних втрат через збудження вихрових струмів у витках обмотки, що знаходиться в електромагнітному полі, яке утворюється зовнішніми витками. Проте в окремих випадках при правильному виборі конфігурації індукуючого проводу для багат шарового індуктора можна навіть досягти підвищення енергетичних показників відносно одношарових обмоток [3]. Особливо це стосується індукційних пристроїв для нагріву феромагнітного завантаження, яке має

нелінійні властивості через залежність магнітної проникності від напруженості магнітного поля.

Додаткові втрати в обмотках можуть бути розраховані на підставі методики, запропонованої в роботі [2], в основу якої покладено чисельне моделювання процесу індукційного нагріву в об'ємі всієї установки та визначенні розподілу складових електромагнітного поля вздовж намотки багат шарового індуктора, що дозволяє визначити електрофізичні умови, в яких знаходяться витки обмотки кожного шару. Запропонований підхід дає змогу визначити додаткові втрати потужності в окремих групах провідників та в багат шаровій обмотці в цілому.

Таким чином, змінюючи кількість витків індуктора, приходимо до висновку, що необхідну потужність можна отримати при кількості витків в обмотці $w = 120$. Така обмотка може бути виконана проводом ПДС – 3,5х8 в два шари (60 витків в кожному шарі). При цьому додаткові втрати потужності становитимуть 8 % від основних.

Проаналізуємо, яким чином енергетичні показники індуктора залежать від геометричних характеристик труб (рис. 2, 3), що завантажені в індуктор, а саме: їх кількості та товщини стінки.

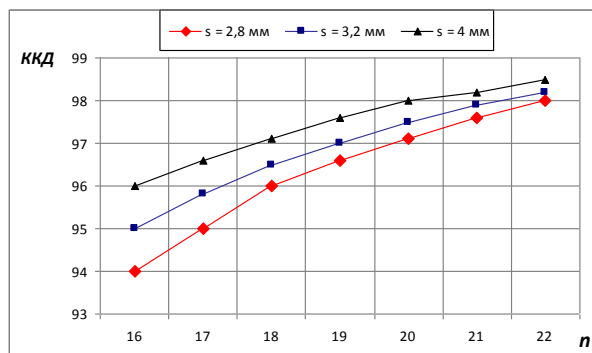


Рис. 2. Крива зміни ККД індуктора від кількості елементів завантаження

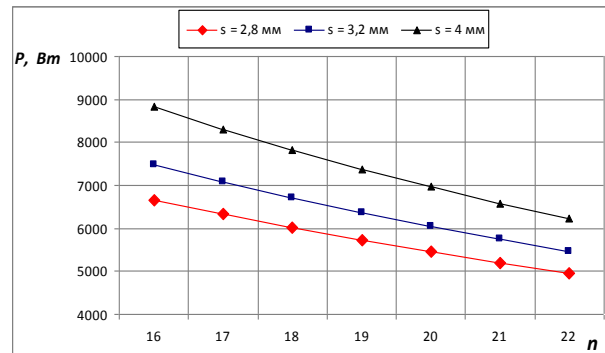


Рис. 3. Крива зміни потужності індуктора від кількості елементів завантаження

Як видно з рис. 2., ККД індуктора підвищується зі збільшенням кількості труб у завантаженні, але при цьому потужність індукційної установки дещо падає (рис. 3.). Таким чином, шляхом варіювання кількості труб у завантаженні, можна оптимізувати енергетичні показники установки.

При цьому, як завантаження розглядався пучок сталевих водогазопровідних труб загальнопобутового призначення із зовнішнім діаметром $d_{з.тр} = 0,0335$ м. Вибрана труба регламентуються відповідно «ГОСТ 3262-75 – сортамент, размеры, масса» та має три типорозміри товщини стінки: легкі – $s = 2,8$ мм, звичайні – $s = 3,2$ мм, посилені – $s = 4$ мм. Отже, було проаналізовано вплив товщини стінки труби на енергетичні характеристики індукційної установки, а саме ККД і потужність індуктора (див. рис. 2, 3.). З графіків випливає, що при збільшенні

товщини стінки труби на один типорозмір ККД індуктора зростає незначно (на 1 %), а потужність підвищується приблизно на 10 %.

Відомо твердження про те, що вся потужність буде виділятися в тілі труби, товщина стінки якої буде співрозмірна глибині проникнення електромагнітної хвилі [2]. За умови, що індуктор працює на промисловій частоті (50 Гц), а труба (завантаження) виконана зі сталі Ст.3 з питомою електропровідністю $\sigma = 3,5 \dots 5 \frac{1}{\text{ОМ} \cdot \text{м}}$, глибина проникнення електромагнітної хвилі становитиме $\delta = 6 \dots 9 \text{ мм}$. Таким чином, можна зробити висновок про те, що найвищих енергетичних показників установки можна досягти при наближенні товщини стінки труби до глибини проникнення хвилі. Однак, використовуючи стандартні трубні заготовки, варіюючи, наприклад їх кількістю, можна досягти необхідних енергетичних параметрів.

Отже, для досягнення необхідної потужності індукційної установки (7 кВт) завантаження індуктора матиме такі геометричні розміри: зовнішній діаметр труби – $d_{\text{з.тр}} = 0,0335 \text{ м}$, внутрішній діаметр труби – $d_{\text{в.тр}} = 0,0255 \text{ м}$ (товщина стінки труби $s = 4 \text{ мм}$), кількість труб у завантаженні $n = 19 \text{ шт}$.

Висновки

Встановлено залежність енергетичних характеристик циліндричного індуктора із завантаженням у вигляді пучка феромагнітних труб від геометричних і режимних параметрів індуктора та доведено, що енергетичні показники циліндричного індуктора суттєво залежать від його геометрії, а також режиму роботи, що пов'язано з нелінійними властивостями феромагнітного завантаження. Аналіз показує, що вибрана кількість труб ($n = 19 \text{ шт}$) є досить оптимальною з точки зору високого значення ККД індуктора ($\eta = 97 \%$) та потужності установки ($P = 7,5 \text{ кВт}$).

Список літератури

1. Березюк А. О. Енергетичні характеристики і електричні параметри індукторів для нагріву пучка феромагнітних труб / А. О. Березюк, І. П. Кондратенко, А. П. Ращепкін // Вісник Кременчуцького держ. ун-ту ім. Михайла Остроградського. – 2010. – Вип. 3 (62), ч. 2. – С. 56 – 60.
2. Березюк А. О. Розрахунок додаткових втрат потужності в обмотці циліндричного індуктора / А. О. Березюк, І. П. Кондратенко // Науковий вісник НУБіП України. Серія: «Техніка та енергетика АПК». – К., 2013. – Вип. 184, ч.2. – С. 208 – 213.
3. Установки индукционного нагрева: учеб. пособие для вузов / А. Е. Слухоцкий, В. С. Немков, Н. А. Павлов, А. Б. Бамунэр; под ред. А. Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 328 с.

Проанализирована зависимость энергетических характеристик цилиндрического индуктора с загрузкой в виде пучка ферромагнитных

труб от геометрических и режимных параметров индуктора и установлены их взаимосвязи.

Индуктор, ферромагнитная нагрузка, индукционный нагрев.

In this paper we analyzed the dependence of the energy characteristics of a cylindrical inductor which is loaded by a bundle of ferromagnetic pipes from the geometrical and operational parameters of the inductor and found their relationship.

Inductor, ferromagnetic loading, induction heating.

УДК 004.9

МОДУЛЬ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ В РОСЛИННИЦТВІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОННОГО ДОРАДНИЦТВА

***М.І. Васюхін, доктор технічних наук
О.М. Ткаченко, кандидат технічних наук
Ю.Ю. Іваник, аспірантка****

Розглянуто концепцію та архітектуру підсистеми підтримки прийняття рішень як складової інформаційної системи управління в галузі рослинництва у контексті впровадження в систему електронного дорадництва України.

Система, підтримка прийняття рішень, рослинництво, електронне дорадництво.

Рослинництво є однією з найбільш значущих і ємких в матеріально-товарному відношенні серед аграрно-орієнтованих галузей України та важливим з точки зору постачання сировини для інших галузей (тваринництво, переробка тощо). Основними напрямками інновацій у цій галузі є впровадження систем точного землеробства [2–3, 11, 14], автоматизованих систем управління (АСУ) сільськогосподарським підприємством [1, 7] та систем підтримки прийняття рішень (СППР), у тому числі з використанням засобів штучного інтелекту [5, 9]. Нині існує вже ряд рішень для автоматизованого управління зі спеціалізацією за галузями господарювання, в тому числі й для АПК, деякі з них, які використовують геоінформаційні (ГІС) технології, наведено в таблиці.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор М.І.Васюхін

© М.І. Васюхін, О.М. Ткаченко, Ю.Ю. Іваник, 2014

труб от геометрических и режимных параметров индуктора и установлены их взаимосвязи.

Индуктор, ферромагнитная нагрузка, индукционный нагрев.

In this paper we analyzed the dependence of the energy characteristics of a cylindrical inductor which is loaded by a bundle of ferromagnetic pipes from the geometrical and operational parameters of the inductor and found their relationship.

Inductor, ferromagnetic loading, induction heating.

УДК 004.9

МОДУЛЬ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ В РОСЛИННИЦТВІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОННОГО ДОРАДНИЦТВА

***М.І. Васюхін, доктор технічних наук
О.М. Ткаченко, кандидат технічних наук
Ю.Ю. Іваник, аспірантка****

Розглянуто концепцію та архітектуру підсистеми підтримки прийняття рішень як складової інформаційної системи управління в галузі рослинництва у контексті впровадження в систему електронного дорадництва України.

Система, підтримка прийняття рішень, рослинництво, електронне дорадництво.

Рослинництво є однією з найбільш значущих і ємких в матеріально-товарному відношенні серед аграрно-орієнтованих галузей України та важливим з точки зору постачання сировини для інших галузей (тваринництво, переробка тощо). Основними напрямками інновацій у цій галузі є впровадження систем точного землеробства [2–3, 11, 14], автоматизованих систем управління (АСУ) сільськогосподарським підприємством [1, 7] та систем підтримки прийняття рішень (СППР), у тому числі з використанням засобів штучного інтелекту [5, 9]. Нині існує вже ряд рішень для автоматизованого управління зі спеціалізацією за галузями господарювання, в тому числі й для АПК, деякі з них, які використовують геоінформаційні (ГІС) технології, наведено в таблиці.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор М.І.Васюхін

© М.І. Васюхін, О.М. Ткаченко, Ю.Ю. Іваник, 2014

АСУ для рослинництва з використанням ГІС-технологій

Назва компанії	Назва головного програмного продукту	ПЗ для господарств	Серверні рішення	Інтеграція з обліково-управлінськими системами	Додаткові можливості
ЗАТ Конструкторське бюро "Панорама"	ГІС "Карта 2008" (мережне розширення ГІС Сервер 2008)	ГІС "Панорама АГРО" 2.4	ГІС WebService (версія 1.2) ГІС Сервер 2008	Для бухгалтерського обліку, крім існуючого обміну даними з інформаційно-аналітичною системою "АгроХолдинг", розроблено систему обміну даними з програмним продуктом "1С:Управление сельскохозяйственным предприятием"	• Набір карт для системи "Панорама АГРО" (версія 2.4) • Бази даних системи "Панорама АГРО" (версія 2.4)
"Институт современных аграрных технологий"	"Агро-Клевер"	"Агро-Клевер"	—	"АгроКлевер" може бути об'єднаний з довільними системами Замовника (наприклад, бухгалтерського обліку) за допомогою технологій інтеграції	—
НВП "Кривбас-академін-вест"	ГІС "K-MINE"	"AgroMINE" (розробка в рамках науково-дослідної роботи)	Мережева версія з конфігурування на будь-якій латформі та ОС	Влаштований обліково-управлінський модуль	Централізована наукова підтримка НУБіП України, централізоване оновлення нормативно-довідкових та технологічних вихідних даних

Комплексні інформаційні системи в рослинництві передбачають обробку даних дистанційного моніторингу та космічних знімків, агрохімічні дослідження тощо. Для агровиробників у більшості випадків ці системи недоступні як з фінансової точки зору, так і через відсутність спеціалістів, здатних працювати з такими системами. Для цих виробників більш оптимальним є підхід використання інформаційних розрахункових сервісів в сукупності з підсистемами віддаленого консультування, навчання та комунікацій, де сама система розміщена на централізованому сервері, що обслуговує цілу сукупність таких виробників. Саме такою є система електронного дорадництва (СЕД), яка створюється в Україні [8, 12]. Її особливістю має стати впровадження розрахункових та інтелектуальних модулів, що реалізують експертну функціональність.

Використання інтелектуальних модулів скорочує час впровадження нових розробок і методик ведення господарства та здійснення агротехнологічних операцій. Розміщення бізнес-логіки програми на централізованому сервері убезпечує від помилок масового віддаленого поновлення встановлених систем і дає можливість гнучко розширювати функціональність. Більшість АСУ в рослинництві орієнтовані на підтримку обліку ресурсів, планування і звітність, частина підтримує модулі геопросторових даних і технологію точного землеробства. Комплексні системи і сервіси з інтелектуальними та ГІС-модулями та віддаленим централізованим доступом на цей час практично відсутні.

Мета досліджень – розробка інтелектуального модуля підтримки прийняття рішень для комплексної АСУ в галузі рослинництва та впровадження його в СЕД.

Матеріали та методика досліджень. Створення системи ґрунтується на використанні прийнятих стандартів проектування і розробки ПЗ (ДСТУ ISO/IEC 15288:2005 "Інформаційні технології. Процеси життєвого циклу системи", ДСТУ 3149-95 "Система стандартів з баз даних. Мова баз даних SQL з розширенням цілісності", ДСТУ 4302:2004 "Інформаційні технології. Настанови щодо документування комп'ютерних програм", ДСТУ ISO/IEC 12119-2003 "Інформаційні технології. Пакети програм. Тестування і вимоги до якості", ДСТУ ISO/IEC 14764-2002 "Інформаційні технології. Супроводження програмного забезпечення" тощо). Для організації даних і знань використовується онтологічний підхід.

Результати досліджень. Технологія підтримки рішення, на відміну від технології формування традиційного звіту, не виконується повністю автоматично, оскільки здійснюється під управлінням людини. При використанні СППР процеси формування і використання інформації не розділені.

Слабка структурованість проміжних рішень добре узгоджується зі специфікою галузі рослинництва, для якої характерні значна залежність від природних факторів та погоди, показники яких донині не піддаються точному прогнозуванню. Так, динамічними в різних часових розрізах є:

- призначення і межі ділянок;
- родючість, склад і властивості ґрунтів;

- зрошення/водний баланс;
- можливості техніки та обладнання;
- погодні та кліматичні умови;
- економічне середовище, ринкова кон'юнктура;
- людський фактор;
- техногенний вплив, екологічний стан тощо.

Архітектура традиційної СППР передбачає взаємодію систем управління базою даних і базою моделей, пов'язаних з інтерактивністю і стандартизованим виведенням [5] (рис. 1).

На цей час існують ряд розробок-аналогів для підтримки прийняття рішень, які стосуються предметної галузі рослинництва. Наприклад, встановлення необхідної кількості добрив може обчислюватися за результатами польових дослідів та з використанням нормативних розрахунків (азотні, фосфорні, калійні) для заданої географічної зони, типу ґрунту і заданої культури.

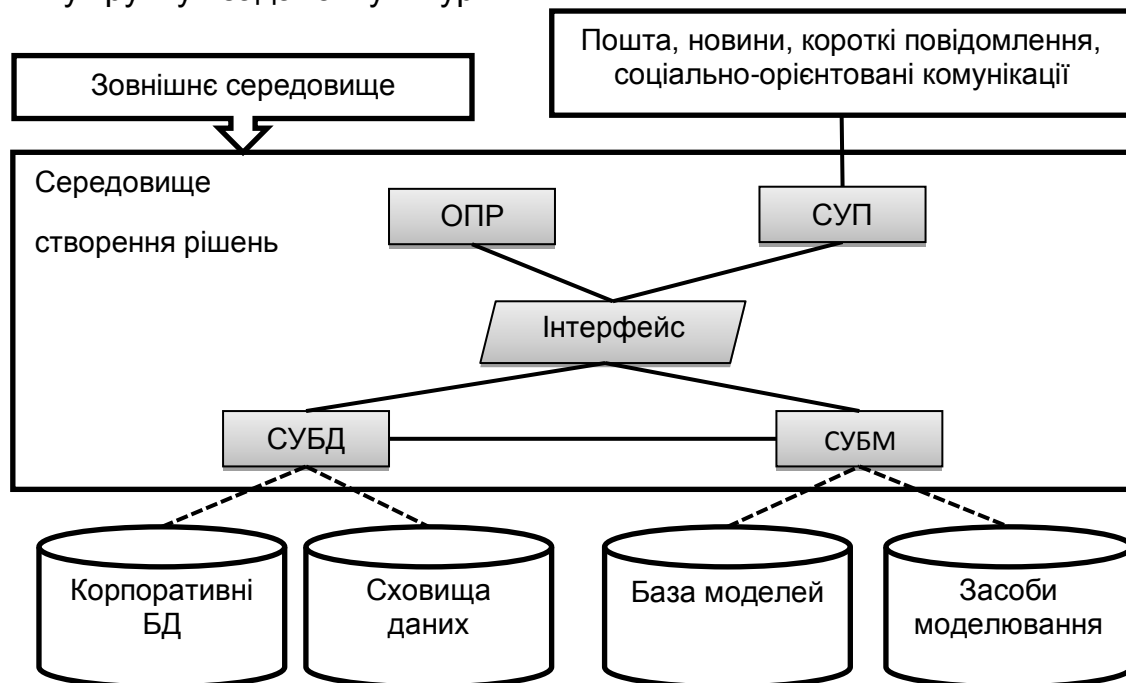


Рис. 1. Основні компоненти сучасної СППР:

СУБД – система управління базою даних; СУБМ – система управління базою моделей; ОПР – особа, що приймає рішення; СУП – система управління повідомленнями

Незважаючи на великі затрати засобів і часу, методи встановлення норм добрив за результатами польових дослідів є неточними. По-перше, під час визначення оптимальних норм і співвідношень добрив закладають дослідів з великою кількістю варіантів; при цьому неминуче виявляється неоднорідність родючості ґрунтів. По-друге, поправкові коефіцієнти мають загальний характер, оскільки вони експериментально обґрунтовані неповністю. По-третє, у зв'язку з постійною сортозміною, впровадженням нових технологій і внесенням нових форм добрив розвиток польового

досліді здійснюється повільніше, ніж виробництва, тому рекомендації швидко застарівають і мають лише орієнтовний характер. Деякі похибки виникають і під час планування врожайності від використання добрив, оскільки метод не вказує однозначно на конкретну величину врожаю чи приросту врожайності.

Наведемо приклад розрахунку норм добрив за запасами поживних речовин у ґрунті. Суть цього методу полягає в тому, що норму добрив визначають за різницею між виносом поживних речовин із запланованою врожайністю та їх запасом в орному шарі ґрунту. При цьому враховують коефіцієнти використання поживних речовин із ґрунту і добрив:

$$H = \frac{B \cdot Y - C \cdot d \cdot h \cdot K_r}{K_d},$$

де H – норма поживної речовини, яку треба внести для одержання запланованої врожайності, кг/га; B – господарський винос поживної речовини 1 т урожаю, кг; Y – урожайність, т/га; C – вміст поживної речовини в ґрунті, мг/100 г; d – щільність складення ґрунту, г/см³; h – товщина шару ґрунту, см; K_r , K_d – відповідно коефіцієнти використання сільськогосподарською культурою поживних речовин з ґрунту і добрив, частка одиниці.

Таких методів є досить багато. Частина з них реалізовані в системі "Argomine", що створена спільно Національним університетом біоресурсів і природокористування України та НВО "Кривбасакадемінвест". Програмний пакет містить окремий блок розрахунків потреб у мінеральних добривах (рис.2).

Розрахунок норм добрив на приросту врожаю

Вхідні параметри

Культура:

Основна продукція:

Середня врожайність: т/га за років

Запланована приростка: т/га

13. Необхідно внести добрив для отримання запланованої урожайності:

- органічних: т/га

- мінеральних: кг/га

14. Масова частка поживних речовин у мінеральних добривах:

NPK Калієва селітра: %

N Натрієва селітра: %

P Термофосфати: %

K Калій-електроліт: %

15. Кількість добрив, що необхідно внести на 1 га

Розрахунок за K2O

NPK кг ц кг/га

N

P

K

Всього кг/га

	Органічні	N	P205	K20
1. Внесено органічних (т/га) та мінеральних (кг/га) добрив під культуру в середньому за 5 років	20	15	20	10
2. Винос поживних речовин однією тоною	32	...	11	26
Винос поживних речовин приросткою урожаю	64	22	52	кг/га
3. Буде внесено органічних добрив для отримання приростки урожаю	30	т/га		
4. Надійде з органічними добривами поживних речовин	150	75	180	кг/га
5. Коефіцієнт використання поживних речовин із органічних добрив	25	...	15	25
6. Буде використано поживних речовин із органічних добрив з урахуванням коефіцієнта використання	37.5	11.3	45	кг/га
7. Необхідно внести поживних речовин із мінеральними добривами	26.5	10.8	7	кг/га
8. Коефіцієнт використання поживних речовин із мінеральних добрив (КВД)	3	...	10	3
9. Необхідно внести мінеральних добрив із урахуванням КВД	883.3	107.5	233.3	кг/га
10. Рівень забезпечення культури поживними речовинами ґрунту	Повище	...	Середній	...
11. Поправочні коефіцієнти на забезпеченість	0.7	1	1.3	
12. Буде внесено мінеральних добрив для отримання приростки урожаю з урахуванням забезпеченості	618.3	107.5	303.3	кг/га

Σ Розрахувати

Рис. 2. Розрахунок норм добрив на збільшення врожаю в системі "Argomine"

Загалом у цій системі реалізовані такі обчислювальні модулі:

- розрахунок норм добрив на заплановану врожайність щодо запасу поживних речовин у ґрунті;
- розрахунок норм добрив на збільшення врожаю;
- визначення норм мінеральних добрив на заплановану врожайність з використанням нормативів балансу поживних речовин за сівозмину;
- визначення можливого врожаю культури через окупність бонітету ґрунту;
- розрахунок балансу гумусу;
- розрахунок фіксації азоту бобовими культурами;
- розрахунок потенційної врожайності за надходженням;
- встановлення якісної оцінки ґрунтів;
- обчислення потреби в матеріальних та фінансових ресурсах тощо.

Всі розрахунки базуються на довідковій базі з категоріями об'єктів предметної галузі (рис.3) та сукупності алгоритмів, розроблених на основі відомих методик.

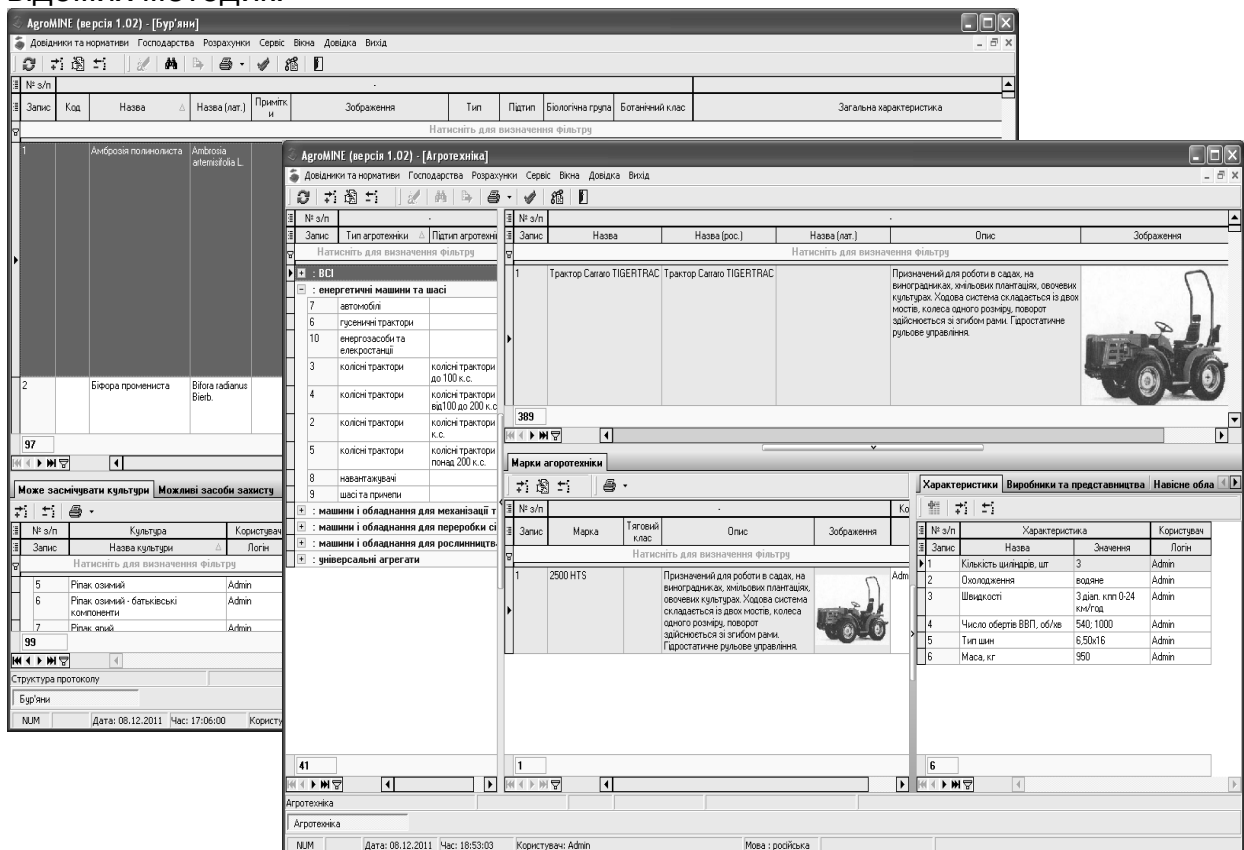


Рис. 3. Фрагмент довідкової бази системи "Agromine"

Нині тривають розробки розрахункових модулів для підтримки прийняття рішень за напрямками:

- оптимізація використання ресурсів підприємства (фінансові ресурси, угіддя, техніка, добрива, засоби захисту, посівний матеріал тощо);
- планування закупок і продаж;

- розміщення виробничих потужностей, складів, точок продажу, логістика.
- забезпечення якості продукції;
- збереження і покращення природного потенціалу угідь.

Розрахунки і вироблення рекомендацій повинно здійснюватися відповідно до часових параметрів (оперативно, в середньостроковій і довгостроковій перспективі). Так, якщо говорити про здійснення агротехнологічних операцій згідно зі стандартами точного землеробства, рішення повинні продукуватися в режимі реального часу.

При реалізації кожної інтелектуальної системи (чи підсистеми) однією з найважливіших і найємкіших задач є організація даних, що також детермінує всю бізнес-логіку. Навігаційна частина є невід'ємною складовою системи, що передбачає використання геопросторових даних і технологій точного землеробства. Інтеграція геопросторового, аналітичного та експертного модуля в АСУ вимагає єдиного підходу до організації даних і знань. Серед відомих і перспективних таких підходів важливе місце займає онтологічний [4, 10].

Відомо, що онтологію O , як формальний опис деякої предметної області (ПрО), незалежно від її дійсної природи можна подати у вигляді:

$$O = \langle X, R, F \rangle,$$

де X – кінцева множина концептів (термінів, понять, квантів знань) заданої предметної області, при цьому $X \neq \emptyset$; R – кінцева множина відносин між концептами; F – множина функцій інтерпретації, заданих на концептах чи відношеннях.

Схема взаємодії цих множин та функціонування БД, побудованої за допомогою онтологічного підходу, наведена на рис.4.

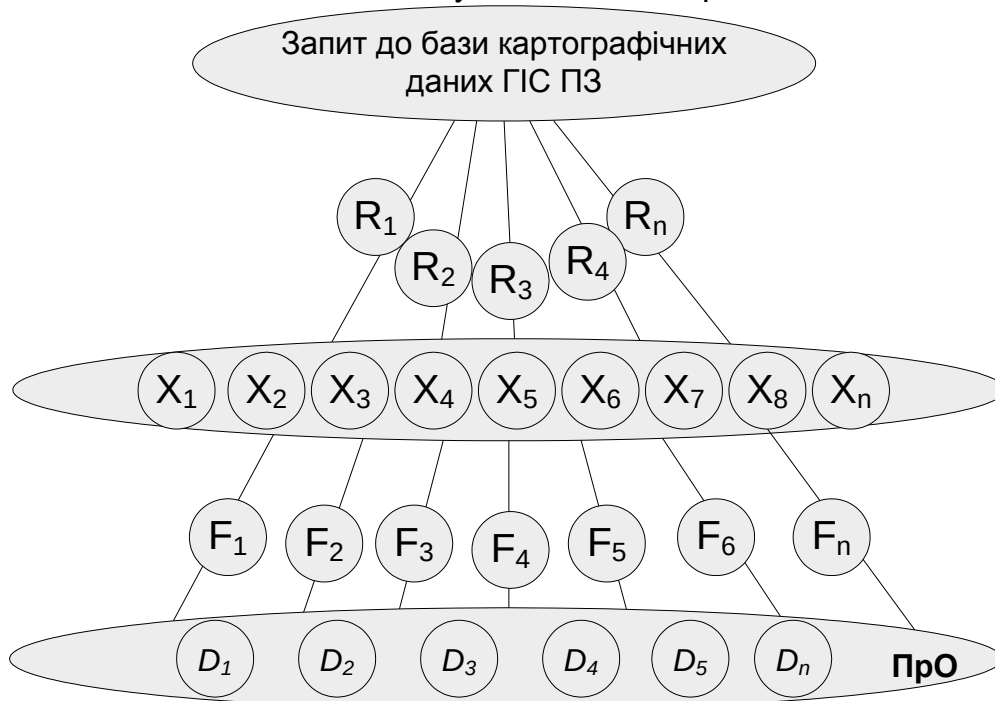


Рис. 4. Схема запитів до ПрО при онтологічному підході

Множина концептів ПрО X групується у вигляді підмножини:

$$X = \{X_1, X_2 \dots, X_q\}, \quad q = 1, 2, \dots, Q$$

за родо-видовою та іншими ознаками.

Нехай ϵ множина об'єктів, що виділяються у складі зображення з точки зору інформаційного змісту, характеру обробки і візуалізації:

$$X = \{x_i / i \in I\}$$

де I – множина індексів i об'єктів. При цьому кожен елемент множини описується у вигляді деякого кортежу:

$$x_i = \langle d_{i_1}, d_{i_2}, \dots, d_{i_n} \rangle; \quad d_{i_1} \in D_{om}(A_{i_1}), \quad d_{i_2} \in D_{om}(A_{i_2}), \dots; \quad d_{i_n} \in D_{om}(A_{i_n})$$

де d_{i_n} – n -й елемент кортежу, значення якого описує i -й примірник множини об'єктів X ; A_{i_n} – ім'я атрибута, відповідного n -му елементу кортежу; $D_{om}(A_{i_n})$ – область значень атрибута з ім'ям A_{i_n} .

Зв'язки та розподіл класів об'єктів у множини графічних, тематичних і просторових даних вважаємо онтологічною множиною відносин між концептами X .

Інфологічна модель картографічних даних на основі онтологічного підходу базується на представленій диференціації опису об'єктів, що дозволяє уявити процес інфологічного проектування ПрО у вигляді композиції результатів проектування окремих підобластей. У цьому випадку процес проектування бази картографічних даних є сукупністю оптимізаційних підпроцесів проектування по кожній моделі даних, що визначаються як виділені підобласті. Оптимальне рішення шукається на основі локальної оптимізації, що призводить до підвищення якості організації бази картографічних даних. Її інфологічна модель об'єднує три моделі картографічних даних: тематичну, графічну і просторову.

Підтримка прийняття рішень в СЕД. Метою побудови СЕД (e-Xtension) в Україні є створення науково забезпеченої консультативної системи для інформаційної підтримки діяльності задіяних в агровиробництві та розвитку сільських територій. Цільовими групами користувачів СЕД є: фермери та інші учасники аграрного виробництва, наукові та навчальні інституції, викладачі, науковці, студенти, консультанти, державні та приватні дорадчі служби, сільськогосподарські асоціації, місцеві органи державного управління, сільське населення та ін. Українська модель системи має ряд особливостей, які не передбачені в інших аналогічних системах:

- багаторівневий Web-доступ до інформації та інформаційних сервісів (рис. 5);
- наявність довідкових баз даних і баз знань;
- модуль геопросторових даних (угідь кожного користувача і консолідованих);
- підсистема онлайн-консультування;
- засоби організації тематичних спільнот;

- структуровані засоби комунікацій між користувачами;
- наявність підсистеми електронного навчання;
- наявність модулів розрахунків для підтримки прийняття рішень.

Основними функціями модуля геопросторових даних є робота з векторними картами різного призначення, обробка і накладання растрових знімків, можливість використання GPS-навігаційних пристроїв, побудова карт для диференційованого обробітку ґрунту тощо [6]. Для потреб точного землеробства перспективним є використання баз картографічних даних реального часу та методів роботи з динамічними сценаріями рухомих об'єктів, задіяних на агровиборництві, що відображено в [13].

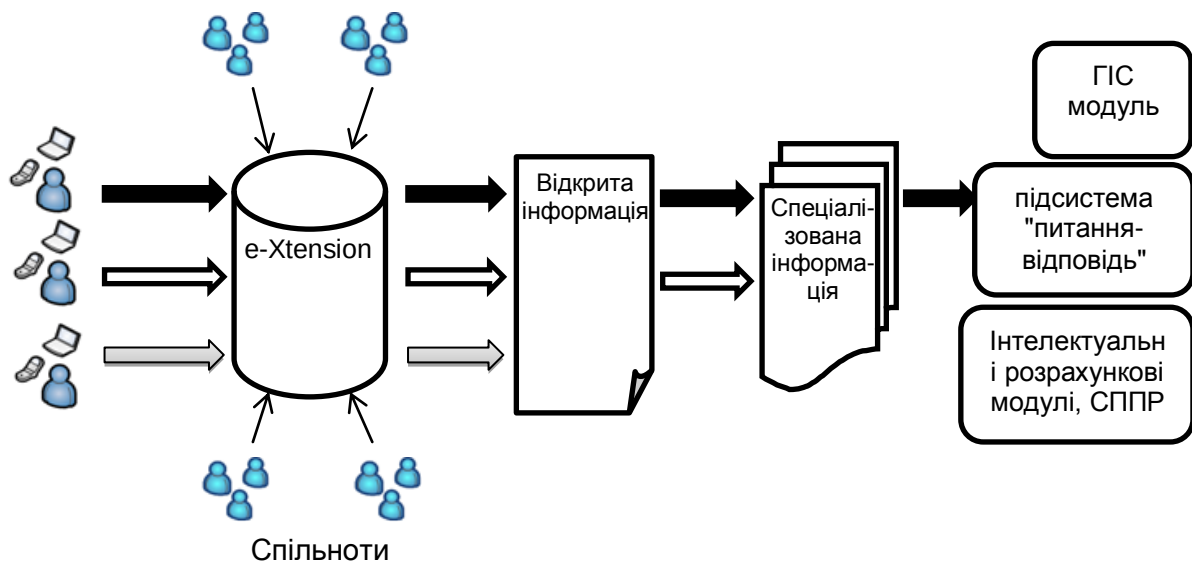


Рис. 5. Бізнес-дизайн СЕД

Висновки

Розробка і впровадження інтелектуальних систем в агропромислове виробництво є одним з найбільш затребуваних напрямів розвитку ІТ-індустрії, що є важливим для України, що володіє водночас великим агропромисловим та ІТ-потенціалом.

Запропоновані підходи і розроблені програмні модулі системи підтримки прийняття рішень у рослинництві, разом з геопросторовою та навігаційною частиною, дозволяють реалізувати повний спектр інформаційних сервісів у зазначеній ПрО: від обліку і моніторингу стану ресурсів до продукування експертних рекомендацій при прийнятті рішень. Наступні дослідження будуть присвячені розробці інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень, навігаційного блоку та впровадження в СЕД.

Список літератури

1. Гарам В.П. Сучасне управління агротехнологічним процесом у рослинництві / В.П.Гарам, А.О. Пашко // Наука та інновації. – 2005. – Т.1, № 2. – С. 110–116.

2. Кравчук В.І. Концептуальні основи побудови системи точного землеробства України / В.І.Кравчук, Г.Л.Баранов // Техніка АПК. – 2000. – № 9. – С. 4–8.
3. Методи реалізації системи точного землеробства / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, Г.Р.Гаврилюк, М.С.Волянський // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 1998. – №9. – С.67–69.
4. Палагин А.В. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: монография / Палагин А.В., Крытый С.Л., Петренко Н.Г. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 324 с.
5. Ситник В.Ф. Системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. / В.Ф.Ситник. – К.: КНЕУ, 2004. – 614 с.
6. Ткаченко О.М. Геопросторова складова інформаційно-аналітичної системи у галузі рослинництва / О.М.Ткаченко // Науковий вісник НУБіП України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – 2013. – №184, ч.1. – С.150–157.
7. Ткаченко О.М. Інформаційно-аналітична система підтримки прийняття рішень у рослинництві як складова системи електронного дорадництва / О.М.Ткаченко // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2012. – №10. – С.189–198.
8. Ткаченко О.М. Особливості створення програмної платформи e-Xtension в Україні / О.М.Ткаченко // Науковий вісник НУБіП України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – 2013. – №184, ч.2. – С.203–207.
9. Якушев В.В. Система поддержки принятия решений в земледелии. Принципы построения и функциональные возможности / В.В.Якушев // Инструментальные средства и методы в агрофизике. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – С. 253–266.
10. Mizoguchi R., Vanwelkenhuysen J., Ikeda M. Task ontology: Ontology for building conceptual problem solving models / Towards Very Large Knowledge Bases. Part. 1. Edited by Mars N.J.I. – IOS Press, 1995. – 314 p.
11. Precision Agriculture in 21st Century. Geospatial and Information Technologies in Crop Management. – Washington: National Academy Press, 1997. – 149 p.
12. Tkachenko O., Shvydenko M. Building of eXtension System on a Base of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine // EARTH Bioresources and Life Quality. – 2013. – Vol.4. – 8 p.
13. Vasiukhin M., Tkachenko O., Kasim A., Ivanyk I. Methods and means for building a system of visual images forming in GIS of precision agriculture // Збірник матеріалів секції №9 "Інформаційні і телекомунікаційні технології, eXtension" Міжнар. Наук. конф. "Біоресурси планети та біобезпека навколишнього середовища: проблеми та перспективи", 4–7 листопада 2013 року, НУБіП України, Київ. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – С.24–31.
14. World agriculture: towards 2015/2030. An FAO Perspective / Edited by J. Bruinsma. – London: Earthscan Publications Ltd., 2003. – 432 p.

Рассмотрены концепция и архитектура подсистемы поддержки принятия решений как составной части информационной системы управления в отрасли растениеводства в контексте внедрения в систему электронного консультирования Украины.

Система, поддержка принятия решений, растениеводство, электронное консультирование.

We consider the concept and architecture of a Decision Making Support subsystem as a component of management information system in the crop in the context of the implementation into e-Xtension system in Ukraine.

System, decision support, crop, e-Xtension.

УДК 621.314

ІНСТРУМЕНТАЛЬНА ДОСТОВІРНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЮ

О.І. Щепотьєв, кандидат технічних наук

А.В. Жильцов, доктор технічних наук

В.В. Васюк, аспірант*

Розглянуто питання інструментальної достовірності результатів допускового контролю. Визначено вимоги до точнісних характеристик засобів вимірювання.

Надійність, допусковий контроль, інструментальна достовірність, об'єкт контролю.

Один із найважливіших видів контролю – допускний, полягає у встановленні співвідношень між значеннями параметра, що контролюється, та встановленими певним чином границями (допусками) на його відхилення. Оскільки вимірювальним пристроям властиві похибки, результати допускового контролю потребують визначення кількісних характеристик, що відображають ступінь довіри до отриманих результатів контролю.

Достовірність результатів контролю – це показник ступеня об'єктивного відображення результатами контролю дійсного технічного стану об'єкта контролю. Вона може бути уявлена у вигляді двох складових частин – методичної достовірності та інструментальної достовірності.

$$D_K = D_M \cdot D_i,$$

де D_M – методична достовірність контролю; D_i – інструментальна достовірність контролю.

Методична достовірність визначається мінімальною сукупністю параметрів, які контролюються, методикою контролю та прийнятими критеріями оцінки технічного стану об'єкта.

Інструментальна достовірність – складова достовірності результатів контролю, яка визначається ймовірнісними властивостями ознак об'єкта, видом алгоритму обробки ознак, точнісними характеристиками засобів вимірювання та ін. [1].

* Науковий керівник – доктор технічних наук А.В. Жильцов

© О.І. Щепотьєв, А.В. Жильцов, В.В. Васюк, 2014

We consider the concept and architecture of a Decision Making Support subsystem as a component of management information system in the crop in the context of the implementation into e-Xtension system in Ukraine.

System, decision support, crop, e-Xtension.

УДК 621.314

ІНСТРУМЕНТАЛЬНА ДОСТОВІРНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЮ

О.І. Щепотьєв, кандидат технічних наук

А.В. Жильцов, доктор технічних наук

В.В. Васюк, аспірант*

Розглянуто питання інструментальної достовірності результатів допускового контролю. Визначено вимоги до точнісних характеристик засобів вимірювання.

Надійність, допусковий контроль, інструментальна достовірність, об'єкт контролю.

Один із найважливіших видів контролю – допускний, полягає у встановленні співвідношень між значеннями параметра, що контролюється, та встановленими певним чином границями (допусками) на його відхилення. Оскільки вимірювальним пристроям властиві похибки, результати допускового контролю потребують визначення кількісних характеристик, що відображають ступінь довіри до отриманих результатів контролю.

Достовірність результатів контролю – це показник ступеня об'єктивного відображення результатами контролю дійсного технічного стану об'єкта контролю. Вона може бути уявлена у вигляді двох складових частин – методичної достовірності та інструментальної достовірності.

$$D_K = D_M \cdot D_i,$$

де D_M – методична достовірність контролю; D_i – інструментальна достовірність контролю.

Методична достовірність визначається мінімальною сукупністю параметрів, які контролюються, методикою контролю та прийнятими критеріями оцінки технічного стану об'єкта.

Інструментальна достовірність – складова достовірності результатів контролю, яка визначається ймовірнісними властивостями ознак об'єкта, видом алгоритму обробки ознак, точнісними характеристиками засобів вимірювання та ін. [1].

* Науковий керівник – доктор технічних наук А.В. Жильцов

© О.І. Щепотьєв, А.В. Жильцов, В.В. Васюк, 2014

При допусковому контролі «придатним» визначається об'єкт з параметрами, результати вимірювань яких знаходяться в межах заданих допусків, та «непридатним» – об'єкт з параметрами, результати вимірювання яких знаходяться не в межах.

Величина експлуатаційних меж встановлюється інструкцією з експлуатації чи іншими відповідними документами для тих параметрів об'єкта, які контролюються в умовах експлуатації.

Межі – це встановлені досвідом або розрахунком границі для значень параметрів об'єкта, при яких він здатний виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники протягом необхідного часу при визначених умовах.

Мета досліджень – визначення показників і методики оцінки якості результатів допускового контролю технічних об'єктів.

Матеріали та методика досліджень. Модель процесу здійснення допускового контролю показана на рис. 1. При цьому допускається повна безвідмовність засобів контролю, а можливі результати контролю, обумовлені лише їх точнісними характеристиками і фактичним станом об'єкта контролю [3].

У результаті здійснення контролю отримуємо або результат, який визначає об'єкт контролю «придатним» (результат контролю знаходиться в межах встановлених допусків) – випадок B , або результат, який визначає об'єкт контролю «непридатним» (результат контролю знаходиться за межами встановлених допусків) – випадок $\bar{B}$. У силу властивих вимірювальним пристроям похибок вимірювання отримані результати не можуть розглядатися як абсолютні.

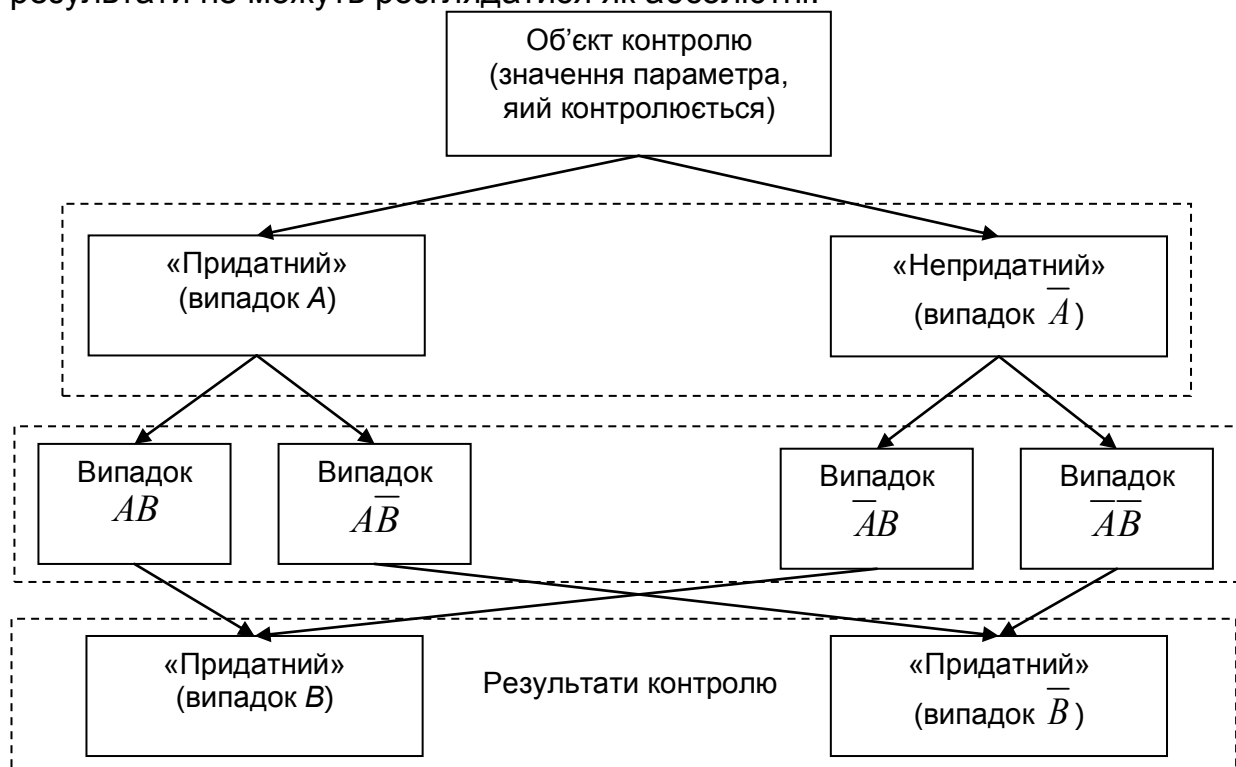


Рис.1. Модель процесу здійснення допускового контролю

Позначення:

A – випадок, який полягає у тому, що значення параметра, який контролюється, знаходиться в межах поля допусків (об'єкт контролю «придатний»);

$\bar{A}$ – випадок, який полягає у тому, що значення параметра, який контролюється, не знаходиться в межах поля допусків (об'єкт контролю «непридатний»);

Внаслідок цього необхідно розглядати такі можливі події:

AB – область $ABFEDHN$;

$A\bar{B}$ – область $FCDE$;

$\bar{A}B$ – область BFG і DHI ;

$\bar{A}\bar{B}$ – область $-\infty AB, KH \infty$.

Ймовірність цих подій $P(AB)$, $P(\bar{A}B)$, $P(A\bar{B})$, $P(\bar{A}\bar{B})$ характеризують якість виконання допускового контролю, але вони не враховують факторів апіорності чи апостеріорності подій. При цьому, оскільки вони складають повну групу можливих подій:

$$P(AB) + P(\bar{A}B) + P(A\bar{B}) + P(\bar{A}\bar{B}) = 1.$$

Характер зміни щільності ймовірності значень контрольованого параметра $f_A(x)$ і щільності ймовірності значень результатів контролю $f_B(x)$ наведено на рис. 2.

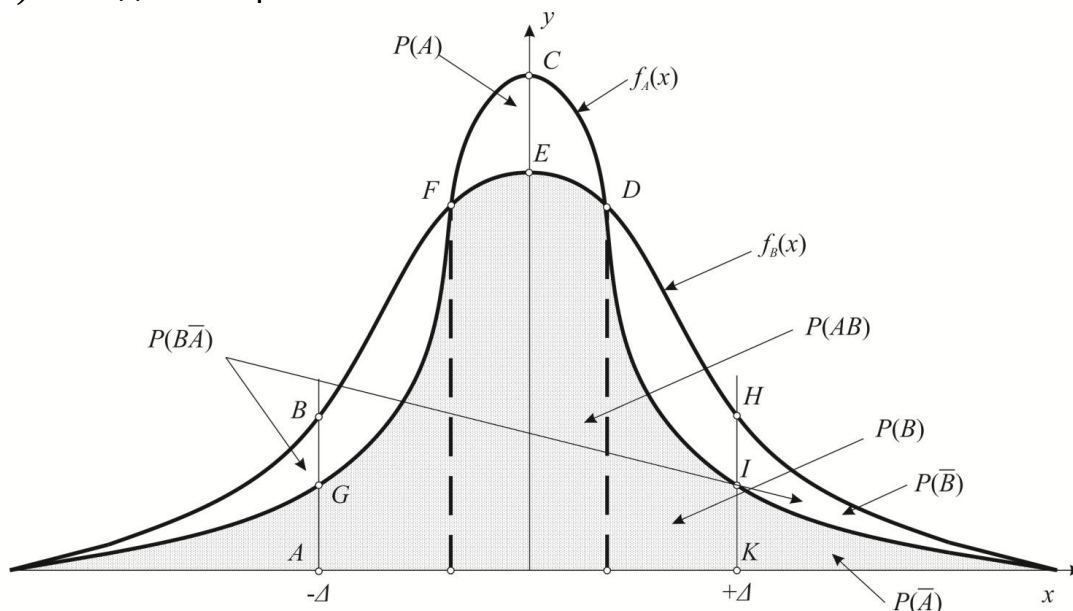


Рис.2. Характер зміни щільності ймовірності значень контрольованого параметра і щільності ймовірності результатів контролю

Як більш чутливі показники достовірності можуть бути застосовані апіорні умовні ймовірності $P(B/A)$, $P(B/\bar{A})$, $P(\bar{B}/A)$, $P(\bar{B}/\bar{A})$ чи апостеріорні умовні ймовірності $P(A/B)$, $P(\bar{A}/B)$, $P(A/\bar{B})$, $P(\bar{A}/\bar{B})$.

При розробці і створенні систем діагностування у першу чергу виникає питання апіорної оцінки її можливостей (достовірності оцінки стану об'єкта контролю). Тому, доцільно використовувати апіорні ймовірності $P(B/A), P(B/\bar{A}), P(\bar{B}/A), P(\bar{B}/\bar{A})$. У цьому випадку значення параметрів заздалегідь встановлюють у полі допуску (або не у полі допуску) і за результатами контролю визначають значення вказаних апіорних ймовірностей.

$P(B/A)$ – апіорна умовна ймовірність отримання результату «придатний», якщо значення параметра, що контролюється, дійсно знаходиться в межах встановлених допусків.

$P(B/\bar{A})$ – апіорна умовна ймовірність отримання результату «придатний», якщо значення параметра, що контролюється, дійсно знаходиться поза межами допусків.

$P(\bar{B}/A)$ – апіорна умовна ймовірність отримання результату «непридатний», якщо значення параметра, що контролюється, дійсно знаходиться в межах допусків.

$P(\bar{B}/\bar{A})$ – апіорна умовна ймовірність отримання результату «непридатний», якщо значення параметра, що контролюється, дійсно знаходиться поза межами допусків.

Отримані за результатами випробувань системи діагностування значення вказаних апіорних ймовірностей застосовують при визначенні значень апостеріорних ймовірностей, які дійсно відображають стан об'єкта контролю за результатами контролю (достовірність результатів контролю).

$P(A/B)$ – умовна ймовірність подій, що полягає в знаходженні в дійсності значення параметра, що контролюється, в межах встановлених допусків, за умову, що отриманий результат контролю «придатний» (достовірність результатів контролю за рішенням «придатний»).

$P(\bar{A}/\bar{B})$ – умовна ймовірність подій, що полягає в знаходженні в дійсності значення параметра, що контролюється, за межами встановлених допусків, за умову, що отриманий результат контролю «непридатний» (достовірність результатів контролю за рішенням «непридатний»).

Згідно з теоремою Бейєса апостеріорна ймовірність $P(A/B)$ може бути визначена із співвідношення:

$$P(A/B) = \frac{P(AB)}{P(B)} = \frac{P(AB)}{P(A) \cdot P(B/A)}.$$

У результаті

$$P(B/A) = \frac{P(AB)}{P(A) \cdot P(A/B)} = \frac{P(AB)}{P(B)} = dr.$$

Аналогічно можна визначити апостеріорну умовну ймовірність $P(\bar{A}/\bar{B})$, тобто ймовірність того, що значення параметра, що

контролюється, знаходиться за межами допуску за умову, що отриманий результат контролю «непридатний»:

$$P(\bar{B}/\bar{A}) = \frac{P(\bar{A}\bar{B})}{P(\bar{A})} = \frac{P(\bar{A}\bar{B})}{P(\bar{B}) \cdot P(\bar{A}/\bar{B})} = d_{не}.$$

Значення ймовірностей $P(A/\bar{B})$ і $P(\bar{A}/B)$ приймається як похибки першого і другого роду [2].

Величина достовірності контролю залежить від величини допуску на відхилення значення контрольованого параметра і величини похибки засобів контролю. На рис. 3. показана залежність достовірності результатів контролю за рішенням «придатний» d_n від співвідношення середньоквадратичного відхилення помилки вимірювача σ_i і середньоквадратичного значення відхилення значення параметра допуску параметра, що контролюється, σ_n . Характер залежності величини достовірності контролю за рішенням «непридатний» $\sigma_{не}$ має аналогічний характер.

При збільшенні $\frac{\sigma_i}{\sigma_n}$ величина інструментальної достовірності контролю зменшується. При збільшенні величини поля допусків параметра, який контролюється, інструментальна достовірність результатів контролю d_i за рішенням «придатний» – збільшується, а за рішенням «непридатний» – зменшується. За відомими значеннями контрольованого параметра $\Delta_n(\sigma_n)$ і потрібними значеннями достовірності результатів контролю $d_n(d_n)$ визначають припустимі значення похибки вимірювання $\Delta_i(\sigma_i)$ або дійсне значення достовірності контролю за відомими Δ_n і Δ_i .

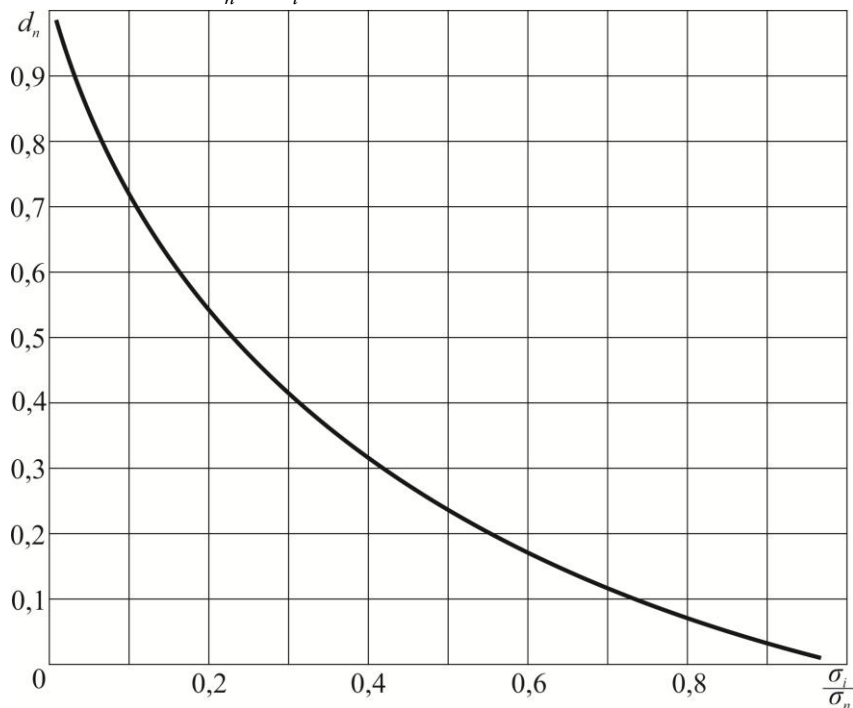


Рис.3. Залежність інструментальної достовірності щодо рішення «придатний»

Результати досліджень. Приклад. Визначити величину інструментальної достовірності контролю за рішенням «придатний» d_n за таких умов: допуск на значення параметра $\Delta_n = 10\%$; похибка вимірювача $\Delta_i = 0,3\%$.

Розв'язок: $\frac{\sigma_i}{\sigma_n} = 0,03$, тому $d_n = 0,9$.

Величина інструментальної достовірності інформації в цілому по об'єкту контролю при кількості параметрів n може бути визначена так:

$$D_i = \prod_{i=1}^n D_{ii},$$

де D_{ii} – інструментальна достовірність інформації за параметрами i .

Висновки

Для оцінки якості допускового контролю повинні використовуватися апіорні (для оцінки характеристик системи контролю) чи апостеріорні (для оцінки якості контролю об'єкта, стан якого невідомий) характеристики достовірності контролю.

При цьому, надійність системи контролю повинна бути на порядок вище за надійність об'єкта контролю, а похибки технічних засобів вимірювань – менші за розміри допуску на контрольований параметр (не менше, ніж у три рази).

Список літератури

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. / Е.С. Вентцель. [6-е изд. стер]. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
2. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер. – М.: Мир, 1990. – 206 с.
3. Щепотьев А.И. Инструментальная достоверность результатов контроля и её зависимость от характеристик контролируемых параметров и средств контроля / А.И. Щепотьев, А.Ю. Смаковенко // Средства индикации и управления систем автоматизированного контроля авиационной техники: Сб. – М., 1972. – №6. – С. 19–21.

Рассмотрены вопросы инструментальной достоверности результатов допускового контроля. Определены требования к точностным характеристикам средств измерений.

Надежность, допусковой контроль, инструментальная достоверность, объект контроля.

The examined questions of the instrumental reliability of the results of tolerance control. The requirements for the accuracy characteristics of measuring instruments.

Reliability, tolerance control, instrumental reliability, object control.

ВПЛИВ ЧАСТОТИ СТРУМУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОВШОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, кандидати технічних наук*

Проведено дослідження впливу частоти струму на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики ковшових транспортерів. Встановлено залежності продуктивності, моменту статичних опорів ковшового транспортера та питомої витрати електроенергії від частоти струму.

Електропривод, кутова швидкість, частота струму, ковшовий транспортер, продуктивність, момент статичних опорів, питома витрата електроенергії.

Відхилення частоти струму від нормованих значень в асинхронних електроприводах викликає негативні наслідки [1], серед яких найсуттєвішими є порушення нормального ходу технологічних процесів, випуск неякісної продукції та скорочення строку служби електродвигунів.

При відхиленні частоти струму змінюється кутова швидкість двигуна, яка в свою чергу обумовлює зміну технологічних та енергетичних характеристик робочих машин.

Мета досліджень – встановлення впливу відхилення частоти струму на технологічні та енергетичні характеристики ковшових транспортерів.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз зміни кутової швидкості асинхронних електроприводів при відхиленні частоти струму проведено з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей електродвигунів, приводних характеристик робочих машин і механізмів, енергетики усталених режимів електроприводів та застосуванням математичного моделювання.

При експериментальних дослідженнях частоту струму змінювали за допомогою перетворювача частоти фірми «Mitsubishi» і визначали кутову швидкість, продуктивність, момент статичних опорів норії НЗ-20 та розраховували питому витрату електроенергії.

Результати досліджень. При зміні частоти струму механічна характеристика асинхронного електродвигуна на робочій ділянці описується рівнянням [2]:

$$M_{\delta} = \beta_{\delta} \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right), \quad (1)$$

де M_{δ} – момент двигуна, Н·м; β_{δ} – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с; де f – частота струму, Гц; p – число пар полюсів; ω – задана кутова швидкість, с⁻¹.

Механічна характеристика робочих машин описується рівнянням [3]:

$$M_c = M_0 + (M_{cn} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (2)$$

де M_c – момент статичних опорів робочої машини при заданій кутовій швидкості, Н·м; M_0 – початковий момент, Н·м; M_{cn} – момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості, Н·м; ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості, с⁻¹; x – показник степеня.

У ковшових транспортерів момент статичних опорів зменшується із зростанням кутової швидкості ($x=-1$). В усталеному режимі роботи

$$\beta_a \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right) = \dot{I}_0 + (\dot{I}_{\tilde{n}i} - \dot{I}_0) \left(\frac{\omega_i}{\omega} \right), \quad (3)$$

або

$$\beta_a \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega_i \omega_* \right) = \dot{I}_0 + \frac{\dot{I}_{\tilde{n}i} - \dot{I}_0}{\omega_*}. \quad (4)$$

Синхронна кутова швидкість електродвигуна при номінальній частоті струму f_n :

$$\omega_{0n} = \frac{2\pi f_n}{p}. \quad (5)$$

Тоді рівняння (4) запишеться у вигляді:

$$\beta_a (\omega_{0i} f_* - \omega_i \omega_*) = \dot{I}_0 + \frac{\dot{I}_{\tilde{n}i} - \dot{I}_0}{\omega_*}, \quad (6)$$

звідки

$$f_* = \frac{M_0 + (M_{cn} - M_0) / \omega_* + \beta_a \omega_n \omega_*}{\beta_a \omega_{0n}}. \quad (7)$$

Якщо знехтувати початковим моментом $M_0=0$, отримаємо:

$$f_* = \frac{M_{cn} \omega_*^x + \beta_a \omega_n \omega_*}{\beta_a \omega_{0n}}. \quad (8)$$

Оскільки

$$M_{cn} = K_3 M_{\partial n}, \quad (9)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна,

$$\beta_a = \frac{M_{\partial n}}{\omega_0 - \omega_n} = \frac{M_{\partial n}}{\omega_0 s_n}, \quad (10)$$

де s_n – номінальне ковзання двигуна, то

$$f_* = \frac{K_3 s_n}{\omega_*} + \frac{\omega_n}{\omega_{0n}} \omega_*. \quad (11)$$

Для двигунів із жорсткою механічною характеристикою номінальне ковзання невелике і $\omega_n \approx \omega_{0n}$, тому першим доданком у виразі (11) можна знехтувати. Тоді отримаємо:

$$f_* \approx \omega_*. \quad (12)$$

У ковшових транспортерів продуктивність збільшується із зростанням кутової швидкості приводного вала до певної межі, після чого

за рахунок зменшення коефіцієнта заповнення ковшів залишається незмінною або навіть дещо зменшується. При цьому момент статичних опорів за рахунок зменшення коефіцієнта заповнення ковшів також зменшується.

Проведені експериментальні дослідження зміни продуктивності і моменту статичних опорів норії НЗ-20 при зміні частоти струму показали, що ці залежності є нелінійними та описуються складними функціями.

Залежності продуктивності і моменту статичних опорів норії НЗ-20 від частоти струму показані на рис. 1. При підвищенні частоти струму понад

10 % від номінального значення продуктивність норії нелінійно зростає. При подальшому зростанні частоти струму вона починає зменшуватися внаслідок зменшення коефіцієнта заповнення ковшів. Момент статичних опорів норії при зростанні частоти струму нелінійно зменшується.

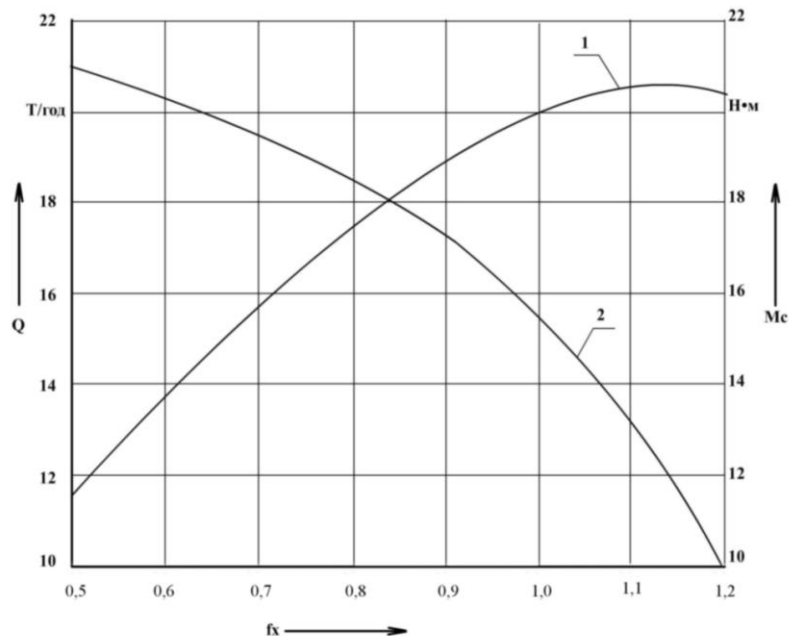


Рис.1. Залежності продуктивності (1) і моменту статичних опорів (2) норії НЗ-20 від частоти струму

Відхилення частоти струму в асинхронних електроприводах впливає на втрати потужності. Якщо знехтувати механічними втратами і втратами потужності в роторі, то постійні втрати асинхронного двигуна при зміні частоти струму визначатимуться за формулою [2]:

$$\Delta P_{cm} = \Delta P_{cm1} \approx \Delta P_{cm1n} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^{1,3}, \quad (13)$$

де ΔP_{cm1n} – втрати в сталі статора при номінальних значеннях частоти і напруги живлення, Вт.

Для ковшових транспортерів закон зміни напруги на статорі при зміні частоти струму має вигляд:

$$U_* = \sqrt{f_*}. \quad (14)$$

Тоді втрати в сталі двигуна

$$\Delta P_{cm} \approx \Delta P_{cm1n} f^{2,3}. \quad (15)$$

Змінні втрати потужності визначаються за формулою [2]:

$$\Delta P_v = M_c \omega_0 s \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right), \quad (16)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора, Ом; R_2' – опір обмотки ротора, зведений до обмотки статора, Ом.

У ковшових транспортерів момент статичних опорів нелінійно залежить від кутової швидкості, тому вираз для визначення втрат потужності при зміні частоти струму є досить складним. Оскільки при зміні частоти струму ковзання практично не змінюється, то перепад швидкості буде:

$$\Delta \omega = \omega_0 s \approx \omega_0 s_{iii}. \quad (17)$$

Тоді змінні втрати потужності при відхиленні частоти струму визначатимуться виразом:

$$\Delta P_v \approx M_c \omega_0 s_i \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = M_c \frac{2\pi f_* f_i}{p} s_i \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right). \quad (18)$$

Для ковшових транспортерів

$$M_c \approx \frac{M_{сн}}{f_*}. \quad (19)$$

Тоді змінні втрати потужності:

$$\Delta P_v \approx \Delta P_{vh}. \quad (20)$$

Питома витрата електроенергії ковшового транспортера, кВт·год/м³, визначається так:

$$q = P_1 / Q, \quad (21)$$

де P_1 – потужність, споживана двигуном із мережі, кВт.

У відносних одиницях вираз (22) має вигляд:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2н} + \Delta P_{сн} + \Delta P_{vh}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vh} (\alpha f_*^{2,3} + \Delta P_v / \Delta P_{vh})}{P_{2н} + \Delta P_{vh} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (22)$$

де $P_{2н}$ і P_2 – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і відмінній від номінальної напрузі, Вт; $\Delta P_{сн}$ і ΔP_c – постійні втрати, Вт; ΔP_{vh} і ΔP_v – змінні втрати, Вт; α – коефіцієнт втрат.

Оскільки $P_2 / P_{2н} = 1$,

$$\Delta P_n = P_{2н} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_{vh} (\alpha + 1), \quad (23)$$

де η_n – ККД двигуна при номінальній частоті струму, отримаємо

$$q_* = \frac{1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \cdot \frac{(\alpha f_*^{3,3} + f_*^3)}{(\alpha + 1)}}{Q_* \left(1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)} = \frac{1}{Q_*} \left(\eta_n + \frac{1 - \eta_n}{\alpha + 1} (\alpha f_*^{2,3} + 1) \right). \quad (24)$$

Таким чином, зниження частоти струму від номінальної викликає збільшення питомої витрати електроенергії у ковшових транспортерів, а її підвищення до 10 % – зменшення (рис. 2).

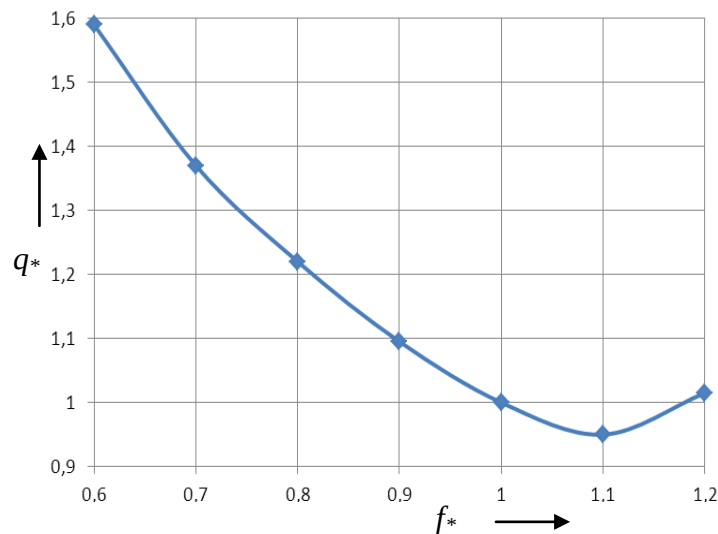


Рис. 2. Залежність питомої витрати електроенергії ковшових транспортерів від частоти струму

Висновки

При зростанні частоти струму продуктивність ковшових транспортерів зростає до певної межі, а потім зменшується. При цьому зменшується момент статичних опорів. При зниженні частоти струму на 2 % продуктивність норій зменшується на 2 %, а питома витрата електроенергії збільшується на 1,5 %.

Список літератури

1. Вплив якості електроенергії на функціонування споживачів у сільському господарстві / Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко, І.І. Мартиненко [та ін.] // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – №1(6). – С. 3–12.
2. Електропривод / [Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І. та ін.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / [Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М. та ін.]; за ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.

Проведено исследование влияния частоты тока на угловую скорость, технологические и энергетические характеристики ковшовых транспортеров. Установлены зависимости производительности, момента статических сопротивлений ковшového транспортера и удельного расхода электроэнергии от частоты тока.

Електропривод, угловая скорость, частота тока, ковшовый транспортер, производительность, момент статических сопротивлений, удельный расход электроэнергии.

The effect of frequency on the angular speed, technological and energy characteristics of bucket conveyors are carried out. The dependencies of performance, torque static resistance bucket conveyor and specific energy consumption from the current frequency are established.

Electric drive, angular speed, frequency, bucket conveyor, performance, static moment resistance, the specific energy consumption.

УДК 631.589

СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ОПАЛЕННЯ ТЕПЛИЦЬ У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД

А.О. Дудник, кандидат технічних наук

Наведено результати математичного моделювання залежності витрат природного газу на опалення теплиць від параметрів зовнішнього середовища з метою забезпечення заданої внутрішньої температури в теплиці. Розроблено математичну модель у вигляді рівняння регресії, визначено оптимальний режим мікроклімату для забезпечення максимальної продуктивності фотосинтезу.

Математична модель, експеримент, рівняння регресії, мікроклімат теплиці.

Відомо, що підтримання оптимальної температури в теплиці, особливо в зимовий період, є найбільш енергозатратним фактором під час виробництва овочів. Крім того, температурний режим значно впливає на фотосинтез у рослинах і пов'язаний з інтенсивністю сонячної радіації, яка залежить від тривалості світлового дня та зовнішніх погодних умов. Частина сонячної радіації є фотосинтетично активною (ФАР), тобто бере участь у процесі фотосинтезу, а решта, перетворившись в тепло, збільшує температуру в теплиці, при цьому збурюючи впливає на мікроклімат біотехнічного об'єкта [2, 3, 4]. Таким чином, важливим завданням є синтез математичної моделі витрат природного газу на опалення в теплиці з урахуванням збурюючого впливу зовнішніх погодних умов.

Мета досліджень – синтез математичної моделі витрат природного газу у теплиці, яка дозволить дослідити вплив зовнішніх природних факторів (температури та інтенсивності сонячної радіації) на енергетичні витрати та визначити можливі шляхи підвищення енергоефективності при виробництві овочів у спорудах закритого ґрунту.

Матеріали та методика досліджень. Інформація щодо значень параметрів мікроклімату та збурюючих впливів отримана із застосуванням інформаційно-вимірювальної системи моніторингу, яка розроблена з використанням датчиків температури, вологості та інтенсивності сонячної

The effect of frequency on the angular speed, technological and energy characteristics of bucket conveyors are carried out. The dependencies of performance, torque static resistance bucket conveyor and specific energy consumption from the current frequency are established.

Electric drive, angular speed, frequency, bucket conveyor, performance, static moment resistance, the specific energy consumption.

УДК 631.589

СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ОПАЛЕННЯ ТЕПЛИЦЬ У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД

А.О. Дудник, кандидат технічних наук

Наведено результати математичного моделювання залежності витрат природного газу на опалення теплиць від параметрів зовнішнього середовища з метою забезпечення заданої внутрішньої температури в теплиці. Розроблено математичну модель у вигляді рівняння регресії, визначено оптимальний режим мікроклімату для забезпечення максимальної продуктивності фотосинтезу.

Математична модель, експеримент, рівняння регресії, мікроклімат теплиці.

Відомо, що підтримання оптимальної температури в теплиці, особливо в зимовий період, є найбільш енергозатратним фактором під час виробництва овочів. Крім того, температурний режим значно впливає на фотосинтез у рослинах і пов'язаний з інтенсивністю сонячної радіації, яка залежить від тривалості світлового дня та зовнішніх погодних умов. Частина сонячної радіації є фотосинтетично активною (ФАР), тобто бере участь у процесі фотосинтезу, а решта, перетворившись в тепло, збільшує температуру в теплиці, при цьому збурюючи впливає на мікроклімат біотехнічного об'єкта [2, 3, 4]. Таким чином, важливим завданням є синтез математичної моделі витрат природного газу на опалення в теплиці з урахуванням збурюючого впливу зовнішніх погодних умов.

Мета досліджень – синтез математичної моделі витрат природного газу у теплиці, яка дозволить дослідити вплив зовнішніх природних факторів (температури та інтенсивності сонячної радіації) на енергетичні витрати та визначити можливі шляхи підвищення енергоефективності при виробництві овочів у спорудах закритого ґрунту.

Матеріали та методика досліджень. Інформація щодо значень параметрів мікроклімату та збурюючих впливів отримана із застосуванням інформаційно-вимірювальної системи моніторингу, яка розроблена з використанням датчиків температури, вологості та інтенсивності сонячної

радіації, та змонтована на території цеху №9 ПАТ «Комбінат «Тепличний» Броварського району Київської області [1].

На рис. 1 наведено вигляд інформаційного вікна, в якому відображено поточні значення зазначених параметрів. Також розроблено інформаційне забезпечення у вигляді бази даних з використанням MS SQL Server Express.

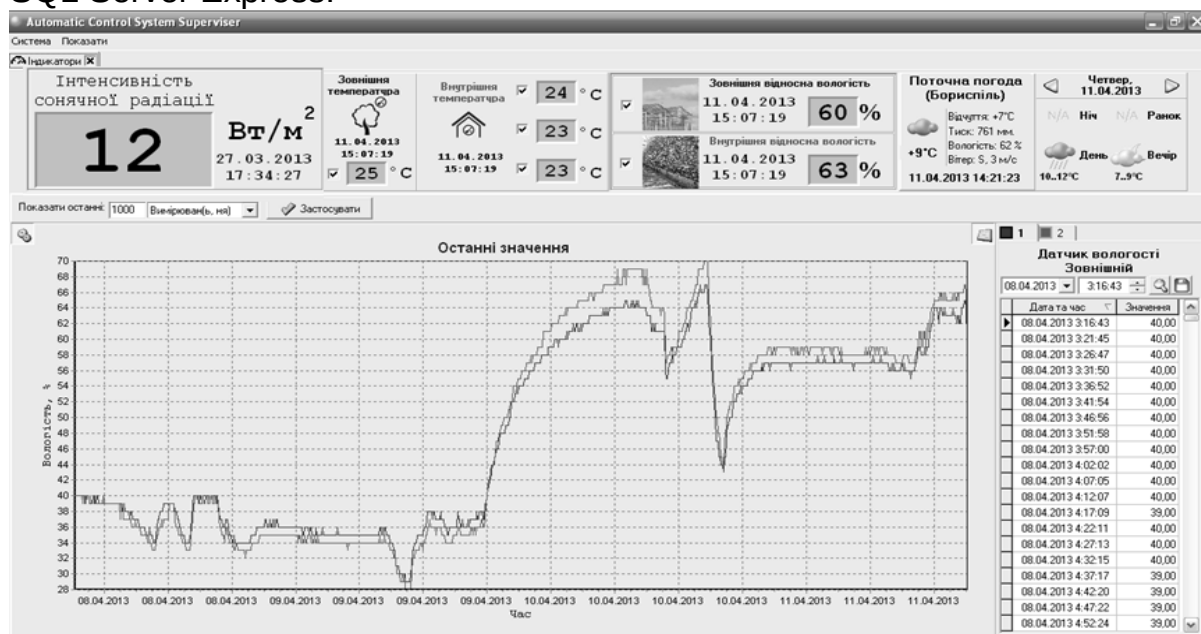


Рис.1. Вигляд вікна з результатами моніторингу параметрів зовнішнього середовища та мікроклімату в теплиці

Результати досліджень. Моніторинг параметрів та їх збереження у базі даних дозволили накопичити статистичну інформацію, на основі якої і проводився синтез математичної моделі, тобто статичної характеристики об'єкта (рис. 2), яка описується поліноміальним рівнянням другого порядку.

$$P(T, T1R) = -6,213 \cdot 10^{-3} + 1,86T + 5,98T1 + 0,038R + 0,314TT1 - 3,257 \cdot 10^{-3}TR + 7,41 \cdot 10^{-4}T1R - 0,056T^2 - 0,023T1^2 + 1,39R^2. \quad (1)$$

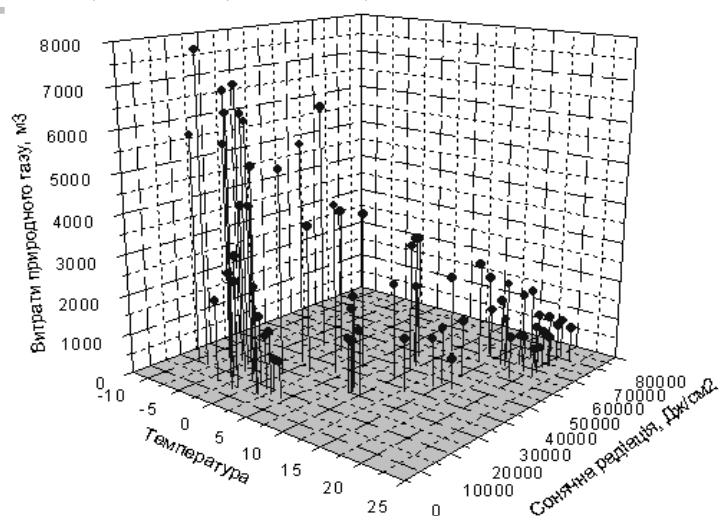


Рис.2. Статична характеристика об'єкта керування

Коефіцієнти рівняння визначалися за методом найменших квадратів.

$$A := \begin{bmatrix} 19 & \sum T_1 & \sum T & \sum R & \sum T_1 \cdot T_1 & \sum T_1 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot R_1 & \sum T_1^2 & \sum T^2 & \sum R^2 \\ \sum T_1 & \sum T_1^2 & \sum T_1 \cdot T_1 & \sum T_1 \cdot R_1 & \sum (T_1)^2 \cdot T_1 & \sum (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot T_1 \cdot R_1 & \sum T_1^3 & \sum (T_1)^2 \cdot T_1 & \sum (R_1)^2 \cdot T_1 \\ \sum T & \sum T_1 \cdot T_1 & \sum T^2 & \sum T_1 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot (T_1)^2 & \sum T_1 \cdot T_1 \cdot R_1 & \sum (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum (T_1)^2 \cdot T_1 & \sum T^3 & \sum (R_1)^2 \cdot T_1 \\ \sum R & \sum T_1 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot R_1 & \sum R^2 & \sum T_1 \cdot T_1 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot (R_1)^2 & \sum T_1 \cdot (R_1)^2 & \sum (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum R^3 \\ \sum T_1 \cdot T_1 & \sum (T_1)^2 \cdot T_1 & \sum T_1 \cdot (T_1)^2 & \sum T_1 \cdot T_1 \cdot R_1 & \sum (T_1)^2 \cdot (T_1)^2 & \sum (T_1)^2 \cdot T_1 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum (T_1)^3 \cdot T_1 & \sum (T_1)^3 \cdot T_1 & \sum (R_1)^2 \cdot T_1 \cdot T_1 \\ \sum T_1 \cdot R_1 & \sum (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot T_1 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot (R_1)^2 & \sum (T_1)^2 \cdot T_1 \cdot R_1 & \sum (T_1)^2 \cdot (R_1)^2 & \sum T_1 \cdot T_1 \cdot (R_1)^2 & \sum (T_1)^3 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum (R_1)^3 \cdot T_1 \\ \sum T_1 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot T_1 \cdot R_1 & \sum (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot (R_1)^2 & \sum T_1 \cdot (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum T_1 \cdot T_1 \cdot (R_1)^2 & \sum (T_1)^2 \cdot (R_1)^2 & \sum (T_1)^2 \cdot T_1 \cdot R_1 & \sum (T_1)^3 \cdot R_1 & \sum (R_1)^3 \cdot T_1 \\ \sum T_1^2 & \sum T_1^3 & \sum (T_1)^2 \cdot T_1 & \sum (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum (T_1)^3 \cdot T_1 & \sum (T_1)^3 \cdot R_1 & \sum (T_1)^2 \cdot T_1 \cdot R_1 & \sum T_1^4 & \sum (T_1)^2 \cdot (T_1)^2 & \sum (T_1)^2 \cdot (R_1)^2 \\ \sum T^2 & \sum T_1 \cdot (T_1)^2 & \sum T^3 & \sum (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum (T_1)^3 \cdot T_1 & \sum T_1 \cdot (T_1)^2 \cdot R_1 & \sum (T_1)^3 \cdot R_1 & \sum (T_1)^2 \cdot (T_1)^2 & \sum T^4 & \sum (T_1)^2 \cdot (R_1)^2 \\ \sum R^2 & \sum (R_1)^2 \cdot T_1 & \sum (R_1)^2 \cdot T_1 & \sum R^3 & \sum (R_1)^2 \cdot T_1 \cdot T_1 & \sum (R_1)^3 \cdot T_1 & \sum (R_1)^3 \cdot T_1 & \sum (T_1)^2 \cdot (R_1)^2 & \sum (T_1)^2 \cdot (R_1)^2 & \sum R^4 \end{bmatrix}$$

Середньоквадратична похибка становить 0,0213, що дозволяє використати отримане рівняння для подальших досліджень.

На рис.3 наведено експериментальну та розраховану залежності витрат природного газу від температури повітря та від інтенсивності сонячної радіації.

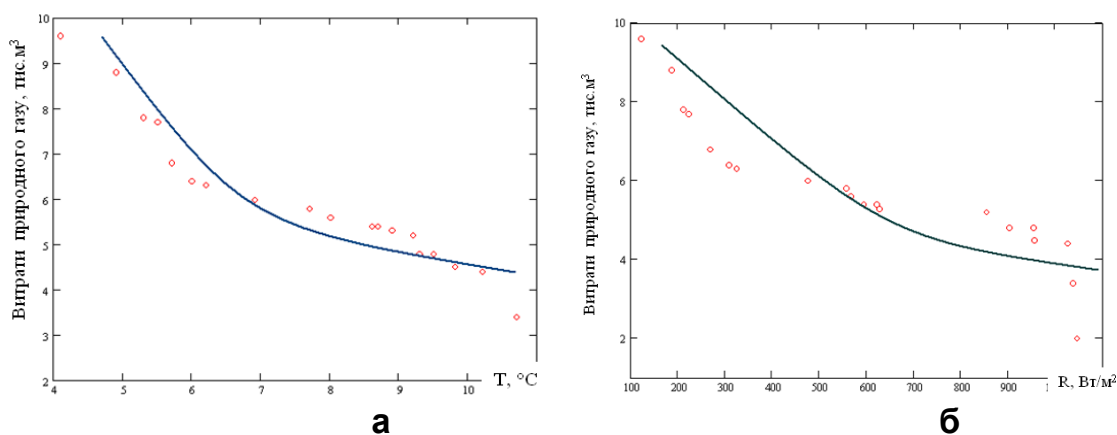


Рис.3. Залежність (експериментальна та розрахована) витрат природного газу від зовнішньої температури повітря (а) та від інтенсивності сонячної радіації (б)

Крім того, важливо порівняти енергоефективність для систем керування, що працюють за різними алгоритмами.

У таблиці показано результати розрахунку витрат природного газу для систем керування різного типу: 1 – для системи керування, що функціонує у теплиці за алгоритмом стабілізації параметрів мікроклімату, 2 – системи керування, в якій використовується прогнозування зовнішніх збурень, а також для 3 – системи керування, в якій використовується як

нейромережеве прогнозування зовнішніх природних збурень, так і оптимізація параметрів мікроклімату з метою максимізації приросту овочевої продукції.

Результати моделювання з використанням різних алгоритмів роботи системи керування

№ з/п	Зовнішні збурення		Змінні керування	Витрати природного газу, м ³ , для систем керування типів		
	Зовнішня температура повітря, °C	Інтенсивність сонячної радіації, Вт/м ²	Температура повітря в теплиці, °C	1	2	3
1	3	500	18	6,26	5,6027	5,22084
2	6	400	19	7,104	6,32256	5,97446
3	7	600	20	4,926	4,37921	4,22158
4	5	700	21	1,454	3,21574	2,9681
5	4	350	22	6,464	5,80467	5,33926

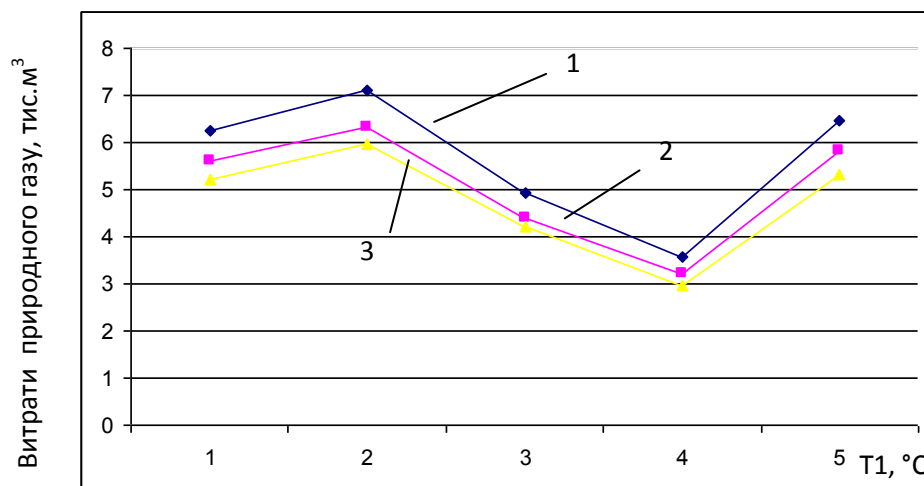


Рис. 4. Залежність витрат природного газу від зовнішньої температури повітря

На рис. 4 чітко видно зменшення витрат природного газу при використанні нейромережевого прогнозування зовнішньої температури повітря та інтенсивності сонячної радіації за рахунок врахування цих параметрів при розрахунку кількості теплової енергії, що надходить у теплицю ззовні. При використанні алгоритму оптимізації приросту рослин кількість природного газу також зменшується, що пояснюється використанням отриманого в результаті активного експерименту рівняння залежності приросту від параметрів мікроклімату.

Висновки

1. Отримано математичну модель витрат природного газу у теплиці, що враховує параметри зовнішнього природного середовища для підтримання заданої температури повітря.

2. Здійснено імітаційне порівняння енергоефективності при використанні систем керування трьох типів, показано доцільність використання системи керування з нейромережевим прогнозуванням збурень та блоком оптимізації приросту рослинної маси.

Список літератури

1. Лисенко В. П. Методи і засоби створення структури бази даних для підсистеми моніторингу автоматизованих систем керування технологічними процесами [Електронний ресурс] / В. П. Лисенко, Б. Л. Голуб, А. О. Дудник. Режим доступу: http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/eia/2012_3/12lvp.pdf.
2. Лисенко В. П. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі / В. П. Лисенко, А. О. Дудник // Науковий вісник НУБіП України. – К., 2011. – № 166/3. – С.104 – 112.
3. Нейромережеве прогнозування часових рядів температури навколишнього природного середовища / В. П. Лисенко, Н. А. Засць, В. М. Штепа, А. О. Дудник // Біоресурси і природокористування. – К.:НААН України, 2011. – №3–4. – С.102–108.
4. Model-based predictive control of greenhouse climate for reducing energy and water consumption / X. Blasco [et al] // Computers and Electronics in Agriculture. – January 2007. – Volume 55, Issue 1. – p. 49–70.

Приведены результаты математического моделирования зависимости расхода природного газа на отопление теплиц от параметров внешней среды с целью обеспечения заданной внутренней температуры в теплице. Разработана математическая модель в виде уравнения регрессии, определен оптимальный режим микроклимата для обеспечения максимальной продуктивности фотосинтеза.

Математическая модель, эксперимент, уравнение регрессии, микроклимат теплицы.

The results of mathematical modeling for natural gas consumption for heating greenhouses depending on environment parameters to ensure the desired internal temperature in the greenhouse are shown. The mathematical model is a regression equation determined the optimal mode-conditioning for maximum productivity of photosynthesis.

Mathematical model, experiment, regression equation, greenhouse microclimate.

МАЛОЕНЕРГОЗАТРАТНІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА НА ОСНОВІ НОВІТНІХ ЛЮМІНЕСЦІЮЮЧИХ ОРГАНІЧНИХ МОЛЕКУЛ

***В.В. Бойко, Я.О.Гуменюк, В.Ю.Кудря, кандидати
фізико-математичних наук***

Розглянуто можливість створення низькоенергозатратних і дешевих за ціною джерел випромінювання світла, основою яких є органічні світловипромінюючі пристрої (OLED), які ефективно випромінюють світло при протіканні електричного струму через них. Піднято проблему пошуку нових органічних сполук з високою фотостабільністю та високим квантовим виходом люмінесценції, які, крім цього, можуть бути ще й легко синтезовані. Наведено результати спектральних досліджень (оптичного поглинання, флюоресценції та фосфоресценції) ряду нових люмінесціюючих молекул (спеціально синтезованих для виготовлення OLED), що містять пі-електронні системи.

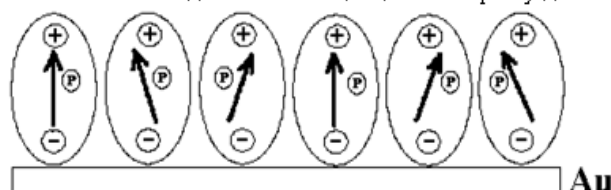
Спектроскопія, люмінесценція, поглинання, спектр.

Відомо, що однією із головних проблем сучасного сільського господарства є пошук нових альтернативних джерел енергії та, зокрема, низькоенергозатратних і дешевих за ціною джерел випромінювання світла. Одними із найперспективніших джерел світла такого типу є органічні світловипромінюючі пристрої (OLED), які ефективно випромінюють світло при передачі електричного струму через них. Але нині технології виготовлення органічних світлодіодів вимагають пошуку нових органічних сполук з високою фотостабільністю та високим квантовим виходом люмінесценції, які, крім цього, можуть бути ще й легко синтезовані. Одними з таких органічних сполук є нові молекули, що містять пі-електронні системи. Внаслідок своєї електронно-енергетичної структури ці сполуки мають високий квантовий вихід фосфоресценції. Однак фосфоресценція більшості пі-електрон-містких органічних молекул не спостерігається при кімнатній температурі за рахунок захоплення триплетних збуджень молекулами кисню з оточення, основний енергетичний рівень яких є триплетним.

Мета досліджень – доведення можливості створення низькоенергозатратних і дешевих за ціною джерел випромінювання світла, основою яких є органічні світловипромінюючі пристрої (OLED), які ефективно випромінюють світло при проходженні електричного струму через них, пошук нових органічних сполук з високою фотостабільністю та високим квантовим виходом люмінесценції, які, крім цього, можуть бути ще й легко синтезовані.

Матеріали та методика досліджень. Поставлена мета може бути вирішена частково використанням полімерної матриці, яка повинна бути оптично "прозорою" в діапазоні фосфоресценції світловипромінюючої молекули та мати збуджені енергетичні рівні вищими, ніж відповідні рівні світловипромінюючих молекул. Цей полімер, з одного боку, може легко зв'язати світловипромінюючі молекули та сформувати єдиний світловипромінюючий шар і, з іншого боку, може захистити ці молекули від впливу навколишнього кисню.

Результати досліджень. У роботі наведено результати спектральних досліджень (оптичного поглинання, флюоресценції та фосфоресценції) ряду нових молекул з високим квантовим виходом люмінесценції (спеціально синтезованих для виготовлення OLED), що містять пі-електронні системи. Було оцінено положення перших збуджених синглетного та триплетного рівнів енергії цих молекул. Запропоновано модель самоорганізації дипольних моментів молекул барвника на золотій підкладці (рисунк).



Модель самоорганізації дипольних моментів молекул барвника на золотій підкладці

Висновки

Досліджений барвник має мале (у порівнянні з переважною більшістю аналогічних молекулярних систем) синглет-триплетне розщеплення. При температурі рідкого азоту спостерігається значний перерозподіл відносної інтенсивності флюоресценції / фосфоресценції досліджуваних молекул у порівнянні з відомими мономерами, що становить 90 % для фосфоресценції та 10 % для флюоресценції. Досліджена полімерна матриця задовольняє усі вимоги щодо полімерної матриці для інкорпорування пі-електрон-містких молекул.

Список літератури

1. Ogul'chansky T.Yu., Yashchuk V.M., Losytsky M.Yu., Kocheshev I.O., Yarmoluk S.M. Interaction of cyanine dyes with nucleic acids // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2000. – Vol.56, №4. – P.805–814.
2. Yashchuk V.M., Kudrya V.Yu., Losytsky M.Yu., Dubey I.Ya., Ohulchansky T.Y., Suga H., Yarmoluk S.M. The effect of triplet-triplet excitation energy transfer on the DNA self-protection mechanism // *Наукові записки НаУКМА: Сер. фіз.-мат. наук*. – 2006. – Т.51. – С.48–56.
3. Kudrya V.Yu., Yashchuk V.M., Gusak V.V., Losytsky M.Yu., Kryvorotenko D.V., Balanda A.O., Yarmoluk S.M., Gumenyuk Y.O. The spectral manifestation of the new luminescent styryl dyes photostability and phototoxic influence on the DNA // *Наукові записки НаУКМА: Сер. фіз.-мат. наук*. – 2006. – Т.51. – С.35–42.
4. Mookherji A., Tandon S. P. *Indian journal of Physics*, 1962. – 36. – №7. – P. 344–350.
5. V.Yu.Kudrya, V.M.Yashchuk, L.P.Paskal', T.B.Zheltonozhskaya, O.V.Demchenko. The PVA-PAA_N Intrapolymer Complexes as Sensors with Optical Response// *Macromolecular Symposia*. – 2001. – Vol.166. – P.249-253.
6. T.B.Zheltonozhskaya, V.G.Syromyatnikov, V.M.Yashchuk, V.Yu.Kudrya, O.V.Demchenko, I.V.Filimonova. *Functional Materials*, 5. – 1998. – № 3. – P.398-401.
7. O.V.Demchenko, T.B.Zheltonozhskaya, V.G.Syromyatnikov, N.V.Strelchuk, V.M.Yashchuk, V.Yu.Kudrya. Polymer sensors with optical response based on thermal modified intramolecular polycomplexes PVA-PAA_N // *Functional Materials*. – 2000. – Vol.7, № 4(1). – P.711-716.

Рассмотрена возможность создания низкоэнергозатратных и дешевых по цене источников излучения света, основой которых являются органические светоизлучающие устройства (OLED), которые эффективно излучают свет при прохождении электрического тока через них. Поднята проблема поиска новых органических соединений с высокой фотостабильностью и высоким квантовым выходом люминесценции, которые, кроме этого, могут быть еще и легко синтезированы. Приведены результаты спектральных исследований (оптического поглощения, флуоресценции и фосфоресценции) ряда новых люминесцирующих молекул (специально синтезированных для изготовления OLED), содержащие пи-электронные системы.

Спектроскопия, люминесценция, поглощение, спектр.

The possibility of creating low-power-consuming and cheap at the price of emitting light sources, which are based on organic light-emitting devices (OLED), which efficiently emit light in the transmission of electrical current through them. Was raised the challenge of finding new organic compounds with high photo stability and high quantum yield of luminescence, which, in addition, can be also easily synthesized. The results of spectral studies (absorption, fluorescence and phosphorescence) number of new luminescent molecules (specifically synthesized for manufacturing OLED), containing pi-electron systems.

Spectroscopy, luminescence, absorption, spectrum.

ВПЛИВ ЗНЕВОДНЕННЯ НА ПОКАЗНИКИ ІНДУКЦІЇ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ ХЛОРОФІЛУ У ЛИСТКАХ САЛАТУ

(*Lactuca sativa* L.)

Ю.І. Посудін, доктор біологічних наук

О.О. Годлевська, кандидат фізико-математичних наук

І.А. Залоїло, кандидат біологічних наук

Запропоновано метод реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу для дослідження стану рослин салату під впливом зневоднення. Вимірювання параметрів флуоресценції хлорофілу, зокрема індексів життєдіяльності $R_{fd'}$ при 740 нм та $R_{fd''}$ при 690 нм, дає можливість отримати корисну інформацію щодо стану рослини протягом розвитку та залежності від стресових умов.

Флуоресценція, індукція флуоресценції, салат.

Одним із перспективних методів дослідження впливу водного дефіциту на рослини є реєстрація індукції флуоресценції хлорофілу – залежності інтенсивності флуоресценції від часу при освітленні зеленого листка, що знаходився попередньо у темряві. Флуоресценція хлорофілу в останньому набуває індукційної кінетики – повільного спадання інтенсивності від максимального рівня до стаціонарного протягом 3–5 хв, відомої як “ефект Каутського” [1]. Співвідношення між флуоресценцією хлорофілу і загальним процесом фотосинтезу носять досить складний характер; слід однак зауважити, що процес реєстрації флуоресценції хлорофілу зеленого листка рослини може бути використаний для аналізу стану рослини під впливом різноманітних стресів як у лабораторних, так і польових умовах [2, 3].

Методи флуоресцентної спектроскопії було використано для дослідження впливу водного дефіциту на фотосинтетичну активність листків, сумарну ефективність фотосинтезу, захист фотосинтезу рослини від інтенсивного освітлення, газовий обмін, вміст хлорофілу в різних видах рослин [4, 5, 6].

Мета досліджень – встановлення шляхом флуоресцентного аналізу показників індексів життєдіяльності та адаптації до стресів на різних стадіях зневоднення рослини.

Матеріали та методика досліджень. В експериментах були використані листки салату (*Lactuca sativa* L.): *Лолла Росса*, *Лолла Біонда*, *Майская королева* та *Одеський кучерявець*. Рослини викопували разом з коренем і через певні проміжки часу вимірювали $R_{fd''}(690)$ та $R_{fd'}(740)$ за допомогою портативного флуориметра. Для дослідів використовувались

листки, які максимально схожі між собою за розташуванням на рослині (одного ярусу) за розміром та кольором.

Зразок перед вимірюванням тримають у кліпсі 4 хв у темряві, після чого здійснюють реєстрацію індукції флуоресценції одразу на обох довжинах хвиль (690 і 740 нм) протягом наступних чотирьох хвилин. Функції флуоресцентних індексів виконує індекс життєздатності Rfd , який вимірюють на двох довжинах хвиль: $Rfd''(690)$ і $Rfd'(740)$ [2, 3]. Цей показник є чутливим до змін стану фотосинтетичного апарату у результаті дії несприятливих факторів або фізіологічно-активних речовин.

Всі вимірювання проводили від шести до десяти разів, для можливості обчислення похибок.

Результати досліджень Залежність флуоресцентних параметрів листків салату від рівня зневоднення наведено на рисунках 1 та 2.

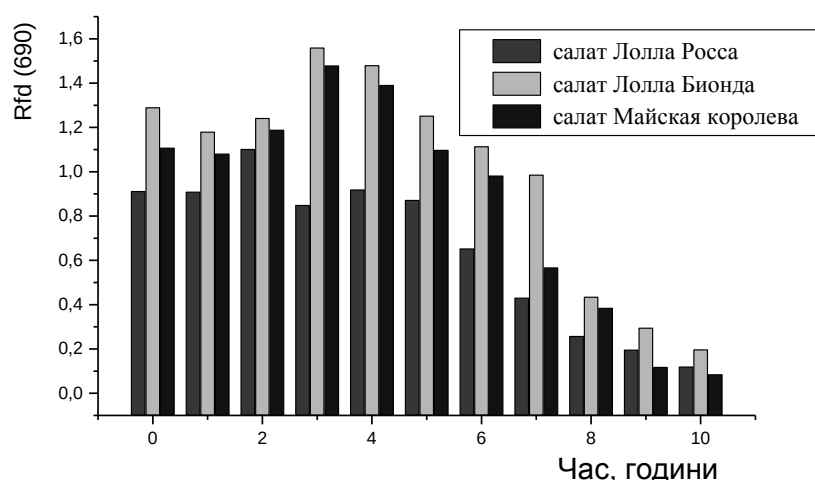


Рис. 1. Залежність індексу життєздатності $Rfd(690)$ від часу зневоднення для трьох сортів салату

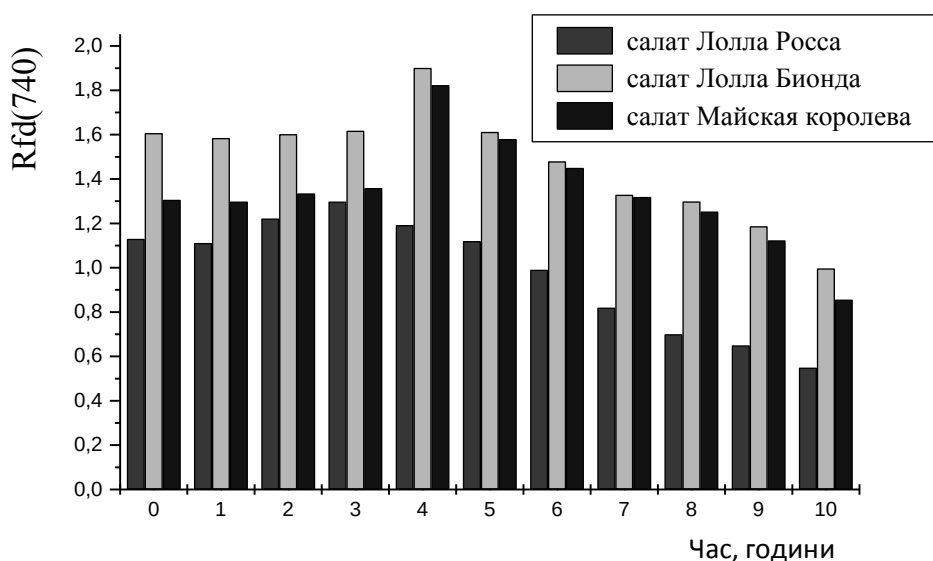


Рис. 2. Залежність індексу життєздатності $Rfd(740)$ від часу зневоднення для трьох сортів салату

Результати вимірювань свідчать про те, що флуоресцентні індекси чутливі до впливу такого зовнішнього фактора як зневоднення. Так, водний дефіцит призводить до зменшення індексів $Rfd''(690)$ і $Rfd''(740)$ за 10 год. Зневоднення листків супроводжується серйозним порушенням фотосинтетичного апарату і відповідним зменшенням флуоресцентних індексів. Вплив водного дефіциту на фотосинтетичну активність рослини та флуоресцентні індекси можна пояснити перевищенням втрати води через транспірацію порівняно з її постачанням через кореневу систему та стеблину, що викликає відповідне руйнування хлоропластів та порушення їх функцій.

Суттєву роль у реакції рослини на зневоднення відіграє абсцизова кислота [7]. Особливістю дії цієї речовини є її швидке накопичення під час водного дефіциту, що викликає часткове запирання продихів за рахунок дегідратації цитоплазми та строми хлоропластів: цитоплазма висихає, а хлоропласти упаковуються щільніше, що призводить до пригнічування короткохвильової (690 нм) флуоресценції завдяки перепоглинанню флуоресценції хлорофілом (максимум поглинання хлорофілу знаходиться при 660 нм).

Висновки

Отже, використовуючи запропонований метод, можна одержувати інформацію щодо можливих змін або руйнування фотосинтетичного апарату під впливом стресових ситуацій; для кількісної оцінки цього впливу доцільно використовувати флуоресцентні індекси $Rfd''(690)$ та $Rfd''(740)$.

Метод реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу є перспективним для діагностики вікових та морфологічних змін салату впродовж його розвитку та під впливом зневоднення. Флуоресцентні індекси, чутливі до змін стану фотосинтетичного апарату рослини, можуть бути використані в польових умовах.

Список літератури

1. Kautsky H. Neue Versuche zur Kohlenstoffassimilation/ Kautsky H., Hirsch A. // *Naturwissenschaften*. – 1931. – 19. – P. 964.
2. Lichtenthaler H.K. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants/ Lichtenthaler H.K., Rinderle U. // *CRC Critical Reviews in analytic Chemistry*. – 1988. – 19. – P. 29-85.
3. Lichtenthaler H.K. *In vivo* chlorophyll fluorescence as a tool for stress detection in plants/ Lichtenthaler H.K. In: *Application of Chlorophyll Fluorescence in Photosynthesis Research, Stress Physiology, Hydrobiology and Remote Sensing* (Lichtenthaler H.K., ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1988. – P. 129–142.
4. Daniel E. Effects of severe dehydration on leaf photosynthesis in *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.: photosystem II efficiency, photochemical and nonphotochemical fluorescence quenching and electrolyte leakage/ Daniel E., Erwin D. // *Tree Physiology*. – 1992. – 10(3) . – P. 273-84.
5. Changes in Chlorophyll Fluorescence in Maize Plants with Imposed Rapid Dehydration at Different Leaf Ages/ Xu Z. Z., Zhou G. S., Wang Y. L., Han G. X. Et al. // *Journal of Plant Growth Regulation*. – 2008. – 27(1) . – P. 83–92.

6. Посудін Ю.І. Флуоресцентний аналіз гороху посівного *Pisum sativum* впродовж розвитку та під впливом зовнішніх факторів / Ю.І. Посудін, О.В. Богдасева. // Наукові доповіді НУБіП України. – 2010. – №5(21). – С.123–128.

7. Seo M., Koshiba T. Complex regulation of ABA biosynthesis in plants/ Seo M., Koshiba T. // *Trends Plant Sci.* . – 2002. – 7. –Р. 41–48.

Предложен метод регистрации индукции флуоресценции хлорофилла для исследования состояния салата под влиянием обезвоживания. Измерение параметров флуоресценции хлорофилла, в частности индексов жизнедеятельности Rfd' при 740 нм и Rfd'' при 690 нм, дает возможность получить полезную информацию относительно состояния растения в течение развития и в зависимости от стрессовых условий.

Флуоресценция, индукция флуоресценции, салат.

It is proposed to use method of registration of chlorophyll fluorescence induction for studying the status of the salad plants under water deficit is discussed. Measurement of fluorescence parameters such as Rfd' (740 nm) and Rfd'' (690 nm) makes it possible to obtain useful information concerning the status of plant during development and under stress conditions.

Fluorescence, induction of fluorescence, salad.

УДК 621.31

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ ОПТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

**Т.С. Книжка, кандидат технічних наук
Л.С. Червінський, доктор технічних наук**

Проведено дослідження енергетичної ефективності роботи технологічних схем об'ємного опромінення рідких середовищ. Визначено параметри, за допомогою яких можна оцінити енергетичну ефективність конкретної технологічної схеми об'ємного опромінення, що сприятиме її вдосконаленню.

Ультрафіолетове випромінювання, опромінення рідких середовищ, електротехнологічний процес.

Оптичне опромінення – це цілеспрямований процес впливу енергією на матеріальне середовище, що має певні властивості та обмежені просторові координати. Важлива особливість цього процесу полягає в тому, що середовище, взаємодіючи з оптичною енергією безпосередньо,

6. Посудін Ю.І. Флуоресцентний аналіз гороху посівного *Pisum sativum* впродовж розвитку та під впливом зовнішніх факторів / Ю.І. Посудін, О.В. Богдасева. // Наукові доповіді НУБіП України. – 2010. – №5(21). – С.123–128.

7. Seo M., Koshiba T. Complex regulation of ABA biosynthesis in plants/ Seo M., Koshiba T. //Trends Plant Sci. . – 2002. – 7. –P. 41–48.

Предложен метод регистрации индукции флуоресценции хлорофилла для исследования состояния салата под влиянием обезвоживания. Измерение параметров флуоресценции хлорофилла, в частности индексов жизнедеятельности Rfd' при 740 нм и Rfd'' при 690 нм, дает возможность получить полезную информацию относительно состояния растения в течение развития и в зависимости от стрессовых условий.

Флуоресценция, индукция флуоресценции, салат.

It is proposed to use method of registration of chlorophyll fluorescence induction for studying the status of the salad plants under water deficit is discussed. Measurement of fluorescence parameters such as Rfd'(740 nm) and Rfd''(690 nm) makes it possible to obtain useful information concerning the status of plant during development and under stress conditions.

Fluorescence, induction of fluorescence, salad.

УДК 621.31

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ ОПТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

**Т.С. Книжка, кандидат технічних наук
Л.С. Червінський, доктор технічних наук**

Проведено дослідження енергетичної ефективності роботи технологічних схем об'ємного опромінення рідких середовищ. Визначено параметри, за допомогою яких можна оцінити енергетичну ефективність конкретної технологічної схеми об'ємного опромінення, що сприятиме її вдосконаленню.

Ультрафіолетове випромінювання, опромінення рідких середовищ, електротехнологічний процес.

Оптичне опромінення – це цілеспрямований процес впливу енергією на матеріальне середовище, що має певні властивості та обмежені просторові координати. Важлива особливість цього процесу полягає в тому, що середовище, взаємодіючи з оптичною енергією безпосередньо,

має можливість отримання нової якості речовини, недосяжної у природному процесі.

Нині відомо близько сорока основних технологічних схем опромінення рідких середовищ з різними енергетичними характеристиками роботи [1].

Мета досліджень – визначення параметрів оцінки енергетичної ефективності технологічних схем об'ємного опромінення рідких середовищ.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз енергії опромінення, визначення необхідної дози опромінення на одиницю об'єму рідкого середовища та проходження ультрафіолетового потоку в об'ємі опромінюваного середовища проводилися з використанням положень теорії оптики, зокрема оптики рухомих середовищ, енергії випромінювання та обмеження світлових пучків, квантової природи поглинання та випромінювання світла елементарними частинками.

Результати досліджень. Оскільки в будь-якому електротехнологічному процесі (ЕТП) результат є вимірюваним [2], то мінімально необхідна кількість енергії на опромінення може бути визначена як

$$Q_v = VQ_v^{num}, \quad (1)$$

де V – це об'єм рідини, що зазнає впливу потоку випромінювання у камері обробки протягом часу t , м³; Q_v^{num} – необхідна доза опромінення на одиницю об'єму, Дж/м³.

При опроміненні шару середовища об'ємом $V_{ш} \ll V$ йому потрібно передати кількість енергії

$$\Phi_0 t_0 = Q_v^{num} V_{ш}, \quad (2)$$

де Φ_0 – потік, що падає на поверхню оброблюваного середовища V , Вт; t_0 – час опромінювання, с.

У відомих технологіях бактерицидного опромінення розчин рухається перпендикулярно потоку ультрафіолетового випромінювання [3]. У результаті свого руху через область опромінення шари рідини набирають необхідну дозу Q_v^{num} . Внаслідок того, що просторова щільність електромагнітної енергії з глибиною проникнення в оброблюване середовище зменшується за експоненціальним законом, то для того, щоб досягти необхідної дози опромінення Q_v^{num} у нижніх шарах з об'ємом $V_{ш}$ весь об'єм V необхідно опромінювати протягом періоду часу t_h , тобто

$$\Phi_h t_h = Q_v^{num} V_{ш}, \quad (3)$$

де $\Phi_h = \Phi_0 e^{ah}$.

У сучасних технологіях поверхневого опромінення відбуваються два енергетичних процеси: передачі за координатою h і поглинання енергії розчином.

Щоб врахувати характер розходження потоку ультрафіолетового випромінювання в об'ємі опромінюваного середовища потрібно ввести коефіцієнт K , який враховує розходження ультрафіолетового потоку в об'ємі опромінюваного середовища.

Величина K визначається так:

$$K = \frac{E_0}{E_h} e^{-ah}, \quad (4)$$

де E_0 , E_h – опроміненості шарів рідини, які створюють потоки випромінювання на поверхні середовища (Φ_0) та на глибині h (Φ_h), Вт/м².

Оскільки поглинання ультрафіолетового потоку в об'ємі оброблюваної рідини призводить до необхідності збільшення витрат енергії на забезпечення проходження через кожен елементарний її об'єм енергії $V_{ш}$, то аналізуючи енергетичну ефективність роботи технологічного процесу в установках опромінювання, необхідно враховувати наскільки повно використовується потік Φ_0 . Повноту використання в технології опромінення потоку Φ_0 враховує енергоємність поглинання $\eta_E^{пол}$:

$$\eta_E^{пол} = \frac{K\Phi_0 t_h}{K\Phi_0 t_h - \Phi_h t_h}. \quad (5)$$

Вираз (5) показує суперечливу тенденцію між якістю обробки середовища K і повнотою використання потоку Φ_0 у технологіях об'ємного опромінення рідких середовищ.

Робимо висновок, що методика оцінки енергетичної ефективності роботи технологічних схем об'ємного опромінення рідких середовищ повинна ґрунтуватися на визначенні двох параметрів: коефіцієнта енергетичної ефективності передачі енергії ($\eta_E^{пер}$) та коефіцієнта енергетичної ефективності поглинання енергії ($\eta_E^{пол}$).

Величину $\eta_E^{пер}$ можна представити в загальному вигляді як

$$\eta_E^{пер} = \frac{Q_{ЕТП}}{Q_{min}}, \quad (6)$$

де $Q_{ЕТП}$ – кількість енергії, що надходить до оброблюваного об'єму середовища V , Дж; Q_{min} – мінімальне необхідне значення енергії в шарі $V_{ш}$ оброблюваного об'єму V , Дж.

Величина Q_{min} дорівнює мінімальному значенню енергії, необхідної для активації, тобто

$$Q_{min} = Q_V^{num} V_{ш}. \quad (7)$$

Відповідно значення $\eta_E^{пол}$ в загальному вигляді можна записати як

$$\eta_E^{пол} = \frac{Q_{ЕТП}}{Q_{ЕТП} - Q_{вих}}, \quad (8)$$

де $Q_{вих}$ – енергія, яка втрачається об'ємом оброблюваної рідини внаслідок її поглинання поверхнею стінок, де перебуває об'єм V , Дж.

Аналіз виразів (7) та (8) показує, що на практиці для оцінки ефективності роботи технології опромінення, реалізованої в установці, величина $Q_{ЕТП}$ може бути визначена: а) теоретично, за відомим значенням потоку Φ_0 (довідкові дані джерела ультрафіолетового випромінювання, відбивача й коефіцієнт пропускання потоку кварцовим чохлам) і часу опромінення t , що залежить від продуктивності установки; б) експериментально, за допомогою УФ-радіометра.

Q_{min} , $Q_{вих}$ можуть бути визначені: а) теоретично, для цього необхідно знати спектр джерела ультрафіолетового випромінювання, характер ослаблення кожної довжини хвилі в об'ємі оброблюваного

середовища (a_λ) і енергію, що припадає на кожну довжину хвилі; б) експериментально, за допомогою УФ-радіометра із точечним фотоелементом (точечний фотоелемент необхідний для того, щоб можна було врахувати нерівномірність розподілу потоку в об'ємі оброблюваного середовища).

Проведення оцінки енергетичної ефективності конкретної технологічної схеми об'ємного опромінення сприяє її вдосконаленню.

Висновки

Методика оцінки енергетичної ефективності роботи технологічних схем об'ємного опромінення рідких середовищ повинна ґрунтуватися на визначенні двох параметрів: коефіцієнта енергетичної ефективності передачі енергії та коефіцієнта енергетичної ефективності поглинання енергії.

Список літератури

1. Бледных В. В. Агропромпрогресс: гидропонные технологии / Бледных В. В., Воловик Е. Л., Авдеев М. В. – М.: Агропресс, 2003. – 286 с.
2. Сарычев Г.С. Облучательные светотехнические установки / Г.С. Сарычев. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
3. Моура А. Avaliacao do emprego da radiação UV na desinfecção de águas / A.Моура // Engenharia sanitária e ambiental. – 2002. – An. 7, N 1. – P. 37–47.

Проведено дослідження енергетичної ефективності роботи технологічних схем об'ємного облучення рідких серед. Визначені параметри, за допомогою яких можна оцінити енергетичну ефективність конкретної технологічної схеми об'ємного облучення, які будуть сприяти її вдосконаленню.

Ультрафіолетове випромінювання, облучення рідких серед, електротехнологічний процес.

The studies of power efficiency of work a flowsheets by volume irradiation of liquid environments is conducted. Parameters are definite which it is possible to conduct the estimation of power efficiency a concrete flowsheet by volume irradiation which will be help to its perfection.

Ultraviolet, irradiation of liquid environments, electro-technological process.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ КОМПЕНСОВАНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ІЗ МЕРЕЖЕЮ ЖИВЛЕННЯ

Р.М. Чуєнко, кандидат технічних наук*

Досліджено електромагнітну сумісність асинхронного двигуна із внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності з мережею живлення.

Компенсований асинхронний двигун, електромагнітна сумісність, мережа живлення, гармоніка, реактивна потужність

Трифазний асинхронний двигун (АД), який складає основу електропривода робочих машин у сільському господарстві, характеризується високими номінальними енергетичними показниками. Проте внаслідок технологічних похибок при виготовленні АД, недовантаження та важких умов експлуатації його реальні енергетичні показники погіршуються, що призводить до зниження енергоефективності споживачів. Для покращання енергетичних характеристик АД пропонується застосовувати внутрішню ємнісну компенсацію реактивної потужності (ВЄКРП) [2].

Мета досліджень – аналіз електромагнітної сумісності компенсованого асинхронного двигуна (КАД) з ВЄКРП із мережею живлення.

Матеріали та методика досліджень. Реалізація ВЄКРП в АД може бути здійснена різними способами залежно від прийнятої схеми та кількості паралельних віток обмотки статора базової машини [3]. Перший спосіб ВЄКРП в АД полягає у тому, що при послідовному з'єднанні напівобмоток статора одна із них шунтується конденсатором електричної ємності (рис. 1, а). При цьому зашунтована напівобмотка обмінюється реактивною потужністю не з мережею живлення, а з конденсатором. Внаслідок цього незашунтована напівобмотка фази обмотки статора звільняється від передачі реактивної потужності зашунтованій напівобмотці, а струм незашунтованої напівобмотки зменшується.

Результати досліджень. Характерною рисою цього способу ВЄКРП в АД є зменшення струму та втрат потужності не лише у мережі живлення, як це відбувається при підключенні конденсаторів паралельно споживачу, але і у самому двигуні за рахунок зменшення струму статора [2].

При цьому ємнісні струми конденсаторів, з'єднаних трикутником, випереджають свої відповідні напруги на 90° (рис. 2, а) та до середніх точок фазних обмоток статора *a*, *b*, *c* підходять сумарні ємнісні струми, що випереджають фазні напруги зашунтованих напівобмоток на 90° ,

наприклад для фази А-а цей струм дорівнює $\dot{I}_a^c = \dot{I}_{ba} - \dot{I}_{ac}$, він випереджає напругу U'_{1A} зашунтованої напівобмотки на 90° , що компенсує її реактивний струм, а загальний струм іншої напівобмотки $\dot{I}_{1A} = \dot{I}'_{1A} + \dot{I}_a^c$ зменшується і зміщується за фазою відносно струму зашунтованої напівобмотки на кут α . За рахунок використання ВЕКРП струм холостого ходу КАД зменшується на 30–40 %, а у режимі номінального навантаження на валу струм, споживаний із мережі живлення, зменшується на 12–15 %, коефіцієнт потужності зростає на 12–15 % та на 2–3 % збільшується коефіцієнт корисної дії двигуна, а при недовантаженні коефіцієнт корисної дії двигуна зростає на 5–6 % (рис. 2, б). Внаслідок зниження загальної споживаної потужності та струму КАД на 25-40% зменшуються транспортні втрати активної електроенергії в усіх елементах електричної системи [3].

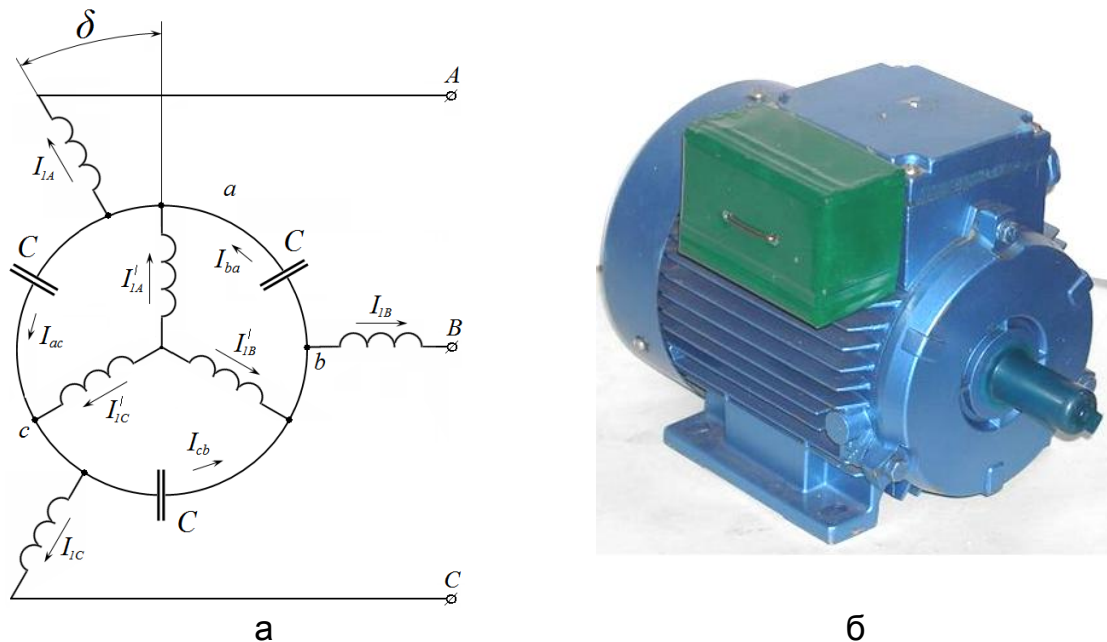


Рис. 1. Схема обмоток статора (а) та зовнішній вигляд (б) компенсованого асинхронного двигуна

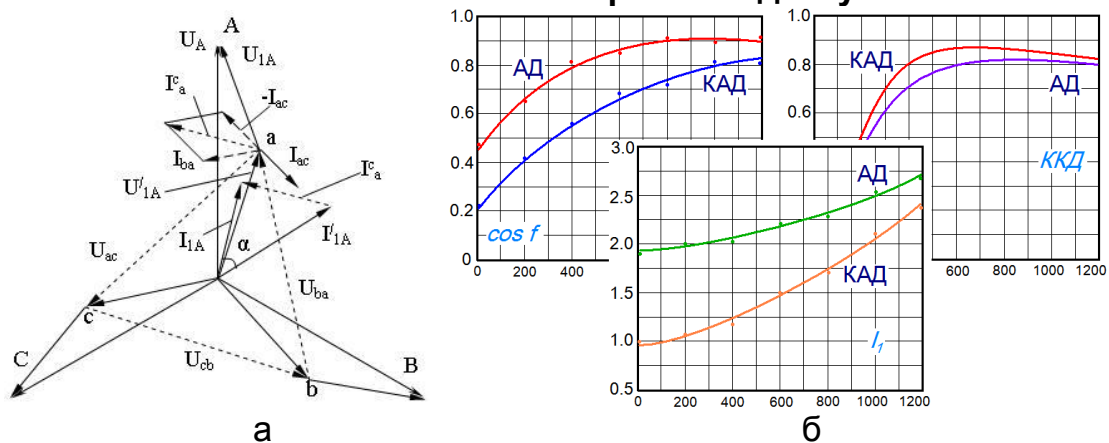


Рис. 2. Спрощена векторна діаграма (а) та робочі характеристики (б) КАД

Зміщення за фазою струмів напівобмоток $\dot{I}'_{1A}$ і $\dot{I}_{1A}$ просторово зміщує одну відносно іншої обертові хвилі їхніх магніторушійних сил (МРС), що призводить до деякого збільшення струмів намагнічування, необхідних для створення заданих МРС і магнітного потоку. Для компенсації цього явища напівобмотки повинні бути просторово зміщені одна відносно іншої на деякий кут δ .

Дійсно, якщо виразити МРС зовнішніх напівобмоток на їхніх осях як

$$F_{1A} = F_{m1} \cos \omega t, \quad F_{1B} = F_{m1} \cos(\omega t - \rho), \quad F_{1C} = F_{m1} \cos(\omega t + \rho), \quad (1)$$

а внутрішніх

$$F'_{1A} = F'_{m1} \cos(\omega t - \alpha), \quad F'_{1B} = F'_{m1} \cos(\omega t - \rho - \alpha), \quad F'_{1C} = F'_{m1} \cos(\omega t + \rho - \alpha), \quad (2)$$

то їхня сумарна дія з урахуванням просторового зсуву фаз на кут $\rho=120^\circ$ і між собою у фазах на кут δ визначає величини МРС зовнішніх напівобмоток:

$$F_1 = F_{1A} + F_{1B}e^{j\rho} + F_{1C}e^{-j\rho} = \frac{3}{2}F_{m1}e^{j\omega t}, \quad (3)$$

а внутрішніх, зашунтованих ємністю, напівобмоток:

$$F'_1 = F'_{1A}e^{j\delta} + F'_{1B}e^{j(\delta+\rho)} + F'_{1C}e^{j(\delta-\rho)} = \frac{3}{2}F'_{m1}e^{j(\omega t+\delta-\alpha)}, \quad (4)$$

де $F_{m1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{I_1 w_1}{p} k_{o1}$, $F'_{m1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{I'_1 w'_1}{p} k_{o1}$ – амплітуди МРС на осі напівобмоток фаз, відповідно зовнішніх F_{m1} і внутрішніх F'_{m1} ; I_1 і I'_1 – струми напівобмоток; w_1 і w'_1 – кількість витків напівобмоток (зазвичай $w_1 = w'_1 = \frac{w}{2}$); k_{o1} – обмотувальний коефіцієнт; p – кількість пар полюсів машини.

Вирази (3), (4) своїми поворотними множниками $e^{j\omega t}$ і $e^{j(\omega t+\delta-\alpha)}$ вказують на обертовий характер хвиль МРС напівобмоток, що просторово зміщені одна відносно одної на кут $(\delta-\alpha)$. Сумарна МРС обмоток статора буде максимальною за умови збігу осей МРС напівобмоток, тобто при $\delta-\alpha=0$, коли струми у відповідних напівобмотках фаз зміщені просторово і в часі на рівні і протилежні кути, наприклад, у фазі А струм i'_{1A} зашунтованої напівобмотки відстає в часі від струму зовнішньої напівобмотки на кут α , а просторово випереджає його на кут δ , причому $\delta-\alpha=0$. З іншого боку, для забезпечення заданих МРС і магнітного потоку магнітного кола машини за умови $\delta-\alpha=0$ вимагаються мінімальні значення струму намагнічування [2].

Для двигунів малої потужності (до 11 кВт) з номінальним коефіцієнтом потужності $\cos \varphi_H=0,8-0,87$ ($\varphi_H=29-35^\circ$, за повної компенсації $\varphi_H \approx \alpha \approx 30^\circ$) для забезпечення умови $\delta-\alpha=0$ кут просторового зсуву напівобмоток одна відносно одної зручно прийняти $\delta=30^\circ$, який досягається розподілом фазної зони 60° обмотки статора на дві рівні частини.

Зазвичай трифазна ($m=3$) система струмів АД своїми прямими і зворотними струмами котушок фази обмотки статора створює $2m=6$ фазних зон по 60° кожна. При розділенні такої фазної зони на дві рівні

частини по 30° кожна зі струмами, зміщеними у часі в напівобмотках на 30° , наприклад за рахунок ємнісної компенсації струму в одній із напівобмоток, відбувається подвоєння кількості фазних зон обмотки статора до $2m'=12$, що еквівалентно подвоєнню кількості фаз обмотки статора до $m'=2m$.

Подвоєння кількості фазних зон обмотки статора виключає з гармонійного складу магнітного поля АД найнебезпечніші паразитні гармоніки – зворотну $v_{зв}=5$ та пряму $v_{пр}=7$, просторове зміщення яких у напівхвилях МРС становить $v\delta-\alpha=\pm 180^\circ$, тобто вони знаходяться у протифазі.

Для експериментального дослідження електромагнітної сумісності КАД із мережею живлення за рівнем вищих просторових гармонік було використано цифровий осцилограф Metrix-3252 із відповідним програмним забезпеченням та модуль гальванічної розв'язки SDI-AIU-4U (рис. 3).

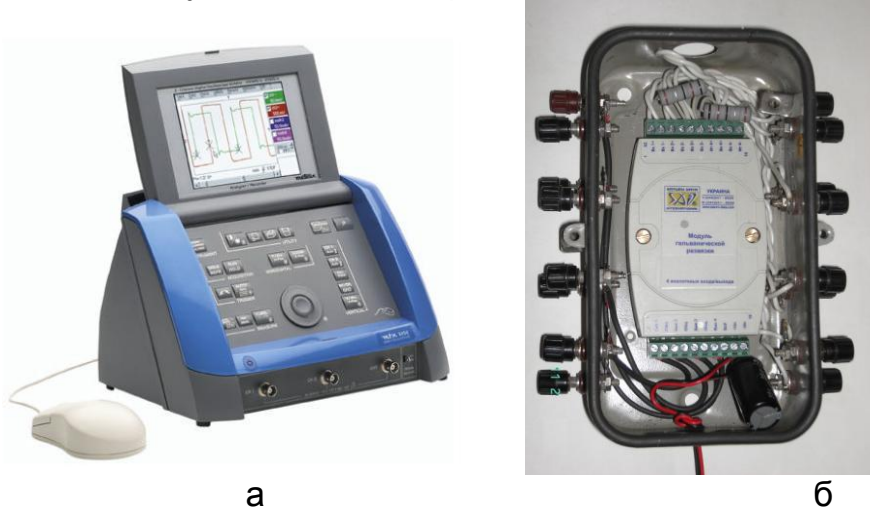


Рис. 3. Цифровий осцилограф (а) та модуль гальванічної розв'язки (б)

При цьому знімалися осцилограми напруги на фазній обмотці статора та струму, що споживається КАД з мережі живлення для двох випадків: за холостого ходу та номінального навантаження. На рис. 4 наведено осцилограми базового АД, а на рис. 5 – КАД.

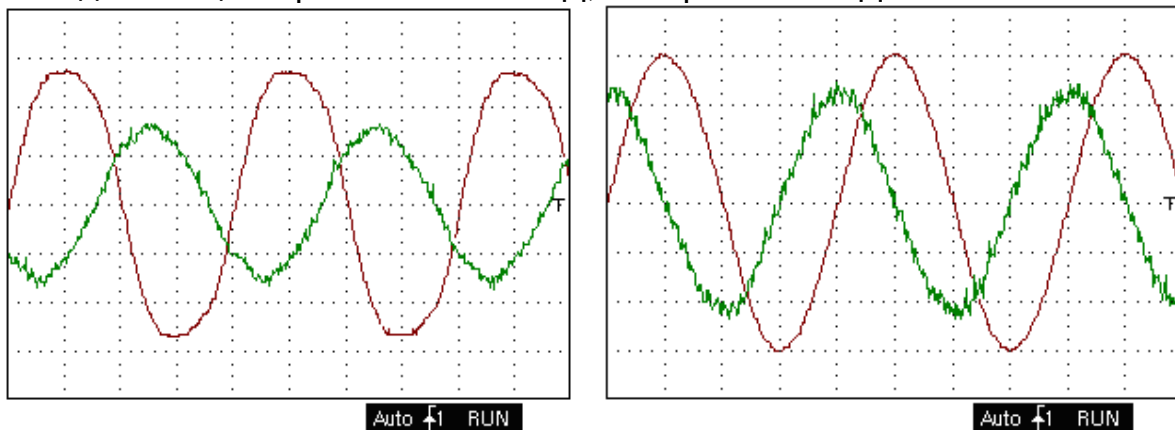


Рис. 4. Осцилограми напруги та струму базового АД на холостому ходу (а) та за номінального навантаження на валу (б)

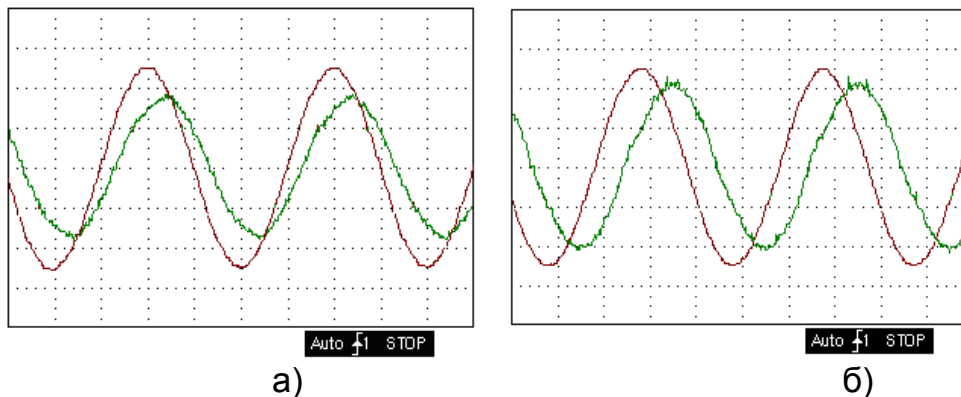


Рис. 5. Осцилограми напруги та струму КАД на холостому ході (а) та за номінального навантаження на валу (б)

Також на рис. 6 наведено гармонійний склад струму, споживаного двигуном із мережі живлення, який був отриманий за допомогою функції *fft* (Fast Fourier Transformation) для базового АД та КАД. Очевидно, що за рахунок використання внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності за умови $\delta - \alpha = 0$ спостерігається зменшення рівня 5-ї та 7-ї гармонік.

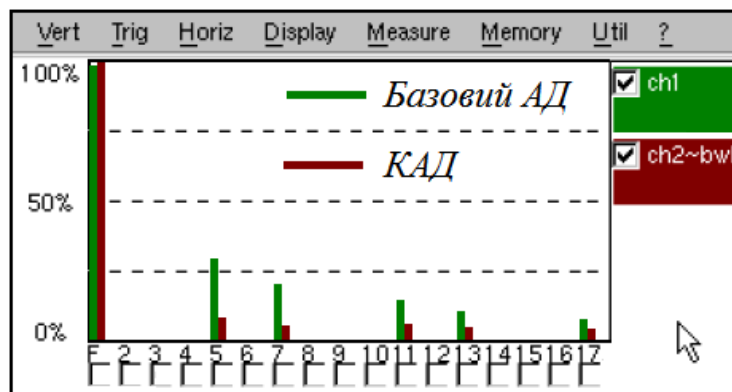


Рис. 6. Спектральний склад струму споживаного КАД із мережі живлення

Цей спосіб ВСКРП є простим, дешевим і надійним. Питома ємність конденсаторів становить 8 мкФ на фазу на 1 кВт номінальної потужності двигуна.

Висновки

Використання внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності покращує електромагнітну сумісність КАД порівняно із базовим АД за величиною реактивної потужності та рівнем вищих гармонік.

Фундаментальною умовою оптимальної компенсації, яку необхідно дотримуватися при створенні КАД, є умова $\delta - \alpha = 0$, де δ – кут просторового зсуву осей напівобмотки статора, α – кут фазового зсуву між струмами напівобмоток.

Список літератури

1. Мишин В.И. Эффект внутренней ёмкостной компенсации реактивной мощности в асинхронном электродвигателе / В.И. Мишин, Р.Н. Чуенко, В.В. Гаврилюк // Электротехника. – М., 2009. – №8. – С. 30–36.

2. Пат. №51814 України H02K 17/34, Асинхронний електродвигун / Мішин В.І., Чуєнко М.О., Чуєнко Р.М., Лісовий С.С.; заявл. 05.04.2000; опубл. 16.12.2002, Бюл. №12.

3. Чуєнко Р.М. Енергозбереження у підготовці кормів до згодовування при використанні асинхронних електродвигунів з внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.16 / Р.М. Чуєнко. – К. НАУ, 2002. – 20 с.

Исследована электромагнитная совместимость компенсированного асинхронного двигателя с питающей сетью.

Компенсированный асинхронный двигатель, электромагнитная совместимость, питающая сеть, гармоника, реактивная мощность.

There was researched the compensated induction motor electromagnetic compatibility with a power line.

The compensated induction motor, electromagnetic compatibility, power line, harmonic, reactive power.

УДК 621.311

ВРАХУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ В ЕЛЕМЕНТАХ МАТРИЦІ ПРОВІДНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

***А.М. Скрипник, А.В. Петренко, кандидати технічних наук
Д.П. Кожан, інженер***

Запропоновано математичне вирішення включення коефіцієнтів трансформації трансформаторів і автотрансформаторів в елементі матриці провідностей в процесі її формування при моделюванні режимів електричних мереж енергосистем та їх оптимізації.

Поздовжні провідності, матриця провідностей, власні та взаємні елементи матриці, дійсні та комплексні коефіцієнти трансформації.

При моделюванні режимів електричних мереж та їх оптимізації можуть використовуватися як метод контурних струмів, так і метод вузлових напруг. Нині найчастіше застосовують різні модифікації методу вузлових напруг, в яких кожен вузол електричної мережі описується комплексним рівнянням у вигляді:

2. Пат. №51814 України H02K 17/34, Асинхронний електродвигун / Мішин В.І., Чуєнко М.О., Чуєнко Р.М., Лісовий С.С.; заявл. 05.04.2000; опубл. 16.12.2002, Бюл. №12.

3. Чуєнко Р.М. Енергозбереження у підготовці кормів до згодовування при використанні асинхронних електродвигунів з внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.16 / Р.М. Чуєнко. – К. НАУ, 2002. – 20 с.

Исследована электромагнитная совместимость компенсированного асинхронного двигателя с питающей сетью.

Компенсированный асинхронный двигатель, электромагнитная совместимость, питающая сеть, гармоника, реактивная мощность.

There was researched the compensated induction motor electromagnetic compatibility with a power line.

The compensated induction motor, electromagnetic compatibility, power line, harmonic, reactive power.

УДК 621.311

ВРАХУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ В ЕЛЕМЕНТАХ МАТРИЦІ ПРОВІДНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

***А.М. Скрипник, А.В. Петренко, кандидати технічних наук
Д.П. Кожан, інженер***

Запропоновано математичне вирішення включення коефіцієнтів трансформації трансформаторів і автотрансформаторів в елементі матриці провідностей в процесі її формування при моделюванні режимів електричних мереж енергосистем та їх оптимізації.

Поздовжні провідності, матриця провідностей, власні та взаємні елементи матриці, дійсні та комплексні коефіцієнти трансформації.

При моделюванні режимів електричних мереж та їх оптимізації можуть використовуватися як метод контурних струмів, так і метод вузлових напруг. Нині найчастіше застосовують різні модифікації методу вузлових напруг, в яких кожен вузол електричної мережі описується комплексним рівнянням у вигляді:

$$\dot{U}_i = \frac{\frac{P_i - jQ_i}{\dot{U}_i} + \sum_j \dot{U}_j \dot{Y}_{ij}}{\dot{Y}_{ii}} \quad (1)$$

де $\dot{U}_i$ і $\dot{U}_i^*$ – прямий та спряжений комплекси вузлової напруги; $P_i - jQ_i$ – спряжений комплекс вузлової потужності; $\dot{U}_j$ – комплекси напруги суміжних вузлів; $\dot{Y}_{ii}$ і $\dot{Y}_{ij}$ – відповідно власні (вузлові) та взаємні елементи матриці провідностей.

Якщо записати, що $Y_{ii} = g_{ii} + jb_{ii}$ і $Y_{ij} = g_{ij} + jb_{ij}$, а згідно з формулою Ейлера

$$\dot{U}_i = \dot{U}_i [\cos(\theta_i) + j \sin(\theta_i)], \quad \dot{U}_i^* = U_i [\cos(\theta_i) - j \sin(\theta_i)], \\ \dot{U}_j = \dot{U}_j [\cos(\theta_j) + j \sin(\theta_j)]$$

виконати ряд перетворень, отримаємо класичну для найширше використовуюваного методу Ньютона систему двох рівнянь у вигляді небалансів активної і реактивної вузлових потужностей без комплексних елементів:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon P_i &= P_i + \dot{U}_i g_{ii} - \sum_j U_i \dot{U}_j [g_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + b_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)] \\ \varepsilon Q_i &= Q_i - U_i b_{ii} - \sum_j U_i \dot{U}_j [g_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - b_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При цьому ітераційний процес Ньютона має вигляд:

$$\begin{bmatrix} \theta \\ u \end{bmatrix}^{(k+1)} = \begin{bmatrix} \theta \\ u \end{bmatrix}^{(k)} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon P}{\partial \theta} & \frac{\partial \varepsilon P}{\partial u} \\ \frac{\partial \varepsilon Q}{\partial \theta} & \frac{\partial \varepsilon Q}{\partial u} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon P \\ \varepsilon Q \end{bmatrix}^{(k)} \quad (3)$$

де k – номер ітерації; $\frac{\partial \varepsilon P}{\partial \theta}$, $\frac{\partial \varepsilon P}{\partial u}$, $\frac{\partial \varepsilon Q}{\partial \theta}$, $\frac{\partial \varepsilon Q}{\partial u}$ – елементи матриці частинних похідних (матриці Якобі) від вузлових небалансів по невідомим кутах напруги θ та модулях напруги u .

Математичні вирази (1), (2) і (3) відображають модель розрахунку режиму електричної мережі за відсутності трансформаторних ділянок.

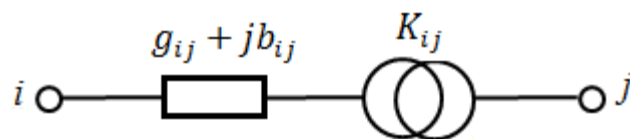
За наявності в схемі електричної мережі трансформаторних ділянок з дійсними коефіцієнтами трансформації K , а особливо з комплексними коефіцієнтами трансформації $K' + jK''$ (автотрансформатори з вольтододатковими трансформаторами в нейтралі) розглянуті вище математичні вирази будуть мати значно складнішу структуру.

Мета досліджень – пропозиція щодо спрощення математичних виразів з врахуванням елементів трансформації при моделюванні режимів електричних мереж та їх оптимізації до виразів (1), (2) і (3) включенням коефіцієнтів трансформації в елементи матриці провідностей при її формуванні, що включає необхідність перерахунків щодо

приведення на кожному кроці ітераційного процесу як провідностей, так і коефіцієнтів трансформації при переході від одного вузла трансформаторної ділянки до іншого.

Матеріали та методика досліджень. Методика щодо включення коефіцієнтів трансформації в елементи матриці провідностей для спрощення математичних виразів (які включають елементи трансформації) до вигляду (1), (2) і (3) полягає в перетворенні трансформаторних ділянок електричної мережі в безтрансформаторні.

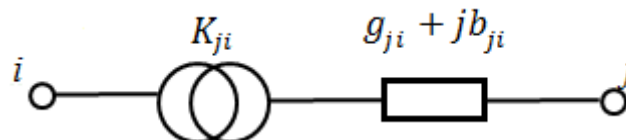
Результати досліджень. Для моделі трансформаторної ділянки i - j з дійсним коефіцієнтом трансформації, параметри якої приведені до вузла i ,



провідність із урахуванням коефіцієнта трансформації визначається як

$$G_{ij} = K_{ij}g_{ij}; \quad B_{ij} = K_{ij}b_{ij}.$$

При переході до вузла j модель ділянки j - i має вигляд:



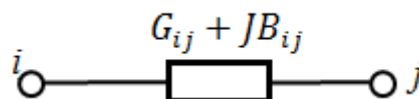
а приведення параметрів до вузла j виконується згідно з формулами:

$$K_{ji} = \frac{1}{K_{ij}}; \quad g_{ji} = K_{ij}^2 g_{ij}; \quad b_{ji} = K_{ij}^2 b_{ij}.$$

З врахуванням коефіцієнта трансформації провідності, приведені до вузла j , розраховуються як

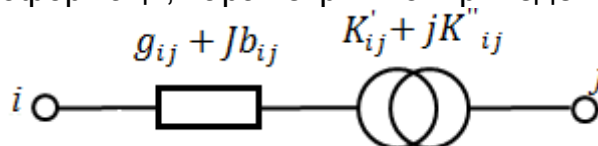
$$G_{ji} = K_{ji}g_{ji} = K_{ij}g_{ij}; \\ B_{ji} = K_{ji}b_{ji} = K_{ij}b_{ij}.$$

При цьому модель трансформаторної ділянки з включенням дійсного коефіцієнта трансформації в її провідність зводиться до простого вигляду,



а матриця провідностей має симетричну структуру відносно її діагональних елементів.

Для моделі трансформаторної ділянки i - j з комплексним коефіцієнтом трансформації, параметри якої приведені до вузла i ,



провідність з урахуванням комплексного коефіцієнта трансформації визначається згідно з формулою:

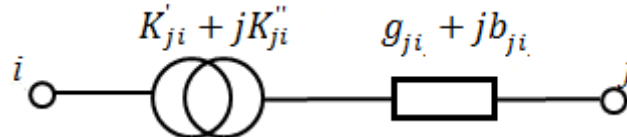
$$K_{ij} = \sqrt{(K'_{ij})^2 + (K''_{ij})^2};$$

$$\theta_{ij} = \arctg(K''_{ij}/K'_{ij});$$

$$G_{ij} = K_{ij}[g_{ij} \cos(\theta_{ij}) - b_{ij} \sin(\theta_{ij})];$$

$$B_{ij} = K_{ij}[g_{ij} \sin(\theta_{ij}) + b_{ij} \cos(\theta_{ij})].$$

При переході до вузла j для моделі ділянки $j-i$



приведення параметрів до вузла j виконується за формулами:

$$K_{ij}^2 = (K'_{ij})^2 + (K''_{ij})^2;$$

$$K'_{ji} = K'_{ij}/K_{ij}^2, K''_{ji} = K''_{ij}/K_{ij}^2;$$

$$K_{ji} = \sqrt{(K'_{ji})^2 + (K''_{ji})^2};$$

$$\theta_{ji} = \arctg(K''_{ji}/K'_{ji});$$

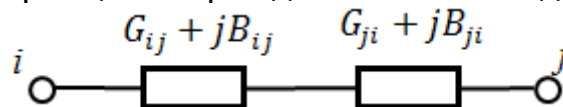
$$g_{ji} = g_{ij}K_{ij}^2, b_{ji} = b_{ij}K_{ij}^2.$$

З урахуванням комплексного коефіцієнта трансформації провідності, приведені до вузла j , розраховуються відповідно до виразів:

$$G_{ji} = K_{ji}[g_{ji} \cos(\theta_{ji}) - b_{ji} \sin(\theta_{ji})];$$

$$B_{ji} = K_{ji}[g_{ji} \sin(\theta_{ji}) + b_{ji} \cos(\theta_{ji})].$$

Модель трансформаторної ділянки з включенням комплексного коефіцієнта трансформації в її провідності має вигляд:



Тут $G_{ij} \neq jG_{ji}$ і $B_{ij} \neq jB_{ji}$, а матриця провідностей є структурно симетричною відносно діагональних елементів.

Висновки

Для спрощення математичних виразів при моделюванні режимів електричних мереж та їх оптимізації запропоновано включення коефіцієнтів трансформації трансформаторних ділянок в елементи матриці провідностей. Методика впроваджена та доведена її ефективність при розробці на кафедрі електропостачання ім. проф. В. М. Синькова НУБіП України комплексу програмного забезпечення моделювання усталених та оптимальних режимів електричних мереж енергосистем наближеного до реальних умов їх експлуатації.

Список літератури

1. Скрипник А.М. Моделювання усталених та оптимальних режимів електричних мереж енергосистем в умовах їх експлуатації / А.М. Скрипник // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К.; 2010. – Вип. 153. – С.145–152.
2. Щербина Ю.В. Моделирование установившихся режимов электрических систем с использованием алгоритма Краута / Ю.В. Щербина, А.Н. Скрипник, О.М. Гадер // Энергетика. – 1988. – №1. – С.10–13.
3. Идельчик В.И. Расчеты установившихся режимов электрических систем / Идельчик В.И.; под ред. В.А. Веникова. – М.: Энергия. 1977. – 192 с.

Предложено математическое решение включения коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов в элементы матрицы проводимостей в процессе ее формирования при моделировании режимов электрических сетей энергосистем и их оптимизации.

Продольные проводимости, матрица проводимостей, собственные и взаимные элементы матрицы, действительные и комплексные коэффициенты трансформации.

The mathematical solution of inclusion of coefficients of transformation of transformers and autotransformers in elements of a matrix of conductivity in the course of its formation when modeling modes of electric networks of power supply systems that their optimization is proposed.

Longitudinal conductivity, matrix of conductivity, own and mutual elements of a matrix, valid and complex coefficient of transformation.

УДК 620.92

ЕКОЛОГІЧНІ БАР'ЄРИ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ ВИРОБЛЕННЯ ТЕПЛОТИ

О.В. Шеліманова, В.А. Колієнко, кандидати технічних наук

Проаналізовано екологічний аспект використання біомаси для вироблення теплоти. Наведено вимоги, яких необхідно дотримуватися при впровадженні котлів на біомасі.

Біомаса, забруднюючі інгредієнти викидів в атмосферу, продукти згорання, енергоефективність.

Економічна доцільність переведення роботи існуючих котелень на біомасу (часткова або повна) залежить від співвідношення тарифів на

Список літератури

1. Скрипник А.М. Моделювання усталених та оптимальних режимів електричних мереж енергосистем в умовах їх експлуатації / А.М. Скрипник // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К.; 2010. – Вип. 153. – С.145–152.
2. Щербина Ю.В. Моделирование установившихся режимов электрических систем с использованием алгоритма Краута / Ю.В. Щербина, А.Н. Скрипник, О.М. Гадер // Энергетика. – 1988. – №1. – С.10–13.
3. Идельчик В.И. Расчеты установившихся режимов электрических систем / Идельчик В.И.; под ред. В.А. Веникова. – М.: Энергия. 1977. – 192 с.

Предложено математическое решение включения коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов в элементы матрицы проводимостей в процессе ее формирования при моделировании режимов электрических сетей энергосистем и их оптимизации.

Продольные проводимости, матрица проводимостей, собственные и взаимные элементы матрицы, действительные и комплексные коэффициенты трансформации.

The mathematical solution of inclusion of coefficients of transformation of transformers and autotransformers in elements of a matrix of conductivity in the course of its formation when modeling modes of electric networks of power supply systems that their optimization is proposed.

Longitudinal conductivity, matrix of conductivity, own and mutual elements of a matrix, valid and complex coefficient of transformation.

УДК 620.92

ЕКОЛОГІЧНІ БАР'ЄРИ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ ВИРОБЛЕННЯ ТЕПЛОТИ

О.В. Шеліманова, В.А. Колієнко, кандидати технічних наук

Проаналізовано екологічний аспект використання біомаси для вироблення теплоти. Наведено вимоги, яких необхідно дотримуватися при впровадженні котлів на біомасі.

Біомаса, забруднюючі інгредієнти викидів в атмосферу, продукти згорання, енергоефективність.

Економічна доцільність переведення роботи існуючих котелень на біомасу (часткова або повна) залежить від співвідношення тарифів на

природний газ і біомасу. Дотаційний характер тарифів за природний газ для опалення житлових будинків в централізованих системах теплопостачання робить перехід на спалювання біомаси економічно недоцільним навіть за умови частки житлових будинків у споживанні теплоти від однієї котельні до

55 – 60 % (на жаль, для більшості міст усереднена частка теплоти на опалення житлових будинків становить близько 80 %).

Економічна доцільність у таких випадках з'являється лише за умови використання когенераційних установок, в яких можливе вироблення не лише теплової, а й електричної енергії з її реалізацією за «зеленим тарифом» (такий тариф для реалізації теплової енергії не використовується) [2] Збільшення частки громадських будівель у структурі споживання теплоти більше за 40 % дозволяє говорити про економічну доцільність впровадження біокотлів.

Енергетичні характеристики соломи як палива було оцінено у попередній статті авторів [5].

Мета досліджень – екологічна оцінка використання біопалива при виробленні теплоти в помірно централізованих (тепловою потужністю від 3,5 до 23 МВт), децентралізованих (від 1,2 до 3,5 МВт) і автономних (від 0,12 до 1,2 МВт) системах теплопостачання.

Матеріали та методика досліджень. Нині постає питання, які мотиваційні установки будуть прийняті як рушії процесу впровадження джерел чистої енергії – **економічні**, спричинені прагматичною доцільністю; **екологічні**, які визначають принципи сталого розвитку суспільства та основи виживання людини, або **енергетична незалежність** країни, як елемент її національної незалежності.

При використанні біомаси як палива для котлів систем теплопостачання однією із основних проблем стає забезпечення необхідних розмірів санітарно-захисних зон (СЗЗ), які визначаються як відстань від джерел викидів (димових труб) до межі житлової забудови, ділянок громадських установ, будинків і споруд, місць відпочинку і т.і. [3] Розмір СЗЗ встановлюється так, щоб на зовнішній її межі концентрації та рівні шкідливих факторів не перевищували їх гігієнічні нормативи (для атмосферного повітря – гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин). До таких забруднюючих речовин належать характерні інгредієнти, які утворюються при спалюванні біомаси, у тому числі: оксиди азоту NO_x , монооксид карбону CO , дисперсні частинки (пил, зола) та сірчистий ангідрид SO_2 .

Процеси спалювання біомаси супроводжуються також викидом у атмосферу такого парникового газу, як діоксид карбону CO_2 .

Згідно з п.5.1 [2] розмір санітарної зони повинен становити не менше 50 м, що призводить до суттєвих обмежень при розміщенні таких котелень на території щільної сільбищної забудови.

Величину викидів в атмосферу забруднюючих речовин можна визначити згідно з існуючими розрахунковими методиками, даними заводів-виготовлювачів паливоспалювального обладнання, а також на основі реальних вимірювань на діючому устаткуванні.

Для визначення викидів в атмосферу парникових газів використовують коефіцієнти викидів (КВ) парникових газів, які приймають згідно з даними Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК, 2006 рік.) або з Європейською довідковою базою даних життєвого циклу (ЄБЖЦ -СДЦ, 2009). Можливим є також використання коефіцієнтів викидів парникових газів, що наведені в Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів за 1990 – 2010 р.р. [4] .

Результати досліджень. Результати розрахунків викидів за методиками МГЕЗК та ЄБЖЦ, СДЦ наведено в табл.. 1.

1. Коефіцієнти викидів парникових газів (КВ), т CO₂/МВт·год

Вид палива (енергії)	За методикою МГЕЗК, 2006	За методикою ЄБЖЦ, СДЦ,
Автомобільний бензин	0,249	0,299
Антрацит	0,354	0,393
Природний газ	0,202	0,237
Деревина	0 – 0,403	0 – 0,405
Сонячна енергія	0	–
Геотермальна енергія	0	–

Із табл.. 1 видно, що величини КВ, які характеризують викиди в атмосферу в т на 1 МВт·год виробленої теплоти за різними методиками відрізняються. Тому, при здійсненні розрахунків скорочення викидів парникових газів за результатами впровадження енергоефективних заходів, або заміни традиційних викопних видів палива на чисті види енергії необхідно користуватись однією із наведених вище методик як до, так і після впровадження заходів.

Цікавим є також те, що згідно з наведеними даними при розрахунку викидів парникових газів від деревини, як і від інших видів біомаси, нульове значення коефіцієнтів викидів (що засвідчує екологічну нейтральність таких видів палива) має місце лише у випадку, якщо біопаливо отримане згідно з критеріями сталого розвитку. В інших випадках викиди парникових газів обчислюються для біомаси як для звичайного виду викопного палива, і згідно з даними табл.1 вони будуть перевищувати викиди CO₂ для таких видів палив як антрацит, бензин і природний газ (у 2 рази). Таким чином, перехід на біомасу далеко не завжди означає можливість скорочення викидів парникових газів у атмосферу.

У стадії погодження для України є такі схеми сертифікації сталості біомаси: ISCC, RSB, NTA 8080, BioGrace, REDcert. Згідно з критеріями сталості біомаса повинна бути отримана із енергетичних рослинних культур. Якщо це деревина, то її використання повинно компенсуватись насадженнями. Існує заборона вирощування сировини на території, що є цінною з точки зору збереження біорізноманіття: праліс, заповідні території, луки з високим рівнем біорізноманіття; а також на територіях, що є значними накопичувачами вуглецю: заболочені ділянки, неперервні лісові масиви (більше 1 га), торфовища і ціла низка інших обмежень.

Детальніший аналіз підтверджує логічність таких обмежень і піддає сумнівам оптимізм деяких фізичних і юридичних осіб, які декларують абсолютну екологічну безпеку переходу роботи котелень із природного газу на біомасу.

Виконані дослідження свідчать про те, що біомаса, як правило, містить у своєму складі сірку, що призводить до наявності у складі продуктів згорання сірчистого ангідриду SO_2 . Крім того, допустимі за нормативами і дійсні концентрації двох інших характерних токсичних інгредієнтів у складі продуктів згорання – оксидів азоту NO_x і монооксиду карбону CO , суттєво перевищують відповідні показники для такого палива, як, наприклад, природний газ.

Концентрації забруднюючих речовин у продуктах згорання котла потужністю 1 Гкал/ год на біомасі згідно з даними комерційних пропозицій заводів-виготовлювачів котлів за умови концентрації кисню у продуктах згорання 13 % при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 2,6$ після газоочисної становлять ;

- оксиди азоту NO_x – 400 мг/м³,
- монооксид карбону, CO – 250 мг/м³,
- тверді частинки – 20 мг/м³,

Концентрації наведені за умови використання на котельні двоступеневої технології очищення газів: золоуловлювач на першій ступені для очищення від твердих частинок золи до концентрації не більше 125 мг/м³ і тканевий фільтр на другій ступені з очищенням до концентрації твердих частинок золи не більше 20 мг/м³

Необхідно зауважити, що при виконанні розрахунків розсіювання у вітчизняній практиці використовують концентрації шкідливих інгредієнтів, які повинні бути приведені до концентрації кисню у продуктах згорання 0 %. При цьому коефіцієнт надлишку повітря повинен становити $\alpha = 1$. Таким чином, перераховані концентрації шкідливих інгредієнтів на виході із фільтрів будуть становити:

- NO_x – 1050 мг/м³;
- CO – 650 мг/м³ ;
- тверді частинки - 50 мг/м³ ;
- SO_2 за умови сірчистості соломи 0,1 % мас – 909 мг/м³.

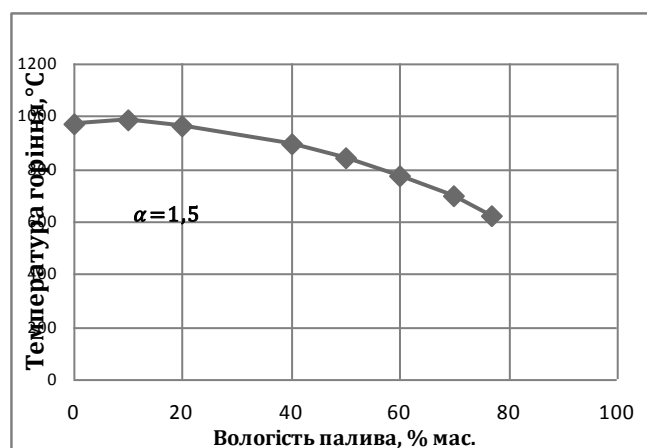
Отримані вище характеристики токсичності продуктів згорання добре корелюють із європейськими нормативами.

Проблемним є і наявність хлору у складі біомаси. Наприклад, до соломи хлор потрапляє із ґрунту. Аналіз ґрунту різних районів Полтавської області підтверджує наявність у ньому зв'язаного хлору у кількості від 0,1 до 0,2 % мас. Причиною наявності хлору є, очевидно, практика внесення мінеральних калійних добрив, основу яких становить хлорид калію.

При проходженні високотемпературної зони топки за присутності проміжних продуктів горіння і газифікації хлормістких у продуктах згорання можуть утворюватися високотоксичні інгредієнти, такі як діоксини, а також токсичні фосгени COCl_2 , хлорводневі сполуки [1]

Підтвердженням цього є значна хімічна активність хлору та його спроможність приєднуватися до ненасичених з'єднань, таких як CO.

Для попередження утворення високотоксичних хлормістких з'єднань температура в топковому просторі паливоспалювального обладнання не повинна бути меншою за 1200 °C [1]. Але розрахунки дійсної температури горіння соломи показують, що навіть за умови спалювання абсолютно сухої соломи дійсна температура згорання у котлі не перевищує 970 °C, суттєво зменшуючись у ході збільшення вологості палива (рисунок).



Зміна дійсної температури горіння у котлі при спалюванні соломи різної вологості

Суміш хлору з воднем, які присутні в соломі, може горіти з утворенням у продуктах згорання хлористого водню (парів соляної кислоти), що у свою чергу призводить до інтенсивної корозії поверхонь нагрівання котлів, особливо в умовах конденсації продуктів згорання.

Екологічні характеристики продуктів згорання біомаси вологістю 10 % наведено у табл. 2 у порівнянні з відповідними характеристиками продуктів згорання природного газу для котла потужністю 1 Гкал/год.

Аналіз даних табл.2 показує, що валові викиди в атмосферу токсичних інгредієнтів продуктів згорання соломи у десятки разів більші за викиди у продуктах згорання природного газу, навіть за умови очищення газових викидів від котлів на біомасі. Це вимагає ретельного розгляду питань про вплив на довкілля викидів котлів на біомасі і вибору місць розташування таких котлів у щільній зоні забудови населених пунктів. Як правило, такі питання повинні урегульовуватися за рахунок дотримання санітарно-захисних зон котельень, виконання містобудівних умов і обмежень, впровадження високоефективних газоочисних установок.

Одним із способів вирішення проблеми збільшення забруднення атмосфери при використанні відновлюваних джерел енергії і підвищення ефективності їх використання є обов'язкове впровадження заходів з енергоефективності і скорочення витрат енергії.

Наприклад, виконаємо розрахунки щодо можливості використання сонячної енергії для забезпечення житлового будинку теплотою для приготування гарячої води.

2 Екологічні характеристики викидів в атмосферу від котла потужністю 1 Гкал/год при роботі на природному газі і соломі

№ з/п	Характеристика викидів продуктів згорання	Одиниця виміру	Види палива	
			Природний газ	Солома
1	Витрати палива	м ³ /год	133	387
2	Питомий об'єм продуктів згорання	м ³ /кг	11,5	6,0
3	Концентрація токсичних і шкідливих інгредієнтів у продуктах згорання за концентрації кисню у продуктах згорання 0 % об.:	мг/м ³		
	- оксидів азоту	мг/м ³	250	1050
	- монооксиду вуглецю	мг/м ³	125	650
	- твердих частинок	мг/м ³	—	50
	- діоксиду сірки	кг/кг	—	0,0012
	- хлористих з'єднань	кг/кг	—	0,0039
	- діоксиду карбону	соломи кг/ м ³ газу	1,3	1,88
5	Число годин роботи на номінальній потужності	год	4488	
6	Валовий викид токсичних і шкідливих інгредієнтів:	т/рік		
	- оксидів азоту		1,72	10,9
	- монооксиду вуглецю		0,86	6,77
	- діоксиду сірки		—	2,08
	- хлористих з'єднань		—	6,77
	- твердих частинок		—	0,52
	- діоксиду карбону		1170	1180

Середня кількість теплоти, яку можна отримати на широті м. Києва з одного сонячного колектора площею до 2,4 м², становить за умови помірної хмарності близько 8 – 9 МДж / м² за період з 8:00 до 16:00 (8 год.). Питома теплопродуктивність такого колектора становить 280 – 350 Вт / м². Загальна кількість теплоти, яку можна отримати за 8 год. з одного колектора площею 2,4 м², становить 5,4 – 6,7 кВт год. або 4,6 – 5,7 Мкал (19,3 – 23,9 МДж). Один колектор площею 2,4 м² протягом доби дає можливість отримати теплову енергію, яка еквівалентна теплоті згорання близько 0,5...0,7 м³ природного газу.

Для добового приготування гарячої води в 80-квартирному житловому будинку витрати енергії будуть становити близько 400 кВт год (за умови споживання однією людиною до 50 л гарячої води за добу). Необхідна площа сонячних колекторів повинна становити близько 190 м². Розміщення такої кількості колекторів на даху житлового будинку неможливе.

Але при скороченні витрат гарячої води удвічі площа колекторів зменшується до 90 м² і використання сонячної енергії стає технічно можливим.

Так само, скорочення витрат енергії може спричинити зменшення витрат біомаси як палива у котлах і забезпечити зменшення усіх екологічних характеристик процесу горіння.

Висновки

Відповідно до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», до проектної документації на будівництво біокотелень обов'язково додаються результати оцінки впливу на стан навколишнього природного середовища. При цьому відстань від котелень до житлових будинків, ділянок дитячих дошкільних закладів, шкіл, закладів охорони здоров'я, відпочинку та фізкультурних споруд слід встановлювати за результатами результатів розсіювання шкідливих інгредієнтів продуктів згорання в атмосфері за погодженням з органами державного санітарного нагляду.

З урахуванням збільшення токсичності продуктів згорання при переході з природного газу на біомасу, її використання як палива повинно супроводжуватися ретельним техніко-економічним обґрунтуванням, в якому необхідно враховувати всі чинники впливу – технічні, економічні та екологічні.

Підвищення енергоефективності і скорочення споживання енергії є обов'язковою умовою впровадження джерел чистої енергії. Це перший і обов'язковий етап диверсифікації викопних вуглецевих видів палива, який уможливорює технічно сам процес переходу на чисті і безпечні види енергії, і у ряді випадків – робить цей перехід економічно доцільним і ефективним, а відтак – і життєвездатним.

Список літератури

1. Бернадінер М.Н. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов./ М.Н Бернадінер, А.П Шурыгин. – М.: Химия, 1990. – 301 с.
2. Виробництво теплової енергії із біомаси. Аналіз законодавства, регуляторних аспектів і податкової політики та рекомендації щодо необхідних змін у чинному законодавстві: Звіт, підготовлений Всеукраїнською благодійною організацією «Інститут місцевого розвитку» у рамках виконання Проекту «Місцеві альтернативні джерела енергії: м. Миргород». – К., 2014. – 100 с.
3. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Затв. наказом Мін-ва охорони здоров'я України від 19.06.1996? № 173. – К., 1996. – 87 с.
4. Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів за 1990–2011 рр. [Електронний ресурс] / Державне агентство екологічних інвестицій України. – Режим доступу: <http://www.seia.gov.ua/>.
5. Шеліманова О.В. Визначення горючих характеристик соломи та аналіз процесів її горіння і газифікації / О.В. Шеліманова, В.А. Колієнко // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – №. 194, ч. 2. – С.219 – 227.

Проанализирован экологический аспект использования биомассы для выработки теплоты. Приведены требования, которые необходимо соблюдать при внедрении котлов на биомассе.

Биомасса, загрязняющие ингредиенты выбросов в атмосферу, продукты сгорания, энергоэффективность.

The environmental aspect of using biomass to generate heat is analyzed. The requirements to be followed in the implementation of biomass boilers are given.

Biomass, polluting ingredients emissions, waste products, energy efficiency.

УДК 621.316.1

ПІДХІД ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**О.В. Гай, кандидат технічних наук
С.В. Стахнюк, студент**

Розкрито підхід із визначення показників надійності системи електропостачання з використанням методу імітаційного моделювання та сформовано математичну модель пошуку можливого діапазону кількості циклів генерування випадкової величини для подальшого отримання адекватних значень показників надійності імітаційним методом.

Система електропостачання, показники надійності, імітаційне моделювання.

Внаслідок ускладнення структури електричної мережі та розвитку фінансових взаємовідносин між споживачем та постачальником електричної енергії актуальним є питання з визначення показників надійності системи електропостачання методом імітаційного моделювання.

Мета досліджень – формування підходу з визначення показників надійності системи електропостачання з використанням методу імітаційного моделювання і вивчення зміни кількості циклів генерування випадкової величини для адекватних результатів.

Матеріали та методика досліджень. Для дослідження використано метод імітаційного моделювання – Монте-Карло [5]. Це численний метод для вирішення математичних задач за допомогою моделювання випадкових величин. Завданням цієї роботи є визначення кількості випробувань для отримання адекватного значення показників надійності.

© О.В. Гай, С.В. Стахнюк, 2014

Биомасса, загрязняющие ингредиенты выбросов в атмосферу, продукты сгорания, энергоэффективность.

The environmental aspect of using biomass to generate heat is analyzed. The requirements to be followed in the implementation of biomass boilers are given.

Biomass, polluting ingredients emissions, waste products, energy efficiency.

УДК 621.316.1

ПІДХІД ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**О.В. Гай, кандидат технічних наук
С.В. Стахнюк, студент**

Розкрито підхід із визначення показників надійності системи електропостачання з використанням методу імітаційного моделювання та сформовано математичну модель пошуку можливого діапазону кількості циклів генерування випадкової величини для подальшого отримання адекватних значень показників надійності імітаційним методом.

Система електропостачання, показники надійності, імітаційне моделювання.

Внаслідок ускладнення структури електричної мережі та розвитку фінансових взаємовідносин між споживачем та постачальником електричної енергії актуальним є питання з визначення показників надійності системи електропостачання методом імітаційного моделювання.

Мета досліджень – формування підходу з визначення показників надійності системи електропостачання з використанням методу імітаційного моделювання і вивчення зміни кількості циклів генерування випадкової величини для адекватних результатів.

Матеріали та методика досліджень. Для дослідження використано метод імітаційного моделювання – Монте-Карло [5]. Це численний метод для вирішення математичних задач за допомогою моделювання випадкових величин. Завданням цієї роботи є визначення кількості випробувань для отримання адекватного значення показників надійності.

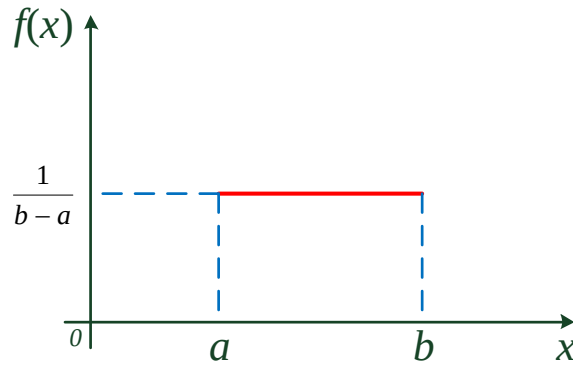


Рис. 1. Функція густини рівномірного розподілу випадкового числа
Для знаходження кількості циклів виконуємо такі стадії:

1. Генеруємо випадкове число (в.ч.) x_1 рівномірним законом розподілу (густина розподілу показана на рис. 1 [3]).

2. Якщо перше генероване випадкове число x_1 не дорівнює математичному очікуванню, то генеруємо друге випадкове число x_2 з тими самими параметрами розподілу рівномірного закону і знаходимо середнє значення цих випадкових чисел $(\frac{x_1 + x_2}{2})$. У цьому випадку математичне

очікування m – це значення ймовірності безвідмовної роботи одного елемента системи. Якщо середнє значення в.ч. не дорівнює математичному очікуванню, то генеруємо третє в.ч., і т. д.

Такі операції виконуємо доти, поки випадкове число буде дорівнювати математичному очікуванню. Щоб операція знаходження середнього значення випадкового числа, яке дорівнює математичному очікуванню, не проходила нескінченно довго, задаємося обмеженням. Для достовірнішого результату початкове обмеження повинно становити 1000, тобто з генерованих 1000 випадкових чисел знаходимо середнє значення випадкового числа, яке дорівнює математичному очікуванню. Тоді програма запам'ятовує цикл, при якому такий збіг відбувся (наприклад, на 560-му циклі генерування випадкового числа). Якщо ж такого збігу не відбулося, то запам'ятовується 1000 циклів.

Ці всі операції здійснюються в одному циклі, який назовемо внутрішнім.

Один зовнішній цикл – це та кількість циклів, при якому середнє значення випадкових величин збіглася з математичним очікуванням, тобто кількість внутрішніх циклів. Діаграма для п'яти зовнішніх циклів із значенням обмеження 1000 і середнім значенням циклів 230,4 зображена на рис. 2.

Зовнішніх циклів можна задати безліч. При цьому, кожен зовнішній цикл має свою кількість циклів, яка підсумовується і ділиться на кількість зовнішніх циклів, тобто знаходимо середнє значення зовнішніх циклів.

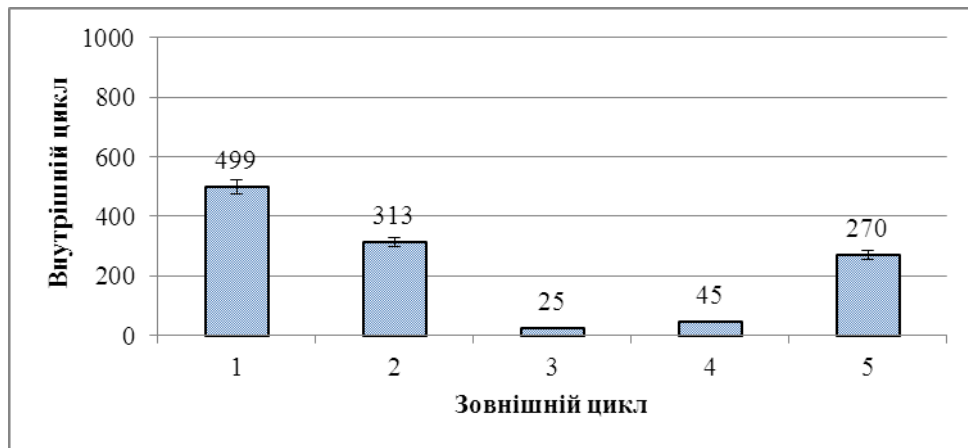


Рис. 2. Формування зовнішніх циклів

Приклад 1. При математичному очікуванні $m = 0,996$; зовнішніх циклів – **100**; обмеження – 1000; отримуємо такі значення:

При 1-му генеруванні – 474, при 2-му – 396, при 3-му – 400, при 4-му – 413, при 5-му генеруванні - 484

Висновок: середня кількість циклів випадкових чисел, яку потрібно згенерувати, щоб отримати ймовірність безвідмовної роботи елемента електромережі 0,996 знаходиться в інтервалі 396 – 484.

Приклад 2. При математичному очікуванні $m = 0,996$; зовнішніх циклів – **500**; обмеження – 1000; отримуємо такі значення:

При 1-му генеруванні – 421, при 2-му – 472, при 3-му – 441, при 4-му – 417, при 5-му генеруванні – 447.

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи елемента електромережі 0,996 знаходиться в інтервалі 417 – 472.

Приклад 3. При математичному очікуванні $m = 0,996$; зовнішніх циклів – **1000**; обмеження – 1000; отримуємо такі значення:

При 1-му генеруванні – 436, при 2-му – 437, при 3-му – 424, при 4-му – 434, при 5-му генеруванні – 413.

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи елемента електромережі 0,996 знаходиться в інтервалі 413 – 437.

Як показано в прикладах 1–3 із збільшенням кількості зовнішніх циклів інтервал циклів в.ч. при ймовірності безвідмовної роботи елемента 0,996 зменшується. При достатньо великій кількості зовнішніх циклів можна отримати ту кількість циклів, при яких ймовірність буде становити 0,996.

Для вищенаведеного була розроблена програма в середовищі C++, яка дозволяє розрахувати методом імітаційного моделювання Монте-Карло для кожного елемента електромережі із заданою ймовірністю безвідмовної роботи чи ймовірністю відмови, кількість циклів в.ч., розподілених за рівномірним законом розподілу, при якій ця ймовірність досягається.

Блок-схема алгоритму програми зображена на рис. 3.

Алгоритм працює так:

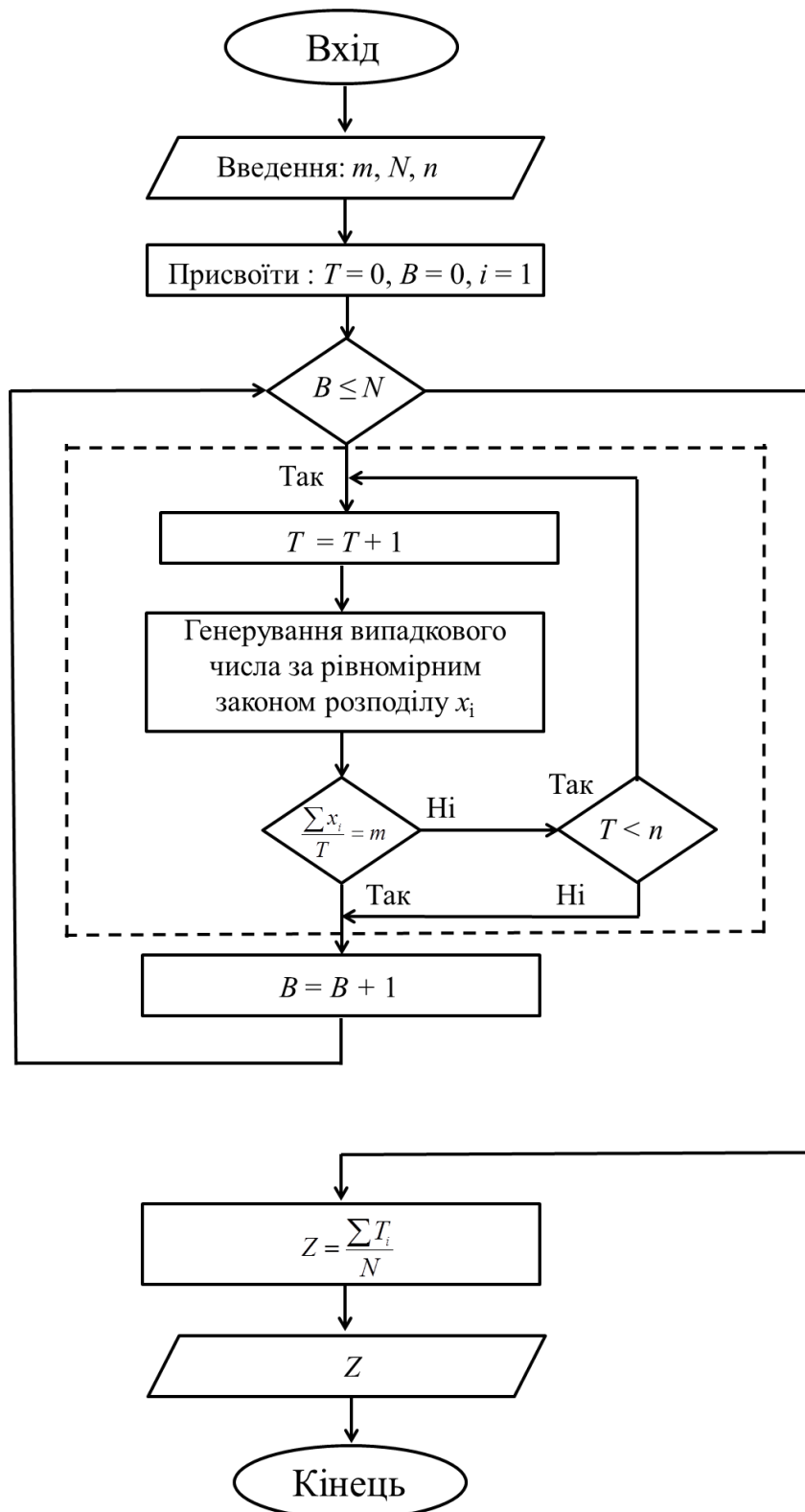


Рис. 3. Блок-схема алгоритму програми для отримання дійсного значення показників надійності

Після запуску програми вводимо початкові дані, m – математичне очікування, N – кількість зовнішніх циклів, n – кількість внутрішніх циклів (обмеження).

Після введення початкових даних у програмі генерується випадкове число x за рівномірним законом розподіл, де $x \in [0,1]$. Це випадкове число порівнюється із заданим математичним очікуванням m .

Якщо $x_{сер} \neq m$, то знову генерується випадкове число, тобто іде наступний цикл T , щоб він проходив нескінченно довго, задаємо обмеження n . Щоб знаходження кількості циклів T не проходило нескінченно-довго, задаємо обмеженням n .

Якщо $x_{сер} = m$ при деякому циклі T (наприклад, $T = 536$), то цей цикл запам'ятовується, як K_i . Всі ці вищезроблені операції здійснюються в внутрішньому циклі (на блок-схемі обмежені штриховою лінією).

Далі знаходимо друге число кількості циклів, при якому $x_{сер} = m$. Кількість внутрішніх циклів, генеруємо певну кількість N .

Після підсумовування кількості циклів, при яких випадкове число збіглося з математичним очікуванням, знаходимо їх середнє значення Z :

$$Z = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_n}{N}.$$

Далі програма виводить число Z , тобто кількість циклів, яку потрібно згенерувати, щоб отримати випадкове число із заданою ймовірністю (у цьому випадку m).

При кожному запуску програми будемо отримувати різне число Z . Але здійснивши оцінку отриманих значень, можна наблизитися до дійсного числа циклів $Z_{дійсн.}$.

При початкових параметрах ($m = 0,996$, $N = 100$, $n = 10000$), отримаємо:

Кількість дослідів n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отримані цикли Z	1966	1586	1227	1529	1347	1528	1454	1833	1016	1295

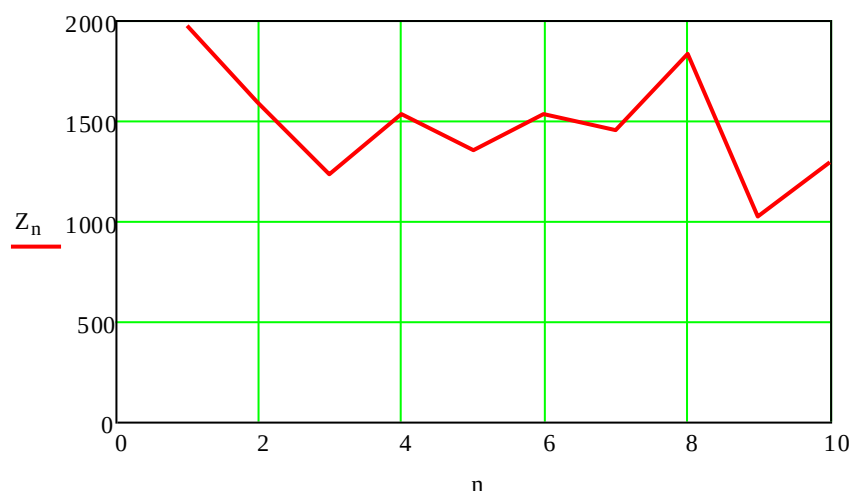


Рис. 4. Обробка отриманих даних

Математичне очікування отриманих даних (рис. 4) розраховується за формулою [1]:

$$m = \frac{\sum z_n}{n} = 1478,1.$$

Дисперсія:

$$D = \frac{\sum (z_i)^2}{n} - m^2 = 70860,49.$$

Середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{70860,49} = 266.196.$$

На рис. 5 показано межі випадкового числа.

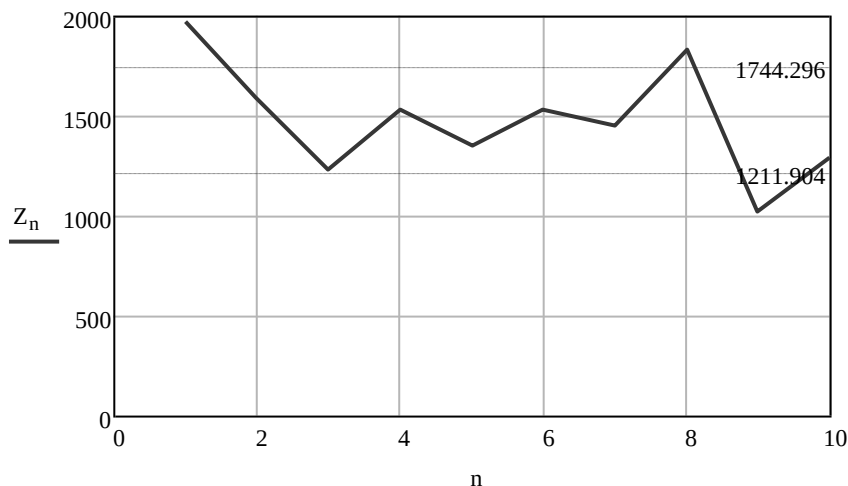


Рис. 5. Межі змінення випадкового числа

Наведено приклад для знаходження кількості циклів для одного елемента електромережі із заданою ймовірністю безвідмовної роботи.

Але, оскільки мережа складається із багатьох елементів (лінії, кабелі, шини, трансформатори, вимикачі, запобіжники та ін.), то доцільно визначити яку ж кількість циклів генерування в.ч. потрібно провести для цієї мережі, щоб отримати достовірні результати. Припускаємо, що кожний елемент мережі має певну ймовірність безвідмовної роботи (довідкові дані), то потрібно для кожного елемента із своєю ймовірністю знайти кількість циклів і з них вибрати найбільше число циклів [2].

Результати досліджень. Допустимо в складі досліджуваної схеми заміщення електричної мережі є три послідовно включені елементи, кожен із яких має свою ймовірність безвідмовної роботи (рис. 6).

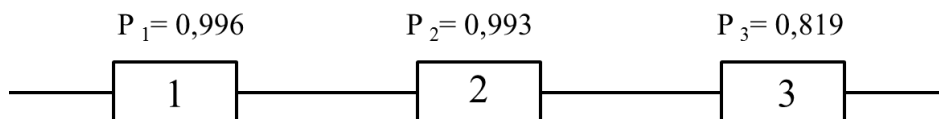


Рис. 6. Структурна схема заміщення об'єкта дослідження

Знайдемо для кожного елемента кількість циклів, при яких досягається задана ймовірність елемента, задавши для вищенаведеної програми такі вхідні дані:

1 – й елемент:

– математичне очікування $m_1 = 0,996$;

- кількість зовнішніх циклів – **1000**;
- обмеження – 1000.

Кількість дослідів n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отримані цикли Z	440	441	423	428	427	454	444	441	439	416

Математичне очікування $m = \frac{\sum Z_n}{n} = 435,3$.

Дисперсія $D = \frac{\sum (Z_i)^2}{n} - m^2 = 117,21$.

Середнє квадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{70860,49} = 10,826$.

2 – й елемент:

- математичне очікування $m_1 = 0,993$;
- кількість зовнішніх циклів – **1000**;
- обмеження – 1000.

Кількість дослідів n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отримані цикли Z	443	443	445	442	438	423	448	441	455	444

Математичне очікування $m = \frac{\sum Z_n}{n} = 442,2$.

Дисперсія $D = \frac{\sum (Z_i)^2}{n} - m^2 = 59,76$.

Середнє квадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{70860,49} = 7,73$.

3 – й елемент:

- математичне очікування $m_1 = 0,819$;
- кількість зовнішніх циклів – **1000**;
- обмеження – 1000.

Кількість дослідів n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отримані цикли Z	431	441	448	429	452	422	462	438	448	438

Математичне очікування $m = \frac{\sum Z_n}{n} = 442,1$.

Дисперсія $D = \frac{\sum (Z_i)^2}{n} - m^2 = 117,49$.

Середнє квадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{70860,49} = 10,839$.

Математичні очікування кожного елемента запишемо в таблиці:

Результати досліджень елементів системи

Параметр	Елемент мережі		
	1	2	3
Математичне очікування m	453,3	442,2	442,1
Дисперсія D	117,21	59,76	117,49
Середньоквадратичне відхилення σ	10,826	7,73	10,839
Кількість циклів $Z_{\text{прийняті}}$	454	443	443

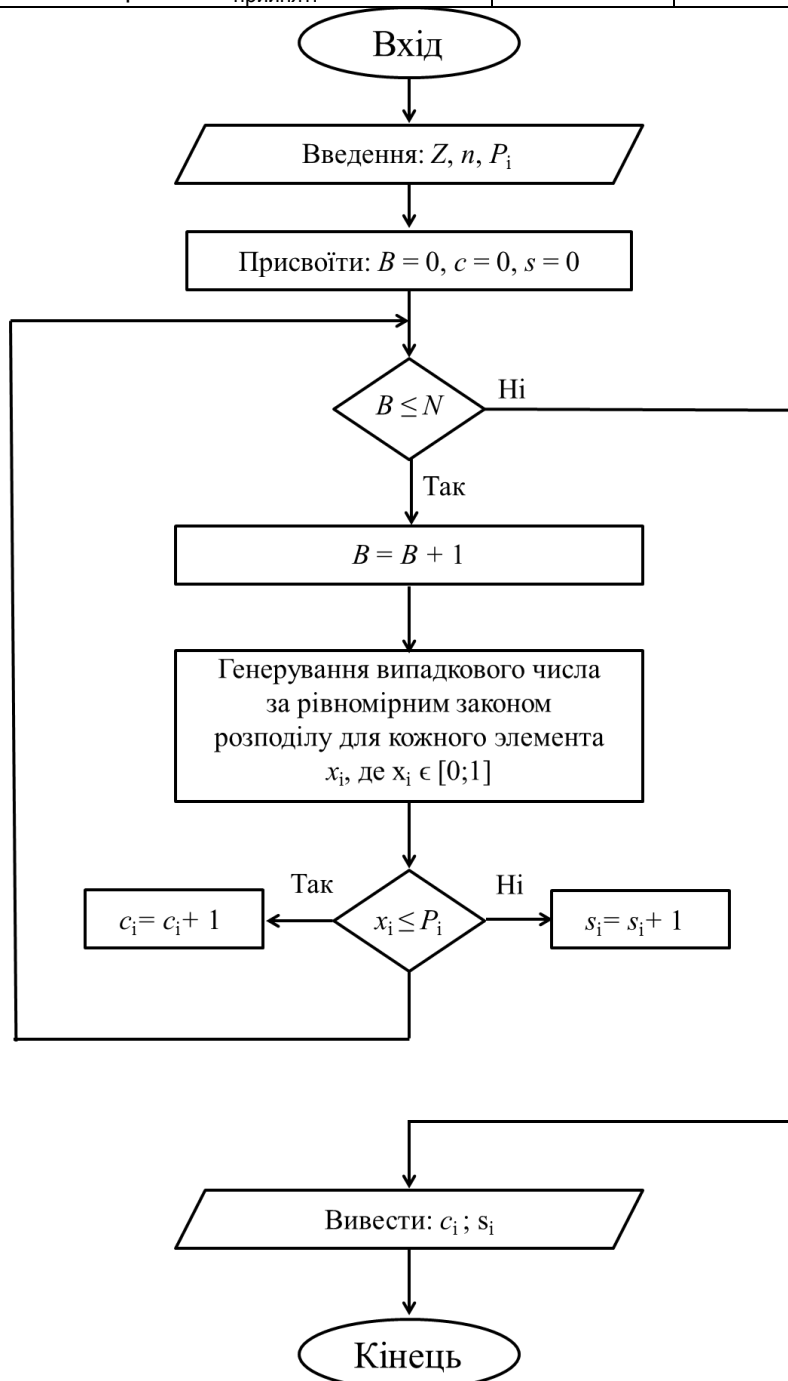


Рис. 7. Алгоритм визначення кількості відмов та безвідмовних випадків елементів системи

Отже, потрібно для дослідження системи, яка складається із трьох елементів, здійснити 454 випробувань.

Якщо, наприклад, для цих елементів (див. рис. 6) одночасно згенерувати в.ч. за рівномірним законом розподілу 454 рази і порівняти його з ймовірністю безвідмовної роботи, припускаючи, що в.ч. більше заданої ймовірності, то елемент відмовив.

Для визначення відмови елементів складаємо такий алгоритм (див. рис. 7) і виконуємо дії.

1. Задаємо кількість циклів (Z), кількість елементів (n) та ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента (P_i).
2. Присвоюємо при моделюванні початкову кількість здійснювальних циклів ($B = 0$), кількість випадків без відмов елемента $c_i = 0$ та кількість відмов елемента $s_i = 0$.
3. Виконуємо генерацію випадкових чисел $[0-1]$ за рівномірним законом розподілу для кожного елемента.
4. Порівнюємо в.ч. із заданою ймовірністю безвідмовної роботи елемента. Якщо в.ч. менше заданої ймовірності безвідмовної роботи ($x_i \leq P_i$), то елемент працює, якщо більше ($x_i \geq P_i$), то – відмовив.
5. Операції 3 і 4 повторюємо Z разів.
6. Виводимо кількість відмов кожного елемента s_i і кількість безвідмовних випадків c_i .

Блок-схема цієї програми зображена на рис. 7.

Для моделі, наведеної на рис. 8, при кількості циклів $Z = 454$, отримуємо:

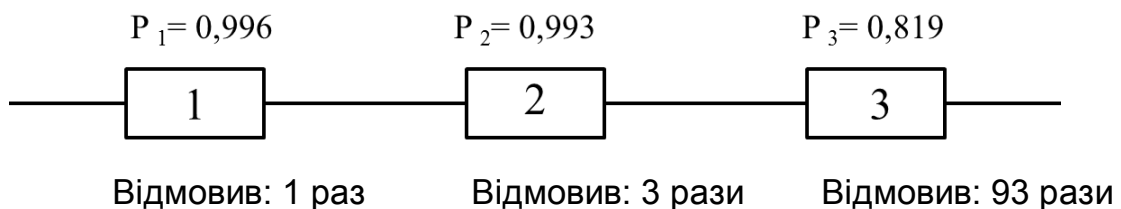


Рис. 8. Структурна схема заміщення досліджуваної схеми з результатами моделювання

Для визначення ймовірності безвідмовної роботи кожного елемента використовуємо таку формулу [2]:

$$P_{\text{екс}} = \frac{c_i}{N},$$

де c_i – кількість безвідмовних випадків; N – сумарна кількість дослідів (у розглянутому випадку кількість циклів Z);

Отже, 1-й елемент має ймовірність безвідмовної роботи $P_{\text{екс1}} = 0,998$;

2-й – $P_{\text{екс2}} = 0,993$;

3-й – $P_{\text{екс3}} = 0,795$.

Висновки

Результати наведеного математичного експерименту показують, що довідкові та експериментальні ймовірності безвідмовної роботи елементів, відрізняються між собою на величини, які менші за 5 %, що вказує на адекватність використання цього методу моделювання.

Список літератури

1. Денисов-Винский Н. Д. Mathcad. III курс. Теория вероятностей и математическая статистика / Н. Д. Денисов-Винский. – М.: МИЭЭ, 2009. – 93 с.
2. Козирський В.В. Методи та моделі розрахунку надійності систем електропостачання: монографія / В.В. Козирський, О.В. Гай. – К.: Гнозіс, 2013. – 563 с.
3. Тичинська Л.М. Теорія ймовірностей. Ч. 1. Історичні екскурси та основні теоретичні відомості / Л.М. Тичинська, А. А. Черепашук. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 112 с.
4. Billinton Roy. Reliability Evaluation of Power Systems / Roy Btlllnton and Ronald N. Allan. New York, Plenum, 1984 – 534 p.
5. Godha N. R. Godha. Time Sequential Monte Carlo Simulation for Evaluation of Reliability Indices of Power Distribution System / N.R. Godha, S.R. Deshmukh, R.V. Dagade. Department of Electrical Engineering, PVG'sCOET and BSCOER, Pune University, Pune, India 2012. Режим доступу до сервера: http://www.ieor.iitb.ac.in/files/ieorweb/ISCI2012/B1MonteCarloMethods/ISCI2012_per_#30.pdf

Раскрыто подход по определению показателей надежности системы электроснабжения с использованием метода имитационного моделирования и сформирована математическая модель поиска возможного диапазона количества циклов генерирования случайной величины для дальнейшего получения адекватных значений показателей надежности имитационным методом.

Система электроснабжения, показатели надежности, имитационное моделирование.

Disclosed approach on defining power system reliability using the simulation and mathematical model formed searching possible range of the number of cycles for generating random values to continue to receive adequate values of reliability indices simulation method.

Power supply system, reliability indicators, simulation.

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД АГРОПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

В.М. Штепа, кандидат технічних наук

Проаналізовано актуальність питання підвищення енергоефективності систем очищення стічних вод агропромислових об'єктів. Оцінено ступінь енерговикористання процесів водоочищення різними методами. Розраховано економічний ефект від економії електроенергії на водоочищення. Запропоновано та перевірено критерій енергоефективності функціонування системи управління водоочисними електротехнологічними комплексами.

Водоочищення, стічні води, водоочисний електротехнічний комплекс, система управління, екологічна безпека.

Стічні води промислових об'єктів за багатьма параметрами перевищують встановлені норми щодо скиду у водойми. Одні з найбільших відхилень зафіксовано стосовно завислих частинок (у 100 – 1000 разів), БПК (у 30 – 100 разів), нітратів (у 10 разів), що пов'язано з технологією виробництва. Як результат, концентрація забруднень навколишнього середовища на 1 км² у 6,5 раза більше, ніж у США, і 2 – 3 рази в порівнянні з країнами Європейського Союзу. Якість навколишнього середовища тісно пов'язана з якістю поверхневих і навіть підземних вод. Для України це має особливо важливе значення, адже 75 % питного водопостачання у нас здійснюється за рахунок поверхневих вод.

Забруднювачами навколишнього природного середовища є [1, 2]:

промисловість – 65 %, агропромисловий комплекс – 16 – 20 %, комунальне господарство – 18 – 20 %. У 2010 році у водні об'єкти надійшло 460 т нафтопродуктів, 840 тис т сульфідів, 760 тис т хлоридів, 58 тис т нітратів.

Найнебезпечніші забруднювачі – нафтопродукти, солі важких металів, феноли і біогенні речовини, останні двоє є в стічних водах агропромислових та переробних підприємств.

Потужними водоспоживачами в АПК є: свинокомплекси, птахівничі комплекси, переробні підприємства – ними скидаються близько 40 – 50 % отриманої води залежно від технології виробництва та регіону. У більшості випадків скиди таких підприємств не проходять навіть елементарного очищення.

Саме тому розробка енергоефективних та екологічно безпечних технологій водоочищення, враховуючи значні обсяги скидів, бажано із повторних використанням води у технологічних циклах та утилізацією

органічних відходів з отриманням цінних продуктів (рис. 1), є актуальною важливою.

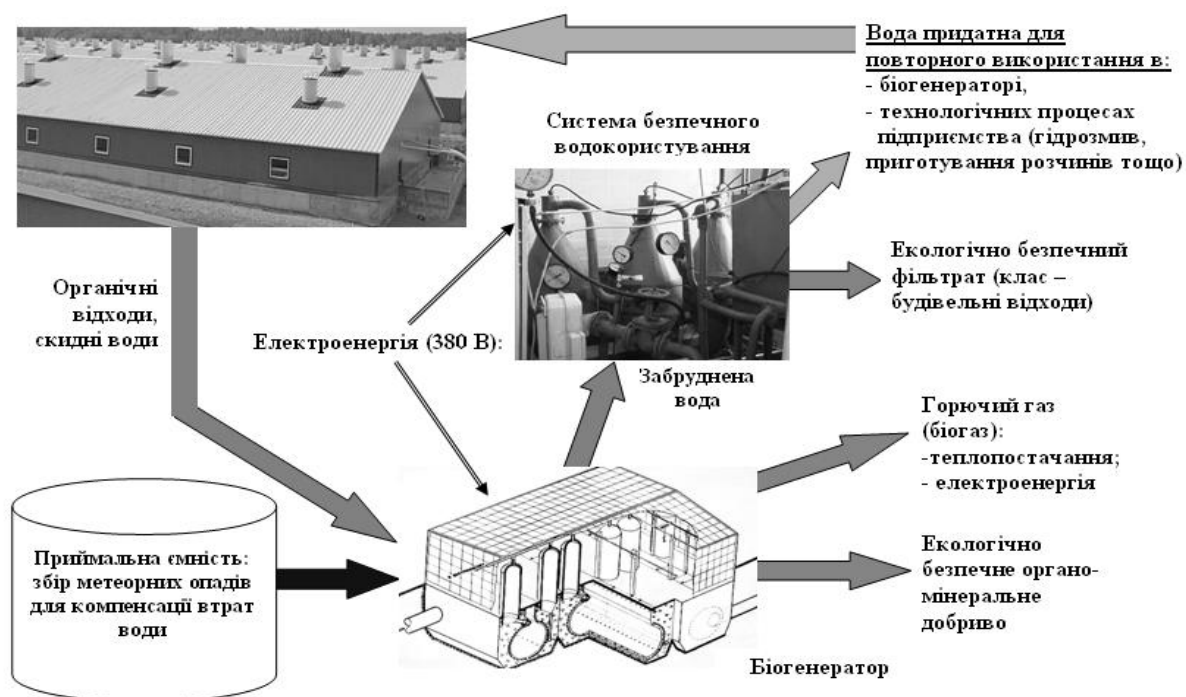


Рис.1. Приклад ресурсо- та екологічно безпечного водопостачання агропромислових підприємств (із застосуванням замкнутого циклу)

Мета досліджень – аналіз енергетичних характеристик електротехнічних комплексів очищення стічних вод агропромислових об'єктів та визначення шляхів підвищення енергоефективності.

Матеріали та методика досліджень. Виявлення і використання ресурсів зниження максимальної потужності і загальної витрати електроенергії набувають все більшого значення ще й тому, що системи водовідведення та водоочищення розвиваються високими темпами (щорічний приріст продуктивності 4 – 5%). Ефективність різних заходів, що забезпечують економію електроенергії, повинна оцінюватися на основі зіставлення загальних витрат електроенергії в системі за умови безперебійного забезпечення водоочищення.

При цьому очисні споруди повинні працювати рівномірно протягом доби. Режим подачі води від приймального резервуара має встановлюватися, щоб резервуари були повністю заповнені до чергового зростання обсягів скидів, якщо такі будуть.

Наприклад, одними із основних споживачів електроенергії на станціях очищення стічних вод є турбоповітродувки, що подають повітря до аеротенків. Біологічне очищення в цих спорудах відбувається за рахунок споживання кисню. Питома витрата електроенергії на подачу повітря значно залежить від якості рідини, що очищається і в середньому становить 50–100 кВт·год на 1000 м³. Економія електроенергії за рахунок виключення турбоповітродувних агрегатів можлива, оскільки витрата

стічних вод і кількість забруднень, що містяться в них, змінюються за сезонами року і протягом доби.

Загалом же вартість очищення 1 м³ стічних вод коливається у широких межах і залежить від: якості води, яка подається на установки та якості води після обладнання (повторне використання, скид у природні водойми чи каналізацію тощо) (табл. 1).

Також потрібно розуміти, що на реальних виробництвах застосовуються комбіновані методи (поєднання двох або більше підходів), тобто вартість очищення 1 м³ може оптимізовуватися, забезпечуючи дотримання нормативних вимог щодо якості скиду.

При цьому вплив функціонування електротехнічного водоочисного комплексу на собівартість продукції можна встановити, виходячи із загальних виробничих енергетичних витрат. Наприклад, для виробництва 1 кг свинини необхідні такі витрати коштів [3]:

- 1) заробітна плата – 3 %;
- 2) вартість кормів – 84 %;
- 3) амортизація – 9 %;
- 4) поточний ремонт – 1,8 %;
- 5) електропостачання – 1,5 %;
- 6) інші прямі витрати – 0,7 %.

1. Порівняння різних методів очищення стічних вод

Метод водоочищення	Вартість очищення 1 м ³ , грн.	Ефективність видалення забруднювачів	
		неорганічних	органічних
Механічний	0,5 – 1	Низька	Низька
Фізико-хімічний	2 – 15	Висока	Середня
Хімічний	8 – 600	Висока	Висока
Біологічний	0,5 – 8	Низька	Висока

Статистично встановлено [4, 5], що на оплату електроенергії при очищення стічних вод припадає усереднено 15 % всіх електроенергетичних витрат підприємств. Тоді при виробництві 1 кг свинини витрати на електротехнічний водоочисний комплекс становлять – 0,22 %.

У грошовому еквіваленті (прийmemo собівартість виробництва 1 кг свинини – 7 грн.): $7 \cdot 0,0022 = 0,015$ грн.

Для виробничого комплексу типу ВАТ “Агрокомбінат “Калита” (потужність – 13,7 тис. т/рік): $13\,700\,000 \text{ кг/рік} \cdot 0,015 = 205\,500$ грн/рік.

Тобто підвищення енергоефективності водоочищення, за рахунок системи управління навіть на 5 % дозволить зекономити: $205\,500 \text{ грн/рік} \cdot 0,05 = 10\,275$ грн/рік, що відповідає вартості сучасного програмованого контролера (ПЛК) із необхідним периферійним обладнанням.

Тому, із врахуванням виробничих випробувань та теоретичних напрацювань пропонується універсальний критерій оцінки енерго-ефективності роботи електротехнологічного обладнання водопідготовки []:

$$EF_y = \frac{\left[\left(\frac{L1_{вих} - L1_{зад}}{L1_{зад}} 100\% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - LN_{зад}}{LN_{зад}} 100\% \right) \right] \sum_{i=1}^N Q_i}{\sum_{i=1}^N W_i}, \% / \text{кВт}. (1)$$

де $L_{вих}$ – фактичне значення відповідного параметра оцінки якості водопідготовки; $L_{зад}$ – задане (нормативне) значення відповідного параметра оцінки якості водопідготовки; Q – час роботи обладнання, год; W – електроенергія, що затрачена на водоочищення, кВт·год; N – кількість параметрів оцінки якості водопідготовки (як правило, відповідають кількості установок, які діють на воду).

Технологічне завдання системи управління – підтримувати значення критерію рівним (максимально близьким) нулю.

У випадку, якщо одна установка забезпечує нормування кількох параметрів, що на реальних об'єктах має місце:

$$EF_y = \frac{\left[\left(\frac{L1_{вих} - L1_{зад}}{L1_{зад}} 100\% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - LN_{зад}}{LN_{зад}} 100\% \right) \right] Q}{W}, \% / \text{кВт}. (2)$$

Статистичні дослідження такого критерію енергоефективності (формула (2) показала його технологічну обґрунтованість (рис. 2).

Під час двопараметричного аналізу побудували залежність критерію EF_y від двох умовних показників якості очищення (L_1 , L_2) (рис. 3). Один нормовано зростав від -10 % до +10 % (крок – 1 %). Інший змінювався інверсійно з тим же кроком у тому ж діапазоні.

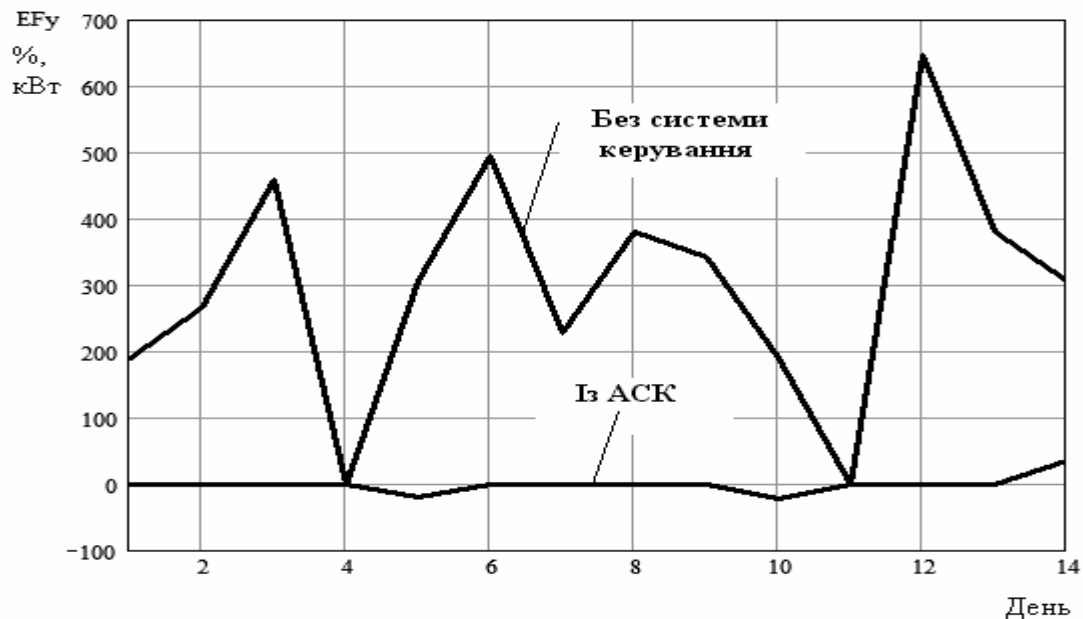


Рис. 2. Графік удосконаленого критерію енергоефективності

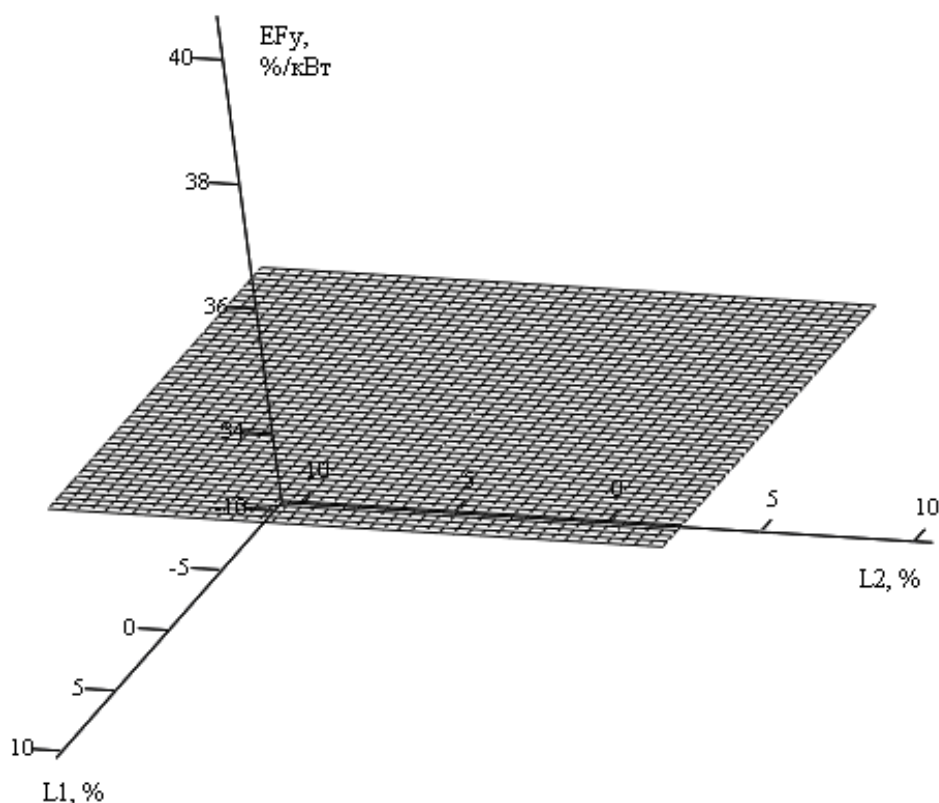


Рис.3. Графічна інтерпретація двопараметричного аналізу критерію енергоефективності

Витрачена на водопідготовку електроенергія (W) – константа (1000 кВт/год); час роботи електротехнологічного обладнання (Q) теж незмінний – 480 год.

У результаті отримали тримірну поверхню, вигляд якої (характер зміни EF_y) підтвердив технологічну адекватність розробленого критерію (див. рис. 3).

Отже, розроблений критерій енергоефективності доцільно покласти в основу побудови систем керування комплексними системами водоочищення стічних вод агропромислових підприємств.

Однак, необхідно обов'язково врахувати ще один дуже важливий аспект впливу неякісно очищеної стічної води на собівартість агропромислової продукції – санітарно-гігієнічний.

Стоки, що викидаються у каналізацію, нормуються санепідемслужбою або іншими контролюючими органами. Контроль проводять за десятками параметрів. У випадку, якщо хоча б один із них не відповідає встановленим нормам, вводяться штрафні санкції. Згідно з ними вартість 1 м^3 води підвищується – чим більша кількість параметрів вийшла за нормовані межі, тим вона вища: відхилення за одним параметром: 1 м^3 – 2,25 грн; відхилення за двома параметрами: 1 м^3 – 15 грн; відхилення за трьома параметрами: 1 м^3 – 150 грн.

Для типового птахівничого господарства (2,6 тис. поголів'я) витрати на воду при можливих штрафних санкціях наведено у табл. 2.

2. Витрати птахофабрики на воду у випадку штрафних санкцій

Кількість контрольованих параметрів, які вийшли за допустимі межі	Витрати на воду в рік, грн.
Жодного параметра	76206
Один параметр	114309
Два параметри	762060

Іншою причиною суттєвих потенційних фінансових втрат господарств може стати неякісна утилізація продуктів очищення, які класифікуються як відходи відходів (наприклад, мулових карт біологічного очищення). Згідно з Законом України “Про відходи” Ст. 17 “Обов'язки суб'єктів господарської діяльності у сфері поводження з відходами” власник повинен забезпечувати повне збирання та належне зберігання відходів, не допускати їх псування, утилізувати або передати установам, що цим займаються. Крім того, за власний рахунок необхідно забезпечувати екологічно обґрунтоване видалення відходів, що не підлягають утилізації, а також не допускати зберігання та видалення відходів у несанкціонованих місцях.

Висновки

При водоочищенні стічних вод агропромислових об'єктів різними методами та засобами у значній мірі використовують енергетичні ресурси (до 15 % енерговитрат – при нормативному очищенні), тому застосування енергоефективних рішень, зокрема систем управління, дозволить покращити рентабельність агровиробництва (термін повернення витрат на програмно-апаратні засоби – до 2 років) та забезпечити екологічну безпеку регіону, де розташоване підприємство.

Список літератури

1. Копілевич В.А. Оцінка екологічної безпеки скидів води при виробництві продукції птахівництва / В.А. Копілевич, Л.В. Войтенко, Н.М. Прокопчук // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2003. – № 111 – С. 19–23.
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2006 році / Міністерство екології та природних ресурсів України – К., 2007. – 15 с.
3. Паникар И.И. Промышленное птицеводство и охрана окружающей среды / И.И. Паникар. – М.: МСХА, 1988. – 302 с.
4. Пуганков А.Г. Обеззараживание стоков животноводческих комплексов / А.Г. Пуганко. – М.: Колос, 1986 – 257 с.
5. Штепа В.М. Застосування нечіткої енергозберігаючої системи автоматичного керування електролізним знезараженням стічних вод птахофабрик для боротьби із потраплянням у навколишнє середовище збудників пташиного гриппу/ В.М. Штепа // Тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф. [“Екологія. Людина. Суспільство”], (Київ, 17-19 квітня 2006 р.) – К.: НТУУ “КПІ”, 2006. – С.147.

Проанализирована актуальность вопросов повышения энергоэффективности систем очистки сточных вод агропромышленных объектов. Оценена степень энергопотребления процессов водоочистки разными методами. Рассчитан экономический эффект от экономии электроэнергии на водоочистку. Предложен и проверен критерий энергоэффективности функционирования системы управления водоочистительными электротехнологическими комплексами.

Водоочистка, сточные воды, водоочистительный электро-технический комплекс, система управления, экологическая безопасность.

Analyzes the actuality energy efficiency of agro-industrial wastewater treatment facilities; A degree of energy in different methods of water purification processes; The economic effects of energy savings for water treatment; proposed and tested standard energy management system electro-purifying systems.

Water treatment, sewage water treatment, complex electrical, management system, environmental security.

УДК 62 - 83 : 621. 313. 333

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ КОМПЕНСОВАНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

***Р.М. Чуєнко, кандидат технічних наук
О.А. Кривошей, студент***

Обґрунтовано параметри схеми заміщення компенсованого асинхронного електродвигуна з урахуванням взаємоіндуктивного зв'язку між напівобмотками фаз статора як за основним полем, так і за полями розсіювання.

Компенсований асинхронний електродвигун, схема заміщення, активний та реактивний опір, розсіювання, взаємоіндуктивний зв'язок.

Основою для розрахунку характеристик асинхронного двигуна (АД) є система рівнянь електричної рівноваги кіл статора і ротора у симетричному усталеному режимі. Ці рівняння виражають частковий випадок загальної математичної моделі машини як для перехідних, так і усталених процесів, складеної при загальноприйнятих припущеннях класичної теорії електричних машин за постійних параметрів схеми заміщення [4].

© Р.М. Чуєнко, О.А. Кривошей, 2014

Проанализирована актуальность вопросов повышения энергоэффективности систем очистки сточных вод агропромышленных объектов. Оценена степень энергопотребления процессов водоочистки разными методами. Рассчитан экономический эффект от экономии электроэнергии на водоочистку. Предложен и проверен критерий энергоэффективности функционирования системы управления водоочистительными электротехнологическими комплексами.

Водоочистка, сточные воды, водоочистительный электро-технический комплекс, система управления, экологическая безопасность.

Analyzes the actuality energy efficiency of agro-industrial wastewater treatment facilities; A degree of energy in different methods of water purification processes; The economic effects of energy savings for water treatment; proposed and tested standard energy management system electro-purifying systems.

Water treatment, sewage water treatment, complex electrical, management system, environmental security.

УДК 62 - 83 : 621. 313. 333

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ КОМПЕНСОВАНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

***Р.М. Чуєнко, кандидат технічних наук
О.А. Кривошей, студент***

Обґрунтовано параметри схеми заміщення компенсованого асинхронного електродвигуна з урахуванням взаємоіндуктивного зв'язку між напівобмотками фаз статора як за основним полем, так і за полями розсіювання.

Компенсований асинхронний електродвигун, схема заміщення, активний та реактивний опір, розсіювання, взаємоіндуктивний зв'язок.

Основою для розрахунку характеристик асинхронного двигуна (АД) є система рівнянь електричної рівноваги кіл статора і ротора у симетричному усталеному режимі. Ці рівняння виражають частковий випадок загальної математичної моделі машини як для перехідних, так і усталених процесів, складеної при загальноприйнятих припущеннях класичної теорії електричних машин за постійних параметрів схеми заміщення [4].

© Р.М. Чуєнко, О.А. Кривошей, 2014

Для компенсованих асинхронних двигунів (КАД) за основу прийнята математична модель базового асинхронного двигуна і методика її побудови. Але враховуються конструктивні і функціональні особливості КАД. Зокрема при поділі обмотки статора на дві просторово зміщені між собою частини подвоюється кількість рівнянь електричної рівноваги фаз статора, а ввімкнення обмоток статора за схемою поворотного автотрансформатора на електричну ємність збільшує на одиницю порядок диференціальних рівнянь електричної рівноваги фаз статора [3].

Мета досліджень – визначення параметрів схеми заміщення компенсованого асинхронного електродвигуна.

Матеріали та методика досліджень. Найповніше дані асинхронних електродвигунів наведено у довідковій літературі [1]. Зокрема наводяться параметри Г-подібної схеми заміщення (рис. 1, а), виражені у відносних одиницях (в.о.). При цьому розглядаються параметри обмоток статора (активний R_1' та індуктивний X_1' опори розсіювання) і ротора (відповідно R_2'' , X_2''), опір взаємоіндуктивного зв'язку між обмотками фаз статора і ротора при збігу їх осей та рівний йому повний головний реактивний опір фази обмотки (X_m) у номінальному режимі роботи приведенного двигуна серії 4А, а також значення опорів обмоток при короткому замиканні двигуна R_K , X_K .

Проте результати розрахунків на базі математичної моделі АД в усталеному симетричному режимі приводять до Т-подібної схеми заміщення (рис. 1, б), яка краще відображає фізичні процеси у двигуні і по суті є його фізичною моделлю [2]. Тому, при математичному моделюванні АД доцільно використовувати параметри Т-подібної схеми заміщення.

При переході від заданих параметрів Г-подібної схеми до параметрів Т-подібної схеми використовують такі вирази [1, 4]:

$$X_1 = \frac{2X_1'X_m}{X_m + \sqrt{X_m^2 + 4X_1'X_m}}; R_1 = R_1' \frac{X_1}{X_1'}; R_2 = \frac{R_2''}{c^2};$$

$$X_2 = \frac{X_2''}{c^2}, c \approx 1 + \frac{X_1}{X_m} \quad I_2 = c \cdot I_2'.$$

Співвідношення між параметрами у відносних $R_1(в.о.)$, $X_1(в.о.)$, $R_2(в.о.)$... та в абсолютних одиницях (Ом) мають вигляд:

$$R_1(в.о.) = \frac{R_1(Ом)}{Z_n(Ом)} А; X_1(в.о.) = \frac{X_1(Ом)}{Z_n(Ом)}; R_2(в.о.) = \frac{R_2(Ом)}{Z_n(Ом)} \dots ,$$

де $Z_n = \frac{U_n}{I_n}$ – номінальний опір фази машини при з'єднанні обмотки

статора Y, Ом; $I_n = \frac{P_n}{3 \cdot U_n \eta_n \cos \varphi_n}$ – номінальний струм, А; U_n – номінальна напруга фази, В.

Результати досліджень. У компенсованих асинхронних двигунах (КАД) обмотка статора базового двигуна розділена на дві послідовно або

паралельно з'єднані напівобмотки. Тому для розрахунку характеристик КАД необхідно

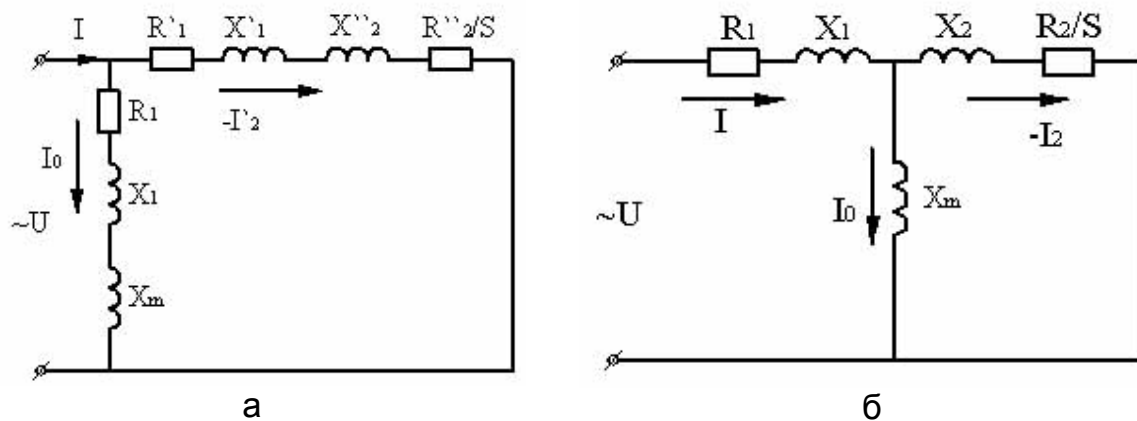


Рис. 1. Схема заміщення асинхронного двигуна:
а – Г-подібна; б – Т-подібна

враховувати параметри не лише всієї обмотки статора, а також її окремих напівобмоток. Принципові електричні схеми обмоток статора фази базового АД можна показано на рис. 2.

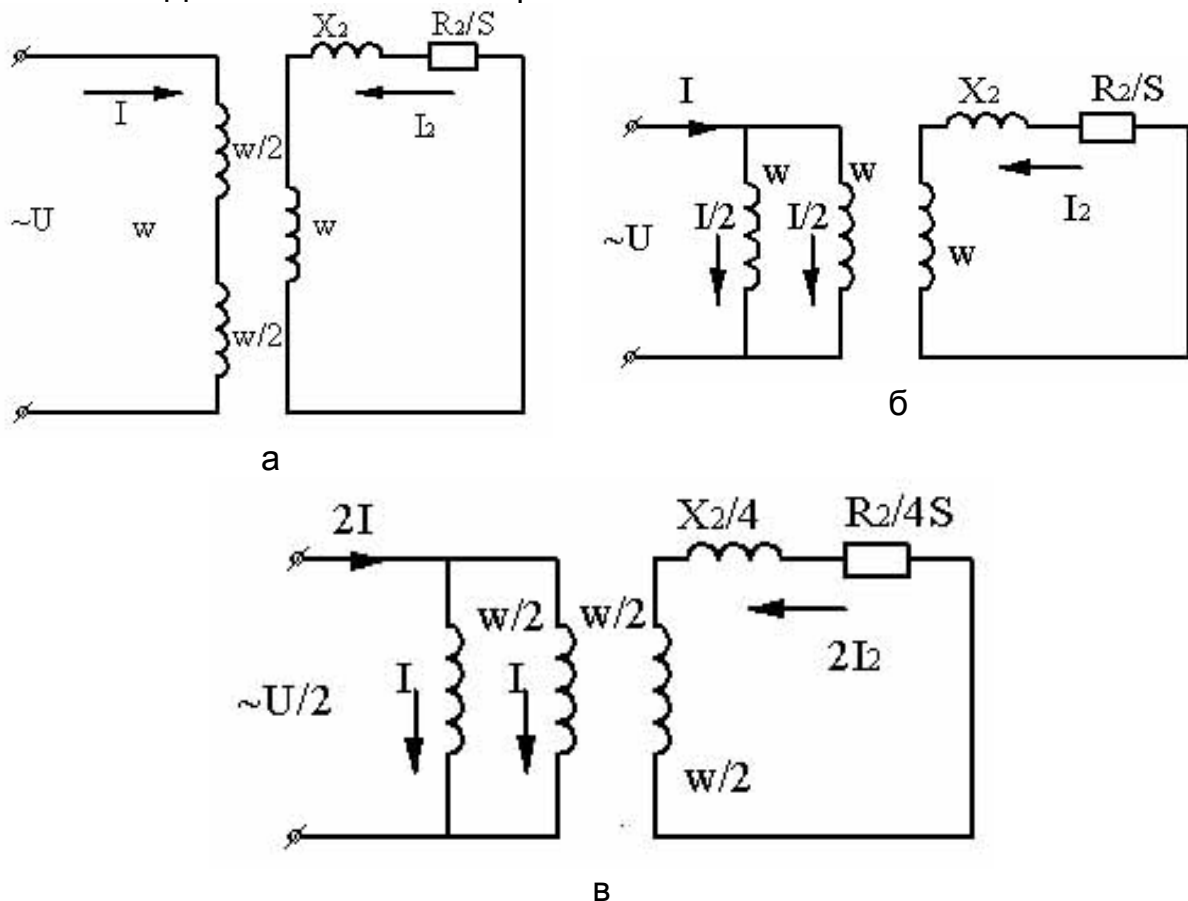


Рис. 2. Принципові електричні схеми фази АД:
а – при послідовному з'єднанні напівобмоток фази статора; б – при паралельному з'єднанні двох віток; в – при перемиканні послідовної обмотки у дві паралельні вітки

У схемі, наведеній на рис. 2, а, обмотка статора двигуна з кількістю витків w у фазі розділена на дві послідовні напівобмотки по $\frac{w}{2}$ витків у кожній. З умов приведення асинхронного двигуна кількості витків обмоток статора і ротора, та їх параметри у цілому повинні залишатися незмінними. Проте опір кожної напівобмотки статора при послідовному їх з'єднанні буде дорівнювати половині опору всієї обмотки, тобто активний опір напівобмотки фази статора буде дорівнювати $\frac{R_1}{2}$, повний реактивний опір розсіяння напівобмотки фази статора – $\frac{X_1}{2}$, повний головний опір напівобмотки фази статора – $\frac{X_m}{2}$, де X_1, X_m – опір розсіяння та повний головний реактивний опір фази всієї обмотки статора, пропорційні w^2 [2]. Відомо, що повний реактивний опір фази обмотки двигуна має складову власного опору, пропорційну квадрату кількості її витків та складову взаємоіндуктивного зв'язку з іншими обмотками, пропорційну добутку кількостей витків обмоток. Причому вважається, що взаємоіндуктивний зв'язок між різними обмотками по полю розсіювання відсутній.

Залежність власних реактивних опорів обмоток від квадрата їх кількостей витків визначають для напівобмоток відповідно за опорами розсіювання $X_{1c} = \frac{X_1}{4} \equiv \left(\frac{w}{2}\right)^2$ та за головним опором $X_{mc} = \frac{X_m}{4} \equiv \left(\frac{w}{2}\right)^2$.

Невідповідність між повними опорами послідовних напівобмоток $\frac{X_1}{2}, \frac{X_m}{2}$ та їх власними значеннями $X_{1c} = \frac{X_1}{4}, X_{mc} = \frac{X_m}{4}$ обумовлюється наявністю між напівобмотками у межах єдиної обмотки взаємоіндуктивного зв'язку як за основним полем, так і за полем розсіяння, що збільшує їх опір ще на величину $X_{1b} = \frac{X_1}{4} \equiv \left(\frac{w}{2}\right)^2$ за рахунок взаємоіндуктивного зв'язку між напівобмотками по полю розсіяння та на величину $X_{mb} = \frac{X_m}{4} \equiv \left(\frac{w}{2}\right)^2$ – за основним магнітним потоком.

Тобто, реактивний опір розсіяння кожної з послідовних напівобмоток статора, розміщених співвісно під усіма полюсами дорівнює $\frac{X_1}{2} = X_{1c} + X_{1b} = \frac{X_1}{4} + \frac{X_1}{4}$, головний реактивний опір – $\frac{X_m}{2} = X_{mc} + X_{mb} = \frac{X_m}{4} + \frac{X_m}{4}$, а опір взаємоіндукції напівобмоток статора з обмоткою ротора відповідно – $\frac{X_m}{2} \equiv \frac{w}{2} \cdot w$.

Слід зазначити, що взаємоіндуктивний зв'язок за основним полем в асинхронній машині має місце між усіма обмотками статора і ротора всіх фаз, що враховується в математичній моделі електричної машини [3–5].

А поле розсіяння зчіплюється лише із напівобмотками власної фази. При розділенні такої обмотки на дві частини, які лежать співвісно в одних і тих самих пазах, взаємоіндуктивний зв'язок між напівобмотками єдиної обмотки враховується опором $X_{1b} = \frac{X_1}{4}$, при просторовому зміщенні таких напівобмоток один відносно одного на кут δ (як прийнято у КАД) цей опір стає рівним $\frac{X_1}{4} \cdot \cos \delta$.

Якщо базовий двигун має обмотку статора з двома однаковими паралельними вітками, кожна з яких розрахована на повну напругу мережі U (рис. 2, б), то за умови паралельного з'єднання при параметрах єдиної обмотки R_1, X_1, X_m параметри паралельної вітки будуть дорівнювати відповідно $2R_1, 2X_1, 2X_m$, а при загальному номінальному струмі I_n номінальний струм паралельної вітки становитиме $\frac{I_n}{2}$. При збереженні

кількості витків вітки w , яка дорівнює кількості витків єдиної обмотки, їх власний реактивний опір розсіяння і головний реактивний опір, а також опір взаємоіндуктивного зв'язку по полю розсіяння та по основному полю у межах єдиної обмотки зберігають свої значення, які дорівнюють опорам всієї обмотки, тобто $X_{1c} = X_{1b} = X_1$, $X_{mc} = X_{mb} = X_m$, звідки опір вітки буде становити $X_{1c} + X_{1b} = 2X_1$, $X_{mc} + X_{mb} = 2X_m$. Параметри ротора при цьому залишаються незмінними R_2, X_2, X_m .

На практиці інколи виникає необхідність обмотку статора переключити з послідовного на паралельне з'єднання напівобмоток по $\frac{w}{2}$ витків у вітці (рис. 2, в). Для збереження енергетичних показників двигуна за схемами рис. 2, б і рис. 2, в напруга живлення має бути зменшена вдвічі ($\frac{U}{2}$), а загальний струм статора і струм ротора збільшені вдвічі (відповідно $2I, 2I_2$), при цьому струми паралельних віток статора будуть дорівнювати I . У кожній паралельній вітці статора з кількістю витків $\frac{w}{2}$ опір

розсіяння дорівнює $\frac{X_1}{2} = \frac{X_{1c}}{4} + \frac{X_{1b}}{4}$, загальний опір $\frac{X_m}{2} = \frac{X_{1c}}{4} + \frac{X_{mb}}{4}$, а

загальні параметри всієї обмотки статора – відповідно $\frac{X_1}{4}, \frac{X_m}{4}, \frac{R_1}{4}$. З

умови приведення асинхронного двигуна кількість витків обмотки ротора приведеної до обмотки статора теж має бути $\frac{w}{2}$, що зменшує його опір

розсіяння до $X_2' = \frac{X_2}{4}$, а активний опір обмотки ротора з урахуванням

подвоєння його струму стає рівним $R_2' = \frac{R_2}{4}$.

Висновки

Фазні обмотки статора компенсованих асинхронних двигунів утворюються шляхом поділу обмоток базового двигуна на дві частини, які лежать співвісно в одних і тих самих пазах або з просторовим зміщенням. При цьому змінюється характер взаємоіндуктивних зв'язків як між обмотками різних фаз, так і між окремими напівобмотками у межах єдиної фазної обмотки. Тому, для розрахунку характеристик компенсованих двигунів необхідно застосовувати відповідні параметри схеми заміщення.

Список літератури

1. Асинхронные двигатели серии 4А: справ. / [А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин и др.]. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
3. Компенсовані асинхронні машини: монографія / [В.І. Мішин, В.В. Каплун, Р.М. Чуєнко та ін.]. – К.: КНУТД, 2012. – 221 с.
4. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин / И.П. Копылов. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
5. Мишин В.И. Моделирование аварийных режимов электродвигателей в сельском хозяйстве / В.И. Мишин, И.В. Собор. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 127 с.

Обоснованны параметры схемы замещения компенсированного асинхронного двигателя с учетом взаимоиндуктивной связи между полуобмотками фаз статора как по основному полю, так и по полям рассеяния.

Компенсированный асинхронный электродвигатель, схема замещения, активное и индуктивное сопротивление, рассеяние, взаимоиндуктивная связь.

The parameters of compensated induction motor circuit model considering mutual inductive coupling between phase stator semi-windings as for basic field so leakage fields were grounded.

Compensated induction motor, circuit model, active and inductive resistance, dispersion, mutual inductive communication.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПІДСТАНЦІЙ 110(35)/10 КВ ЗА РЕТРОСПЕКТИВНИМИ ДОБОВИМИ ПОГОДИННИМИ ГРАФІКАМИ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

***А.М. Скрипник, О.В. Гай, кандидати технічних наук
В.А. Костюк, інженер***

Запропоновано використання потоків інформації функціонування автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), впроваджених на підстанціях напругою 110(35)/10 кВ, для прогнозування електричного навантаження підстанцій в процесі їх експлуатації.

Дистанційний збір інформації, добові погодинні графіки, бази даних, прогнозування, регресійна залежність, статистичні ряди, фактична та прогнозна температура, ретроспективне та перспективне навантаження.

Широке впровадження АСКОВ на підстанціях 110(35)/10 кВ дає можливість, крім контролю та обліку, формувати бази даних щодо ретроспективних добових погодинних графіків споживання електроенергії з подальшим їх використанням для прогнозування навантаження підстанцій в процесі експлуатації електричних мереж.

Мета досліджень – формування пропозицій щодо використання прогнозних даних навантаження підстанцій 110(35)/10 кВ для удосконалення розрахунків та управління режимами електричних мереж із джерелами розподіленої генерації.

Матеріали та методика досліджень. Процес прогнозування навантаження підстанцій 110(35)/10 кВ розглянемо на прикладі деякої схеми функціонування впровадженої на ній АСКОВ при дистанційному зборі інформації (рисунк).

База даних формується на сервері баз даних за допомогою передачі добових погодинних показників лічильників щодо спожитої електроенергії, наприклад по радіоканалах, через комутаційні контролери і контролери збору даних згідно з запрограмованим запитом.

Для збору даних можна використовувати трифазні лічильники, наприклад фірми НІК-Електроніка (НІК-2303, НІК-2305) з вимірюванням як активної, так і реактивної енергії. Вимірювання краще виконувати по відгалуженнях мережі 10 кВ, що дає можливість формувати графіки спожитої електроенергії і по підстанції в цілому. Інформація вказаної бази даних може використовуватися для прогнозування споживання електроенергії як по відгалуженнях, так і по підстанції на короткострокову перспективу – наступну добу або кожен добу наступного тижня.

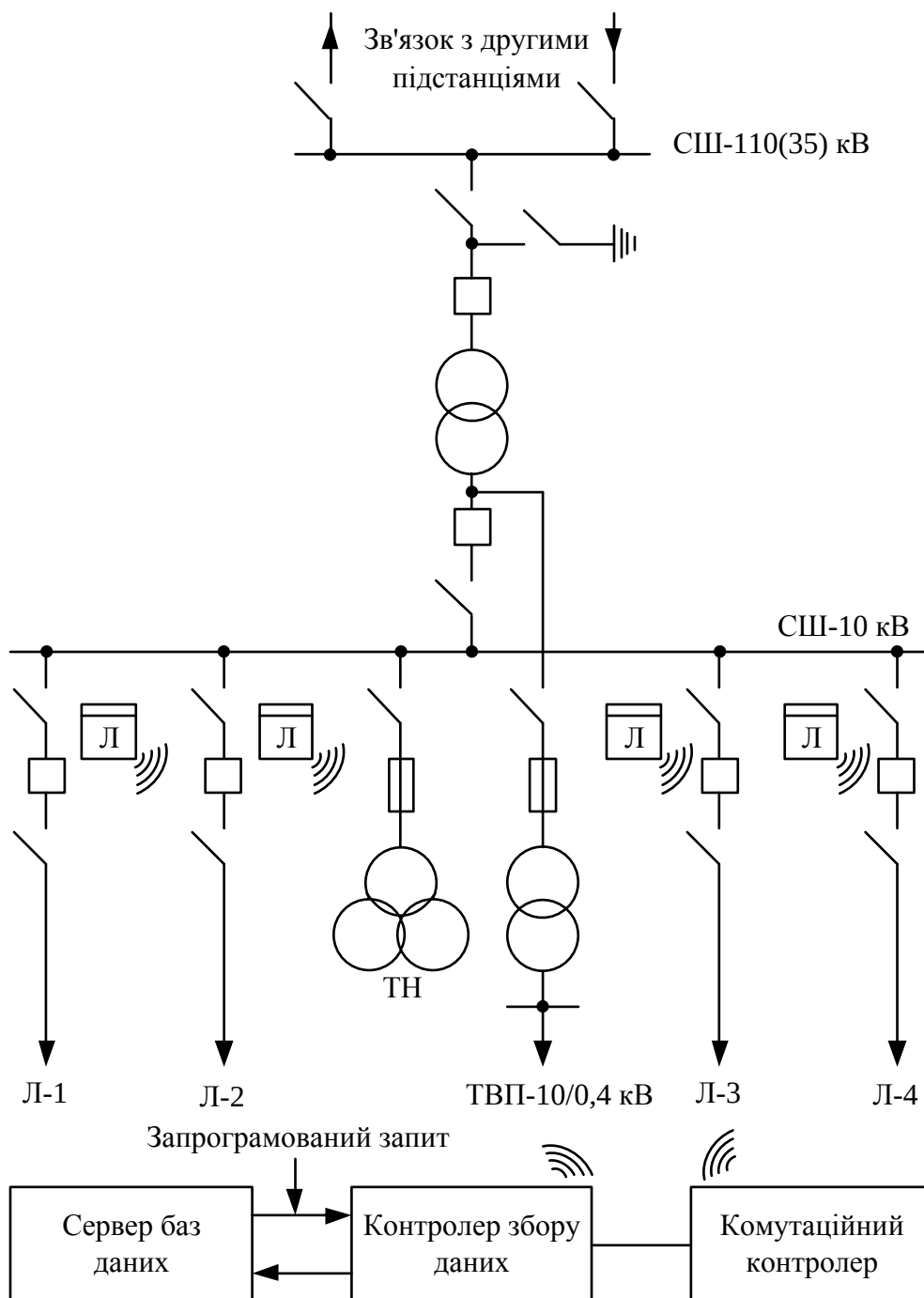


Схема функціонування АСКОЕ при дистанційному зборі даних (інформації)

База даних щодо фактичного споживання електроенергії повинна доповнюватися фактичною середньодобовою температурою в районі електроспоживання та порядковим номером днів тижня (наприклад, понеділок – 1, вівторок – 2, ..., неділя – 7). Фактична середньодобова температура використовується для вибору інформації із бази щодо прогнозної температури, а номери днів тижня – для поділу на робочі і вихідні дні. Фактичну та прогнозну температуру в районі електроспоживання можна отримувати у відділеннях Гідрометцентру України.

Прогнозування рекомендується виконувати за допомогою регресійних моделей, наприклад найпростішої однофакторної лінійної регресії, в якій визначальним фактором є середньодобова температура, а як досліджуваний фактор – споживання електроенергії.

Залежність споживання електроенергії від температури навколишнього середовища в районі споживання є функцією лінійної регресії:

$$y_t = a_0 + a_1 x_t,$$

де x – визначальний фактор (середньодобова температура); y – досліджуваний фактор (показник споживання електроенергії); t – індекс інтервалу; a_0, a_1 – коефіцієнти регресії.

Якщо x_t – статистичний ряд фактичної температури ($t_1^\circ, t_2^\circ, t_3^\circ, \dots, t_n^\circ$), а y_t – статистичний ряд споживання електроенергії, елементи якого відповідають елементам статистичного ряду фактичної температури ($E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$), то функція лінійної регресії матиме вигляд:

$$E_t = a_0 + a_1 t_t^\circ.$$

Результати досліджень. Порядок вирішення задачі:

1) скласти функцію суми квадратів повних відхилень

$$F = \sum_{t=1}^n \left[\overset{*}{E}_t - a_0 - a_1 \cdot t_t^\circ \right]^2,$$

де $\overset{*}{E}_t$ – звітні дані щодо споживання електроенергії; t_t° – фактичні дані щодо температури, яким відповідають звітні дані споживання;

2) продиференціювати функцію F за невідомими a_0 і a_1 ;

3) прирівняти похідні нулю.

Після ряду перетворень отримаємо систему двох рівнянь з двома невідомими:

$$\begin{aligned} na_0 + a_1 \sum_{t=1}^n t_t^\circ &= \sum_{t=1}^n \overset{*}{E}_t; \\ a_0 \sum_{t=1}^n t_t^\circ + a_1 \sum_{t=1}^n (t_t^\circ)^2 &= \sum_{t=1}^n t_t^\circ \overset{*}{E}_t, \end{aligned}$$

де n – кількість елементів статистичних рядів по фактичній температурі t_t°

та відповідно споживанню електроенергії $\overset{*}{E}_t$.

Після розрахунку відповідних сум та вирішенні системи двох лінійних рівнянь з двома невідомими визначаємо коефіцієнт регресії a_0 і a_1 та отримуємо рівняння:

$$E = a_0 + a_1 t^\circ,$$

з цифровими значеннями відповідних коефіцієнтів.

Якщо у це рівняння поставити прогнозну температура на наступну добу величина E буде прогнозним споживанням електроенергії на годину наступної доби, якій відповідають статистичні ряди. Формування

статистичних рядів ретроспективних даних щодо споживання і температури виконується за прогновною температурою. При цьому для підвищення надійності прогнозування споживання електроенергії дані ретроспективної температури не повинні відхилятися від прогносної більше ніж $\pm 1^{\circ}\text{C}$ або $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Похибка прогнозування зменшується при збільшенні кількості елементів у статистичних рядах. Якщо кількість елементів у статистичних рядах менше 20 – 30 (відповідно відхиленню ретроспективної температури $\pm 1^{\circ}\text{C}$ або $\pm 2^{\circ}\text{C}$) прогнозне споживання можна вважати далеким від необхідного для використання.

Прогнозування споживання електроенергії на підстанціях за даними АСКОВ можна виконувати як по усіх годинах наступної доби так і за окремі характерні години (на вимогу) з врахуванням днів тижня (робочі чи вихідні). За необхідності можливе коригування прогнозних величин згідно з тенденцією зміни споживання електроенергії за попередні 3 – 5 днів.

Значна кількість даних, які необхідно використовувати при запропонованому прогнозуванні, вимагає розробки спеціального програмного забезпечення.

Висновки

Впровадження на підстанціях 110(35)/10 кВ АСКОВ з лічильниками активної і реактивної енергії дає можливість формувати бази даних щодо графіків погодинного добового споживання електроенергії по відгалуженнях електричної мережі нижчого рівня напруги. Така інформація (як потоки ретроспективних даних) може використовуватися для прогнозування навантаження вказаних підстанцій з наступним використанням результатів прогнозування для розрахунків та управління режимами електричних мереж вищого рівня напруги. За наявності аналогічних АСКОВ на споживчих ТП-10(6)/0,4 кВ дозволить виконувати прогнозування навантаження вказаних ТП і проводити розрахунки та управління режимами мереж нижчого рівня напруги. Особливо актуальною така постановка задачі є за наявності в таких мережах джерел розподіленої генерації.

Для прогнозування навантаження підстанцій можна рекомендувати достатньо постійний та ефективний для обробки потоків ретроспективної інформації щодо визначальних та досліджуваних факторів метод регресійного аналізу, наприклад однофакторну лінійну регресійну залежність.

Список літератури

1. Синьков В.М. Математические задачи сельской электрификации / Синьков В.М., Пересыпкина С.И., Филиппов Н.М. – К.: Вища шк., 1978. – 288 с.
2. Щербина Ю.В. Автоматизация управления технологическим расходом и потреблением электроэнергии / Щербина Ю.В., Лепорский В.Д., Жмурко В.А. – К.: Техніка, 1984. – 113 с.
3. Щербина Ю.В. Методические указания по анализу и планированию технологического расхода энергии в электрических сетях / Ю.В. Щербина, В.А.Гулевич. – К.: КПИ, 1981. – 103 с.

Предложено использование потоков информации функционирования автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), внедренных на подстанциях напряжением 110(35)/10 кВ, для прогнозирования электрических нагрузок подстанций в процессе их эксплуатации.

Дистанционный сбор информации, суточные почасовые графики, базы данных, прогнозирование, регрессионная зависимость, статистические ряды, фактическая и прогнозная температура, ретроспективная и перспективная нагрузка.

Supposed to use the flow of information Automatic system of electrical energy record and control functioning embedded in substations with voltage of 110 (35) / 10 kV, for forecasting electrical loads substations during their operation.

Remote sensing of information, per diem and the hourly graphics, databases, forecasting, regression dependence, statistical series, the actual and forecasted temperature, retrospective and prospective load.

УДК 621.327.539

ВПЛИВ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКРЕБКОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

***В.Ю. Рамш, кандидат технічних наук
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

Проведено дослідження впливу несиметрії напруг на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики скребкових транспортерів. Встановлено залежності продуктивності транспортера та втрат потужності від коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю.

Скребковий транспортер, електропривод, несиметрія напруг, продуктивність, втрати потужності.

Несиметрія напруг несприятливо позначається на роботі і терміні служби асинхронних двигунів. Внаслідок несиметрії напруг зменшується момент асинхронного двигуна та зростають втрати енергії. Струм зворотної послідовності викликає додатковий нагрів ротора і статора, що призводить до швидкого старіння ізоляції і зменшення потужності двигуна.

Внаслідок несиметрії напруг змінюється кутова швидкість двигуна, яка, в свою чергу, обумовлює зміну технологічних та енергетичних характеристик робочих машин [2].

Предложено использование потоков информации функционирования автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), внедренных на подстанциях напряжением 110(35)/10 кВ, для прогнозирования электрических нагрузок подстанций в процессе их эксплуатации.

Дистанционный сбор информации, суточные почасовые графики, базы данных, прогнозирование, регрессионная зависимость, статистические ряды, фактическая и прогнозная температура, ретроспективная и перспективная нагрузка.

Supposed to use the flow of information Automatic system of electrical energy record and control functioning embedded in substations with voltage of 110 (35) / 10 kV, for forecasting electrical loads substations during their operation.

Remote sensing of information, per diem and the hourly graphics, databases, forecasting, regression dependence, statistical series, the actual and forecasted temperature, retrospective and prospective load.

УДК 621.327.539

ВПЛИВ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКРЕБКОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

***В.Ю. Рамш, кандидат технічних наук
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

Проведено дослідження впливу несиметрії напруг на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики скребкових транспортерів. Встановлено залежності продуктивності транспортера та втрат потужності від коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю.

Скребковий транспортер, електропривод, несиметрія напруг, продуктивність, втрати потужності.

Несиметрія напруг несприятливо позначається на роботі і терміні служби асинхронних двигунів. Внаслідок несиметрії напруг зменшується момент асинхронного двигуна та зростають втрати енергії. Струм зворотної послідовності викликає додатковий нагрів ротора і статора, що призводить до швидкого старіння ізоляції і зменшення потужності двигуна.

Внаслідок несиметрії напруг змінюється кутова швидкість двигуна, яка, в свою чергу, обумовлює зміну технологічних та енергетичних характеристик робочих машин [2].

Мета досліджень – встановлення впливу несиметрії напруг на технологічні та енергетичні характеристики скребкових транспортерів.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз зміни кутової швидкості електроприводів скребкових транспортерів та втрат енергії при несиметрії напруг проводився з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей асинхронних електродвигунів, приводних характеристик робочих машин і механізмів, енергетики усталених режимів електроприводів та застосуванням математичного моделювання.

При експериментальних дослідженнях в одну із фаз статора електродвигуна вмикали реостат. Напругу вимірювали вольтметрами у кожній фазі двигуна. За показами вольтметрів визначали коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю.

Експериментально визначали кутову швидкість і продуктивність скребкового транспортера ТС-40С при різних значеннях коефіцієнта несиметрії напруг та визначали втрати потужності.

Результати досліджень. При несиметрії напруг внаслідок дії напруги зворотної послідовності зменшується момент двигуна і змінюється жорсткість механічної характеристики. Оскільки двигун працює на робочій ділянці механічної характеристики, то [1]

$$M_{\partial} = \beta_{\partialнс} (\omega_0 - \omega), \quad (1)$$

де M_{∂} – момент двигуна, Н·м; $\beta_{\partialнс}$ – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при несиметрії напруг, Н·м·с; ω_0 – синхронна кутова швидкість, с⁻¹; ω – задана кутова швидкість, с⁻¹.

Механічна характеристика скребкового транспортера описується рівнянням [2]:

$$M_c = M_{сн}, \quad (2)$$

де M_c – момент статичних опорів робочої машини при заданій кутовій швидкості, Н·м; $M_{сн}$ – момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості, Н·м.

В усталеному режимі роботи

$$\beta_{\partialнс} (\omega_0 - \omega) = M_{сн}, \quad (3)$$

або

$$\beta_{\partialнс} (\omega_0 - \omega_n \omega_*) = \beta_{\partial} (\omega_0 - \omega_n), \quad (4)$$

де $\omega_* = \omega/\omega_n$ – кутова швидкість у відносних одиницях; β_{∂} – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при симетричній напрузі, Н·м·с.

З рівняння (4) після перетворень отримаємо:

$$\omega_* = \frac{\omega_0}{\omega_n} \left(1 - \frac{1}{\beta_{\partialнс*}} \right) + \frac{1}{\beta_{\partialнс*}}, \quad (5)$$

де ω_n – номінальна кутова швидкість двигуна, с⁻¹; $\beta_{\partialнс*} = \beta_{\partialнс} / \beta_{\partial}$ – жорсткість механічної характеристики двигуна у відносних одиницях.

Залежність жорсткості механічної характеристики електродвигуна АИР90L4, який застосовується для привода скребкового транспортера ТС-40С, від коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю описується рівнянням [3]:

$$\beta_{\text{жк}^*} = 1 - 0,057K_{2u}, \quad (6)$$

де K_{2u} – коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю.

Тоді залежність кутової швидкості транспортера від коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю матиме вигляд:

$$\omega_* = \frac{1 - 0,061K_{2u}}{1 - 0,057K_{2u}}. \quad (7)$$

Таким чином, для скребкових транспортерів зміна кутової швидкості обернено пропорційна жорсткості механічної характеристики двигуна. Зростання коефіцієнта несиметрії напруг призводить до зменшення кутової швидкості двигуна.

Оскільки у скребкових транспортерів продуктивність прямо пропорційна кутовій швидкості

$$Q_* = \omega_*, \quad (8)$$

то для транспортера ТС-40С залежність продуктивності від коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю матиме вигляд (рис. 1):

$$Q_* = \frac{1 - 0,061K_{2u}}{1 - 0,057K_{2u}}. \quad (9)$$

Несиметрія напруг викликає зміну втрат потужності в двигуні. При цьому постійні втрати змінюються несуттєво, тому можна вважати, що

$$\Delta P_{\text{сис}} \approx \Delta P_c, \quad (10)$$

де $\Delta P_{\text{сис}}$ – постійні втрати потужності при несиметрії напруг, Вт; ΔP_c – постійні втрати при симетричній напрузі, Вт.

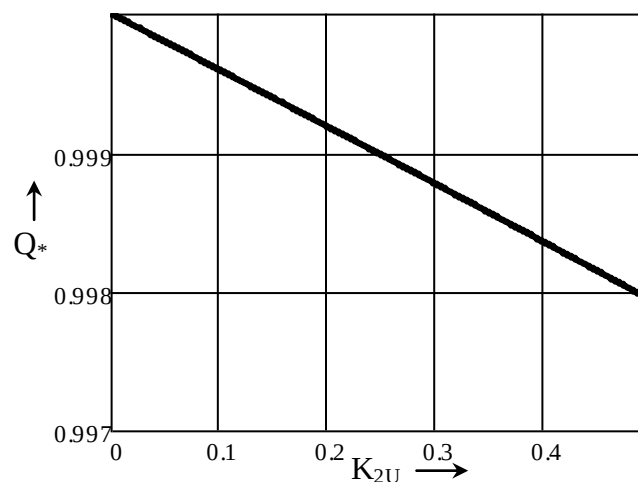


Рис. 1. Залежність продуктивності транспортера ТС-40С від коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю

Змінні втрати потужності в асинхронному двигуні визначаються за формулою [1]:

$$\Delta P_v = \Delta P_{v2} + \Delta P_{v1} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) M(\omega_0 - \omega), \quad (11)$$

де ΔP_{v2} , ΔP_{v1} – змінні втрати потужності в колах ротора і статора, Вт; R_1 – активний опір обмотки ротора, Ом; R_2' – опір обмотки ротора, зведений до обмотки статора, Ом; M – момент двигуна, Н·м; ω_0 – синхронна кутова швидкість, с⁻¹.

У скребкового транспортера момент статичних опорів робочої машини не залежить від кутової швидкості, тобто $M_c = \text{const}$. Тоді вираз (11) при несиметрії напруг запишеться у вигляді:

$$\Delta P_v = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \frac{M_c^2}{\beta_{\text{днс}}}, \quad (12)$$

або

$$\Delta P_v = \frac{\Delta P_{\text{вн}}}{\beta_{\text{днс}*}}. \quad (13)$$

Тоді загальні втрати потужності в асинхронному електродвигуні при несиметрії напруг

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_v = \Delta P_{\text{вн}} \left(\alpha + \frac{1}{\beta_{\text{днс}*}} \right). \quad (14)$$

Отже, при несиметрії напруг втрати в двигуні зростають, оскільки зменшується коефіцієнт жорсткості механічної характеристики двигуна.

Для скребкового транспортера ТС-40С залежність втрат потужності від коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю має вигляд (рис. 2):

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_v = \Delta P_{\text{вн}} \left(\alpha + \frac{1}{1 - 0,057 K_{2u}} \right). \quad (15)$$

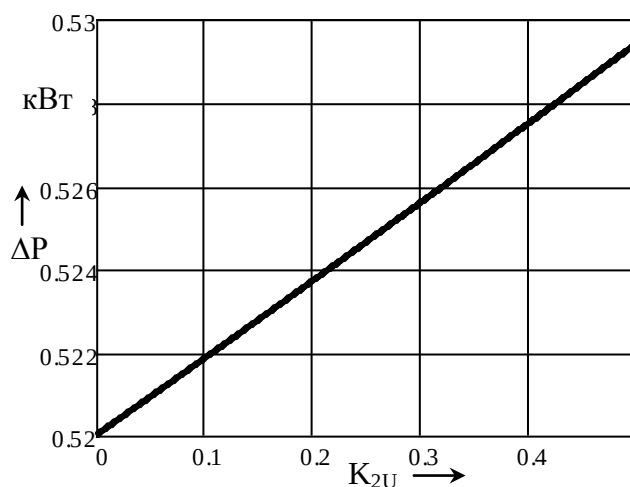


Рис. 2. Залежність втрат потужності від коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю для транспортера ТС-40С

Як впливає із наведеної залежності, зростання коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю викликає збільшення втрат енергії в електродвигуні.

Висновки

Несиметрія напруг призводить до зменшення жорсткості механічної характеристики електродвигуна, зниження кутової швидкості та продуктивності скребкових транспортерів. При цьому зростають втрати енергії в електродвигуні.

Список літератури

1. Електропривод / [Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І. та ін.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
2. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / [Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М. та ін.]; за ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.
3. Синявський О.Ю. Вплив несиметрії напруг на кутову швидкість асинхронних електроприводів / О.Ю. Синявський, В.В. Савченко // Міжвідомчий тематичний науковий збірник "Механізація та електрифікація сільського господарства". – Глеваха: ННЦ "ІМЕСГ", 2013. – Вип. 97, т. 2 – С. 228–233.

Проведено исследование влияния несимметрии напряжений на угловую скорость, технологические и энергетические характеристики скребковых транспортеров. Установлены зависимости производительности транспортера и потерь мощности от коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности.

Скребокый транспортер, електропривод, несиметрия напругий, производительность, потери мощности.

The studies of effect of voltage unbalance on the angular speed, technological and energy characteristics of conveyor are carried out. The dependences of the conveying capacity and power loss coefficient of voltage unbalance on the reverse sequence are established.

Conveyor, electric drive, voltage unbalance, performance, power loss.

ОБГРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО СПОСОБУ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

А.П. Левчук, аспірант*

Розглянуто проблему енергоефективного живлення електротехнологічних систем очищення водних розчинів на прикладі виробництва гіпохлориту натрію для знезараження води. Встановлено недоліки традиційних систем живлення електротехнологічних систем для очищення води та запропоновано шляхи покращення ефективності їх роботи на засадах оптимізації вибору параметрів імпульсно-струмових режимів електролізу з врахуванням значення рН. Проведено експериментальні дослідження енергоефективного способу живлення систем очищення водних розчинів.

Система живлення, очищення води, рН, електроліз, імпульсний струм, форма імпульсу, ефективність імпульсних режимів.

Агропромисловий комплекс (АПК) є одним з найбільших водокористувачів [1,2,8]. Електротехнологічні системи очищення водних розчинів ефективно застосовуються в водозабезпеченні потреб АПК. Враховуючи зростаючі вимоги до витрат електроенергії сучасних електротехнологічних систем очищення водних розчинів (далі «води»), важливим завданням є досягнення покращення їх енергоефективності. Одним із найдоступніших методів очищення води для АПК є електрохімічний, оскільки за рахунок перебігу електрохімічних процесів можливим є не тільки видалення забруднюючих речовин з води, а й її знезараження. Електрохімічне очищення води в більшості випадків є найрезультативнішим в порівнянні з іншими методами (реагентними) тощо.

Визначальним елементом собівартості такого методу очистки води є витрати електроенергії, які залежать від параметрів роботи системи джерела живлення електролізу. У зв'язку з цим для досягнення ефективного застосування електрохімічних методів очищення води доцільно дослідити аналогічні системи живлення електролізу з метою удосконалення їх в напрямку оптимізації параметрів та вибору відповідних режимів живлення.

З джерела [3] відомо, що найбільше впливає на електроживлення в технологічному процесі електролізу води імпульсний режим струму (імпульсний електроліз), саморегулююча модуляція якого є перспективним напрямом підвищення енергоефективності процесів

* Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент Ф.І. Гончаров

очищення води. Застосування саморегуючих імпульсно-струмових режимів електролізу для очищення води в АПК нині є маловивченим заходом адаптації електротехнологічних систем до некерованих природно–техногенних факторів, які визначають некеровані властивості води на вході в систему очищення.

Відомі електротехнологічні системи живлення електродів електрохімічного виробництва включають джерела живлення, які використовують встановлені оператором (імпульсні) режими подачі струму живлення процесу електролізу з можливістю зміни оператором параметрів і форми струму живлення [4,5]. Такі конструкції електротехнологічних систем розроблялися для отримання конкретного кінцевого продукту в сталих умовах. Це пояснює існуючий нині широкий спектр конструктивних рішень електротехнологічних систем очищення води, особливостей типів, видів та їх призначень.

Враховуючи умови використання зазначених вище систем в АПК, коли аномальні зміни природно-техногенних факторів призводять до частих нештатних техніко-технологічних відхилень умов їх роботи, які визначені непрогнозованим надходженням забруднюючих речовин із вхідною водою, потрібно очищення такої води проводити іншими системами з нестандартними методами забезпечення режиму їх живлення. Математичне моделювання таких процесів є складним. Відомі теоретичні розв'язання аналогічних задач не можуть мати коректного застосування для багатофакторних і багатокритеріальних нелінійних процесів змін вхідної води протягом року. Реалізація їх на практиці вимагає пошуку універсальних технічних рішень, які будуть враховувати зазначену некоректність теоретично отриманих параметрів.

Як відомо з теоретичної електрохімії параметри електролізу залежать від гідродинамічного режиму води в міжелектродному просторі та обсягів вмісту забруднюючих речовин у початковій воді. Концентрації складових речовин у воді визначають її опір в міжелектродному просторі, що в свою чергу визначає споживання електроенергії. З відомих параметрів роботи системи живлення електротехнологічних систем очищення води до розгляду виберемо вісім чинників: температура, якісний зміст води, відстань між електродами, площа електродів, струм, напруга, форма сигналу струму та напруги, pH.

Максимальна енергоефективність можлива при забезпеченні в міжелектродному просторі сталих заданих параметрів, і як головного визначального – щільності струму, який змінюється відповідно до параметрів вхідної води, pH тощо. В роботі А.М. Озерова висвітлено вплив імпульсного струму та зміни pH приелектродного простору, що свідчить про взаємовплив імпульсного режиму на pH [7]. Тому, припустимо можливий зворотний вплив pH на щільність струму, механізм розряду та масопереносу при використанні імпульсного струму, особливо при зміні форми сигналу, як самого ефективного показника для технологічного процесу саморегулювання. Враховуючи перспективні системи очищення води, в яких система керування базується на

показнику рН, доцільно припустити важливість більш глибокого вивчення взаємозв'язку рН з роботою системи живлення [6].

Для вивчення можливих взаємозв'язків цієї теорії та енергоефективності систем очищення води використаємо експерименти з отриманням найперспективнішого знезаражуючого розчину – гіпохлориту натрію [9].

Мета досліджень – експериментальний пошук енергоефективних параметрів імпульсного струму з урахуванням впливу основних технологічних параметрів.

Матеріали та методика досліджень. Базовий об'єкт дослідження – процес електросинтезу перспективного знезаражуючого агента – гіпохлориту натрію.

Гіпохлорит натрію отримували електролізом розчину хлориду натрію концентрацією 100 г/л (1,7 М). Електроліт готували розчиненням солі NaCl марки х.ч. в дистильованій воді. Схему дослідної установки зображено на рис. 1. Досліди проводили у циліндричній скляній комірці без розділення катодного та анодного просторів з робочим об'ємом електроліту 100 см³ та плоско-паралельними прямокутними електродами однакової площі. Як анод для окиснення іонів хлору використовували ОРТА, протиелектродом – катодом – була нержавіюча сталь. Відстань між електродами становила 0,7 см, робоча площа поверхні катода й анода – 0,194 дм².

Експерименти з одержання гіпохлориту натрію проводили в режимі постійного або імпульсного струму густиною 5 А/дм² з використанням джерела живлення АТН-1535 або імпульсного потенціостата ПІ-50. Відповідна робоча сила струму була 0,97 А.

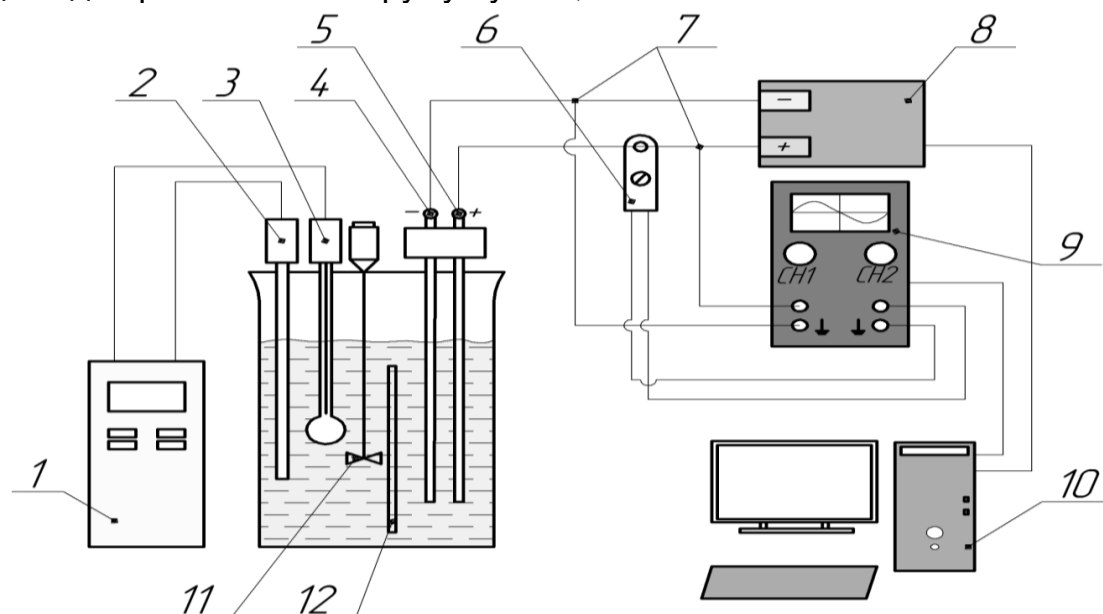


Рис.1. Схема лабораторної установки для електролізу:

1 – рН-метр (рН-150МИ); 2 – термодатчик рН-метра; 3 – комбінований скляний електрод рН-метра; 4 – катод з нержавіючої сталі; 5 – анод з

ОРТА; 6 – струмовий адаптер АТА-2504 для вимірювання струму; 7 – датчики вимірювання напруги на електродах; 8 – джерело струму (або джерело живлення АТН-1535, або потенціостат ПИ-50-1.1, приєднаний за двоелектродною схемою); 9 – ПК ; 10 – осцилограф двоканальний цифровий RIGOL DS5062M; 11 – пристрій для перемішування; 12 – діелектрична перегородка

Імпульсні режими електролізу задавали так, щоб середня густина струму i_c осадження була однаковою в усіх дослідах і відповідала густині струму осадження в стаціонарному режимі (5 А/дм²). Використовували імпульси прямокутної та трикутної форм.

Трикутно-імпульсні режими моделювали так, щоб максимальний струм $i_{(max)}$ імпульсу в 2 рази перевищував середню густина струму, тоді за один імпульс витрачається кількість електрики, як і за такий же часовий проміжок стаціонарного електроосадження.

При моделюванні прямокутно-імпульсного режиму поперемінно задавали імпульси тривалістю t_i та густиною $i_{(max)}$ і паузи ($i=0$) тривалістю t_n . У цих випадках густину струму в імпульсі розраховують за формулою:

$$i_{(max)} = i_c \cdot (t_i + t_n) / t_i . \quad (1)$$

У випадку $t_i = t_n$ струм в імпульсі в 2 рази перевищує середню густину струму, тоді за один період (імпульс плюс пауза) витратиться така ж кількість електрики, як за такий же часовий проміжок стаціонарного електроосадження.

Осцилограми струмових режимів фіксували на цифровому осцилографі RIGOL DS5062M та реєструвалися на ПК за допомогою програмного забезпечення Ultrascope for DS5000 Series. Напругу вимірювали та фіксували за допомогою стандартного конектора на першому каналі осцилографа CH1 (масштаб по першому каналу 2 В/1 см). Струм вимірювали та фіксували за допомогою струмового адаптера АТА-2504 на другому каналі осцилографа CH2 (масштаб по другому каналі осцилографа 500 мВ/см у перерахунку на дійсне значення по струму 5 А/см). В разі електроосадження за допомогою потенціостата ПИ-50 напругу вимірювали вбудованим високоомним вольтметром потенціостата.

Тривалість експериментів становила 60 та 100 хв. У процесі дослідів здійснювали фіксацію значень напруги, рН розчину та концентрацію утвореного гіпохлориту натрію. Концентрацію гіпохлориту натрію визначали йодометричним титруванням. Для цього впродовж дослідів періодично (кожні 15 – 20 хв) перемішували електроліт і відбирали пробу об'ємом 1 см³, загалом 5 – 7 проб. Останню пробу відбирали після закінчення дослідів. Для кожного режиму осадження робили, як мінімум, 2 паралельні дослідів.

Пробу електроліту переносили в конічну колбу на 100 мл. Доливали 5 см³ льодяної оцтової кислоти та 5 см³ розчину КJ (10 %), закривали колбу корком і залишали на 10–15 хв у темному місці для завершення реакції. Далі розчин титрували 0,05 М розчином тіосульфату натрію

Na₂S₂O₃ до переходу коричневого (або жовтого при малому вмісті гіпохлориту) забарвлення до світло-жовтого. Додавали 1 см³ розчину крохмалю і продовжували титрування до знебарвлення розчину.

Концентрацію гіпохлориту ClO⁻ визначали за формулою:

$$C_{Na_2S_2O_3} = \frac{V_{Na_2S_2O_3} \cdot 0,0018625 \cdot 1000}{V_{проби}}, \quad (2)$$

де $V_{Na_2S_2O_3}$ – об'єм 0,05 М розчину Na₂S₂O₃, який пішов на титрування, см³; 0,00186 – маса гіпохлориту, еквівалентна 1 см³ розчину 0,05 М Na₂S₂O₃; $V_{проби}$ – об'єм електроліту, який взяли для аналізу (1 см³).

Результати досліджень. Відомо, що максимальна енергоефективність можлива при забезпеченні відповідної форми та частоти імпульсного струму, які можуть змінюватися відповідно до параметрів вхідного розчину. За даними джерела [3] на перебіг електрохімічних реакцій найбільше впливають частоти імпульсного струму до 10 Гц, а форми сигналу до 5 Гц.

Основним, якісним, параметром робочого розчину є рН. Адже, саме рН головним чином впливає на механізм перебігу первинних електрохімічних та вторинних хімічних перетворень та може визначати ефективний вихід продукту.

Тому, припустимо можливий вплив, саме, рН на енергоефективність імпульсних режимів електролізу з певною формою імпульсу струму.

Для вивчення можливих взаємозв'язків енергоефективності систем очищення води з основними технологічними параметрами процесу здійснено експериментальне дослідження з отриманням одного з найперспективніших знезаражуючих агентів – гіпохлориту натрію.

У процесі електросинтезу гіпохлориту натрію на катоді відбувається відновлення іонів гідроксонію H₃O⁺ (в кислих середовищах) або води (в нейтральних та лужних розчинах) з виділенням водню за реакціями:



У результаті цих реакцій відбувається підлучування розчину.

На аноді відбуваються паралельні реакції окиснення води або іонів гідроксилу з виділенням кисню, а також іонів хлору. На аноді з ОРТА перенапряга виділення кисню є більшою, ніж окиснення хлорид-іонів. Тому, переважним є саме останній процес.

Основним продуктом окиснення аніонів Cl⁻ є молекулярний хлор:



Подальше розчинення хлору у воді призводить до утворення соляної HCl та хлорноватистої HClO кислот. Остання дисоціює з утворенням аніону гіпохлориту ClO⁻

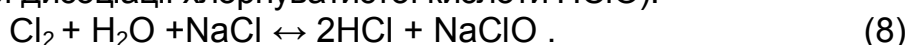


Чим більшим є показник рН електроліту, тим вищим є ступінь дисоціації хлорноватистої кислоти. При рН 8,5 – 9 дисоціація відбувається практично повністю. Відомо, що хлорноватиста кислота існує в розчинах у

межах рН 4 – 6,5, але вона є нестійкою, поступово розкладається навіть у розведених розчинах. Хлорнуватиста кислота є сильним окиснювачем, як і її солі, зокрема гіпохлорити натрію, кальцію, магнію.

З літературних даних відомо, що основними продуктами електролізу розчину хлориду натрію є молекулярний хлор, гіпохлорит та хлорат натрію (NaClO та NaClO_3). У процесі електролізу утворені в анодному просторі сполуки здатні знову відновлюватися на катоді, якщо катодний та анодний простір не розділені мембраною.

Таким чином, синтез гіпохлориту натрію електрохімічним окисненням хлористого натрію зводиться, головним чином, до реакцій (5) – (7). Максимальна кількість гіпохлориту, утвореного при розчиненні молекулярного хлору, може бути розрахованою за довідковими даними з розчинності хлору (табл. 1). Для цього використаємо сумарне рівняння за участю хлориду натрію (в разі повної дисоціації хлорнуватистої кислоти HClO):



З рівняння виходить, що розчинення одного моля хлору (70,9г) відповідає утворенню 1 моля гіпохлориту натрію – 74,44г. Розрахункові дані введені в табл. 1, але слід зауважити, що в розчині хлориду натрію концентрація гіпохлориту буде меншою, ніж у воді, оскільки рівновага в рівнянні (6) зміщується вліво за присутності хлорид-іонів, тобто розчинність хлору падає. Крім того, в кислих, нейтральних та слаболужних розчинах рівновага реакції (7) також зміщується вліво, що також зменшує концентрації гіпохлориту. Отже, якщо гіпохлорит утворюється розчиненням хлору, реальна максимальна концентрація його повинна бути істотно меншою, ніж розрахункові величини.

1. Розчинність хлору у воді і розрахункова кількість утвореного гіпохлориту натрію

Температура води, °С	Розчинність хлору, г/100г	Концентрація іона гіпохлориту, г/дм ³	Розрахункова максимальна концентрація гіпохлориту натрію, г/дм ³
0	1,48	10,74	15,54
20	0,96	6,97	10,08
25	0,65	4,72	6,83
40	0,46	3,34	4,83
60	0,38	2,76	3,99
80	0,22	1,6	2,31

Реакції (5)–(10) ведуть до зростання кислотності розчину, тобто, якщо катодна реакція викликає підлужування, то анодна – підкислення розчину. Проте слід зауважити, що лише невелика частка молекулярного хлору бере участь у цих реакціях, тоді як катодна реакція перебігає з високим виходом за струмом. Тому, за відсутності мембрани слід очікувати сумарне підвищення рН в об'ємі розчину.

З метою дослідження впливу форми імпульсу на швидкість утворення гіпохлориту натрію запропоновано три основні форми імпульсу, що найпростіше реалізуються (рис.2): прямокутна, трикутна з наростаючим

прямим фронтом струму, трикутна зі спадаючим зворотним фронтом. Швидкість наростання або спадання імпульсу становила 3,88 А/с.

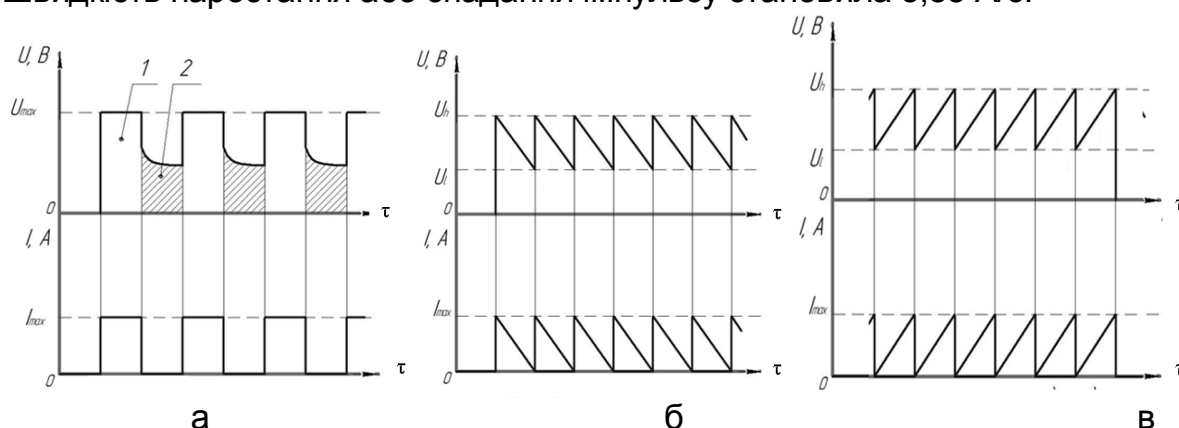


Рис.2. Схематичне зображення імпульсних режимів електролізу:

а – з імпульсами прямокутної форми та паузами $t_{\text{паузи}} = t_{\text{імпульсу}}$ (1 – імпульс; 2 – пауза); б – з імпульсами трикутної форми зі зворотним фронтом спадання струму без пауз; в – з імпульсами трикутної форми з прямим фронтом наростання струму без пауз

З метою вибору частоти імпульсного електролізу для синтезу NaClO проведено серію дослідів при початковому рН 7 розчину. Електроліз здійснили в стаціонарному режимі при сталій густині струму 5 А/дм² та в режимі –прямокутний імпульс–пауза, з тією ж середньою густиною струму, що і в стаціонарному режимі. Попередні досліді показали, що зміна співвідношення тривалостей t_i / t_n мало впливає на хід процесу.

Зміна в часі концентрації гіпохлориту при використанні прямокутних імпульсів наведена на рис.3.

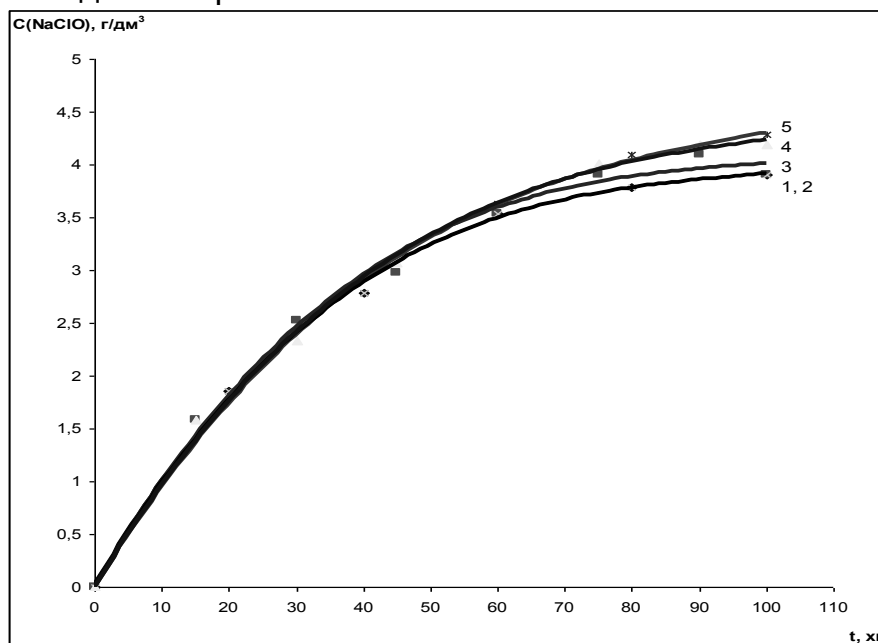


Рис.3. Зміна в часі концентрації гіпохлориту натрію при стаціонарному (1) та імпульсному (2–5) електролізі з прямокутними імпульсами частотою, Гц: 2 – 1; 3 – 8; 4 – 2; 5 – 1,5. Співвідношення t_i / t_n : 1 (2,4,5); 0,2 (3)

Як видно з рис.3, використання імпульсного струму призводить до певного прискорення синтезу гіпохлориту. Найшвидше зростання концентрації гіпохлориту відбувається за частоти імпульсного електролізу 1,5 Гц.

Порівняння кількості реально отриманого гіпохлориту з теоретичними даними табл. 1 (температура електроліту в кінці дослідів становили приблизно 35 °С) підтверджує припущення, що основним механізмом його утворення є розчинення молекулярного хлору. Додатковими причинами дещо меншої концентрації у порівнянні з розрахунками є відновлення гіпохлориту на катоді, а також подальше окиснення його до хлорату на аноді:



В об'ємі розчину також можливі реакції розкладання гіпохлориту, наприклад диспропорціювання:



Тим не менш, постійне надходження в розчин молекулярного хлору наближує концентрацію гіпохлориту до теоретичної величини.

У нейтральному розчині було також випробувано трикутно-імпульсні режими імпульсного електролізу. Порівняння залежності зміни в часі концентрації гіпохлориту натрію при використанні трьох запропонованих режимів імпульсного електролізу показано на рис.4.

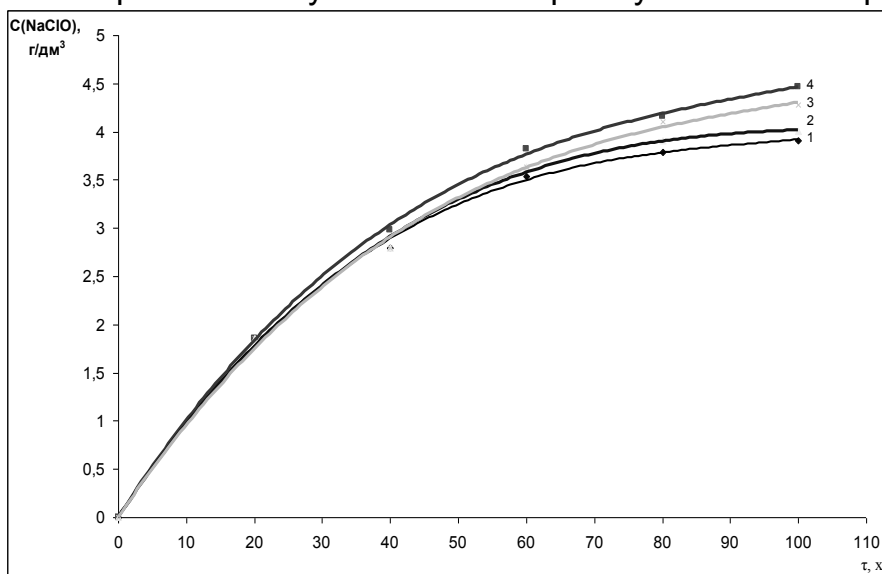


Рис.4. Зміна концентрації NaClO в часі при середній густині струму 5 А/дм²:

1 – стаціонарний режим; 2 – трикутно-імпульсний режим зі зворотнім фронтом спадання струму без пауз; 3 – прямокутно-імпульсний режим з паузами $t_i = t_n$; 4 – трикутно-імпульсний режим з прямим фронтом зростання струму без пауз.

Частота імпульсних режимів електролізу 1,5 Гц

Як видно з рис.4, найбільша інтенсифікація процесу електросинтезу NaClO досягається при використанні трикутно-імпульсного режиму з прямим фронтом зростання струму без пауз. У першому наближенні отриманий результат можна пояснити найінтенсивнішим підключуванням

розчину в процесі електролізу, в цьому випадку рН зростає від 7 до 12. У той самий час при використанні інших режимів електролізу зростання рН відбувається лише до 10 – 11.

Додатково було здійснено порівняння ефективності імпульсних режимів з трикутною формою імпульсу та з наростаючим фронтом струму для діапазону частот 1 – 2 Гц (рис.5). Найкращі результати отримані при частоті 1,5 Гц. Ця оптимальна частота буде використовуватися для подальших досліджень впливу рН розчинів на ефективність процесу електросинтезу гіпохлориту натрію.

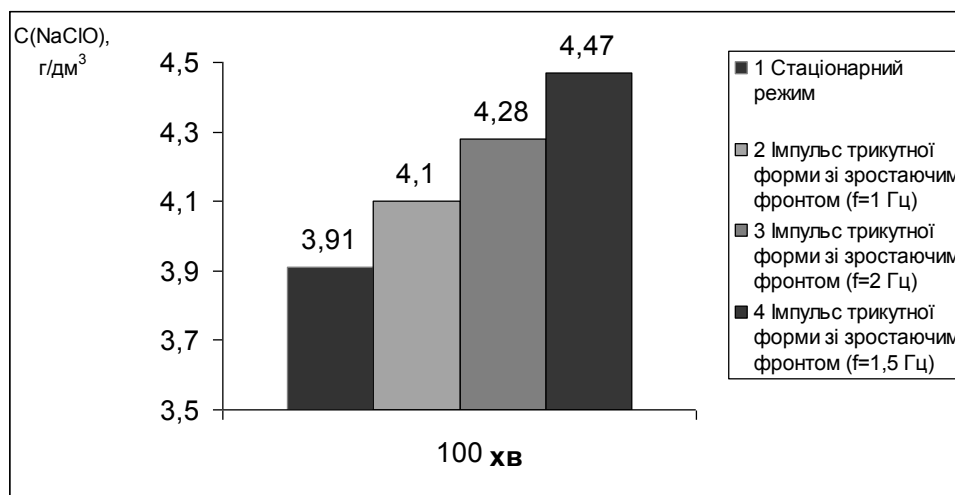
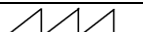


Рис.5. Порівняння ефективності імпульсних режимів з трикутною формою імпульсу та з наростаючим фронтом струму за частотами:
1 – стаціонарний режим; 2 – імпульсний з частотою 1 Гц; 3 – імпульсний з частотою 2 Гц; 4 – імпульсний з частотою 1,5 Гц

Основні технологічні параметри процесу електросинтезу гіпохлориту натрію наведено в табл. 2.

2. Основні технологічні параметри процесу електросинтезу гіпохлориту натрію

Режим електролізу	Частота імпульсного струму, Гц	Початкове рН розчину	Кінцеве рН розчину	Початкове значення температури, °С	Кінцеве значення температури, °С	Напрямок на комірку U, В	Максимальна концентрація гіпохлориту, за 100 хв дослідження г/дм³
Стационарний	-	7,0	9,3	17	28	3,50	3,91
	1,5		10,2			3,20	4,28
			11,8			3,50	4,47
			11,2			3,50	4,01

Отже, як показали експериментальні дослідження, використання імпульсних режимів електролізу дозволяє в певній мірі інтенсифікувати процес електросинтезу гіпохлориту натрію при зменшенні електроспоживання. Крім того, форма імпульсу струму селективно впливає на продуктивність цього процесу при певному початковому значенні рН розчину.

Аналізуючи отримані експериментальні дані застосування електротехнологічних систем очищення води, можна зробити висновок про те, що їх подальше удосконалення доцільно проводити на засадах методології превентивно-профілактичної адаптації.

Висновки

1. Визначено напрям технічного удосконалення систем живлення електролізних процесів очищення води та обґрунтовано основний параметр рН для забезпечення саморегулюючого режиму її живлення.

2. Досліджено вплив частоти імпульсного струму для прямокутно-імпульсних режимів на процес електросинтезу гіпохлориту натрію. Показано, що найбільша інтенсифікація процесу досягається за частоти 1,5 Гц.

3. Виявлено селективний вплив рН розчину на продуктивність процесу електросинтезу гіпохлориту натрію при певній формі імпульсу струму.

4. Показано, що найбільша інтенсифікація процесу (рН=7) досягається при використанні струму з імпульсами трикутної форми з прямим фронтом наростання струму.

5. Враховуючи попередні результати дослідів, перспективним напрямом удосконалення енергоефективних систем живлення електротехнологічних систем очищення води, вважаємо їх розробку на засадах методології превентивно-профілактичної адаптації процесів автоматичної оптимізації вибору параметрів імпульсно-струмових режимів електролізу через головний фактор – форми імпульсу струму, яка використовує за визначаючий параметр рН.

6. У подальшому перспективним напрямом досліджень є визначення впливу параметрів імпульсних режимів електролізу на питомі витрати електроенергії та вивчення інтенсифікації процесу електросинтезу гіпохлориту натрію в умовах відхилення початкового рН від нейтральних значень.

Список літератури

1. Гончаров Ф.І. Способи захисту земельних і водних ресурсів від забруднення техногенного і природного походження: монографія / Ф.І. Гончаров. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2012. – 308 с.
2. Карамбиров Н.А. Сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Карамбиров. – М.: Колос, 1978. – 444 с.
3. Костин Н.А. Импульсный электролиз / Костин Н.А., Кублановский В.С., Заблудовский В.А. – К.: Наука, 1989. – 168 с.

4. Климинник А.Б. Научные основы экологически чистых электрохимических процессов синтеза органических соединений на переменном токе / А.Б. Климинник, Е.Э. Дегтярева. – Тамбов: ТГТУ, 2008. – 116 с.
5. Кудрявцев С.В. Совершенствование технологических параметров установок получения электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания воды / С.В. Кудрявцев. – Новочеркасск: НПИ, 2009. – 34 с.
6. Назарян М.М. Электрокоагуляторы для очистки промышленных стоков / М.М. Назарян, В.Т. Ефимов. – Харьков: Вища шк., 1983. – 144 с.
7. Озеров А.М. Нестационарный электролиз / А.М. Озеров. – Волгоград: Полёт, 1972. – 160 с.
8. Пуганков А.Г. Обеззараживание стоков животноводческих комплексов / А.Г. Пуганков. – М.: Наук. думка, 1986. – 257 с.
9. Якименко Л.М. Электрохимический синтез неорганических соединений / Л.М. Якименко, Г.А. Серышев. – М.: Химия, 1984. – 160 с.

Рассмотрена проблема энергоэффективного питания электро-технологических систем очистки водных растворов на примере производства гипохлорита натрия для обеззараживания воды. Установлены недостатки традиционных систем питания электротехнологических систем для очистки воды и предложены пути повышения эффективности их работы на основе оптимизации выбора параметров импульсно-токовых режимов электролиза с учетом значения pH. Проведены экспериментальные исследования энергоэффективного способа питания систем очистки водных растворов.

Система питания, очистка воды, pH, электролиз, импульсный ток, форма импульса, эффективность импульсных режимов.

The problem of energy efficient power systems electro-cleaning water solutions at the example of the production of sodium hypochlorite to disinfect water. Established shortcomings of traditional power systems electro systems for water treatment and suggested ways to improve their performance on the basis of optimizing the choice of parameters of pulsed-current electrolysis regimes with regard to pH. Experimental study of energy-efficient way of cleaning power of water solutions.

Power system, water treatment, pH, electrolysis, pulsed current, pulse shape, pulse mode efficiency.

ОПТИМІЗАЦІЯ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ ЗА НАЯВНОСТІ ОБМЕЖЕНЬ НА ФУНКЦІЇ ЧУТЛИВОСТІ

Л.А. Панталієнко, кандидат фізико-математичних наук

Ю. Б. Гнучій, доктор фізико-математичних наук

Наведено результати розрахунку областей стійкості для оптимізаційних задач з обмеженою чутливістю. Для лінійних дискретних систем розглянуто постановки задач гарантованої чутливості, що охоплюються алгоритмами практичної стійкості.

Дискретна система, обмежена чутливість, параметри, практична стійкість.

Проблема працездатності системи на реальних режимах стосується низки задач, пов'язаних з аналізом і оцінкою чутливості відносно збурень [4]. Як правило, процес керування реальною системою здійснюється в умовах невизначеності, що обумовлено різними причинами, зокрема наявністю неточно заданих зовнішніх збурень, похибками при виконанні програм керування, похибками у каналі вимірювань тощо. Наслідком цього є певна невідповідність математичної моделі реальному об'єкту, для опису якого вона слугує. Тому при проектуванні реальної системи виникає необхідність враховувати вимоги щодо робастності (стійкості) моделі відносно невизначених факторів [1,2]. Як критерій чутливості часто вибирають динамічні обмеження на функції чутливості, що є кількісною мірою ефективності керування за принципом оберненого зв'язку. Постановки задач з обмеженою чутливістю охоплюються алгоритмами практичної стійкості [1–3] у просторі функцій чутливості.

Мета досліджень — розробка ефективних методів розрахунку областей стійкості дискретних систем для задач з обмеженою та гарантованою чутливістю.

Матеріали та методика досліджень. У роботі застосовуються методи теорії стійкості, чутливості, теорії керування та оптимізації.

Нехай рух об'єкта описується дискретною нелінійною системою рівнянь вигляду

$$x_{i+1} = f_i(x_i, \alpha) \quad (f_i(0,0)=0), \quad i = p_0, p_0+1, \dots, P-1, \quad (1)$$

де α — вектор параметрів вимірності m ; x_i — n -вимірні вектори станів для довільного $p_0 \leq i \leq P$; $f_i(x_i, \alpha)$, $i = p_0, p_0+1, \dots, P-1$ — вектор-функції вимірності n . Припускається, що розв'язок системи (1) існує та єдиний для будь-яких x_{p_0} та усіх значень α з деякої допустимої множини G_α .

Дослідимо систему (1) за наявності початкових умов $x_{p_0} = x_0(\alpha)$, де $x_0(\alpha)$ — неперервно-диференційовані функції вимірності n . Тоді, якщо

праві частини вихідної системи є неперервними разом із частинними похідними по x_i, α ($i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$), то існують вектори функцій чутливості

$$u_i^{(j)} = \frac{\partial x_i(\alpha)}{\partial \alpha_j}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P, \quad \text{причому}$$

$$u_{i+1}^{(j)} = \frac{\partial f_i(x_i, \bar{\alpha})}{\partial x_i} \Big|_{x_i=x_i(\bar{\alpha})} u_i^{(j)} + \frac{\partial f_i(x_i, \bar{\alpha})}{\partial \alpha_j} \Big|_{x_i=x_i(\bar{\alpha})};$$

$$i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1;$$

$$u_{p_0}^{(j)} = \frac{\partial x_{p_0}(\bar{\alpha})}{\partial \alpha_j}, \quad (2)$$

де $\bar{\alpha} \in G_{\alpha} \subset G_{\alpha}$ – деяке розрахункове значення вектора параметрів α ; $\{x_{p_0}(\bar{\alpha}), x_{p_0+1}(\bar{\alpha}), \dots, x_P(\bar{\alpha})\}$ – розрахункова траєкторія, що визначається за системою (1) при $\alpha = \bar{\alpha}$ ($x_i = x_i(\alpha), i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$ – вектори станів системи (1) вимірності n).

Розглянемо задачу мінімізації функціонала від кінцевого стану системи (1) по вектору параметрів α

$$I(\alpha^{(0)}) = \min_{\alpha \in G_{\alpha}} \Phi(x_P(\alpha)) \quad (3)$$

при динамічних обмеженнях на функції чутливості:

$$u_i(\alpha) \in \Gamma_i = \{u_i(\alpha): \left| \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} u_i^{(j)} \right| \leq 1, s = 1, 2, \dots, N_i\}, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P; \quad (4)$$

$$u_i(\alpha) \in \Psi_i = \{u_i(\alpha): \psi^{(i)}(u_i(\alpha)) \leq 1\}, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P. \quad (5)$$

Тут $u_i^*(\alpha) = (u_i^{(1)*}(\alpha), u_i^{(2)*}(\alpha), \dots, u_i^{(m)*}(\alpha))$ – $n \cdot m$ вимірні вектори функцій чутливості; $\psi_i(u_i(\alpha))$ – скалярні неперервно-диференційовані функції; множини Ψ_i опуклі, замкнені та містять нульову точку $u_i = 0$; $l_{si}^{(j)}$, $j = 1, 2, \dots, m$, $s = 1, 2, \dots, N_i$ – n - вимірні вектори, що задають обмеження на функції чутливості.

Для мінімізації функціонала (3) скористаємося методом проекції градієнтів:

$$\alpha^{(k+1)} = P_{G_{\alpha^{(k)}}} \left\{ \alpha^{(k)} - \rho_k \begin{pmatrix} \text{grad}_{x_P}^* \Phi(x_P(\alpha^{(k)})) u_P^{(1)}(\alpha^{(k)}) \\ \dots \\ \text{grad}_{x_P}^* \Phi(x_P(\alpha^{(k)})) u_P^{(m)}(\alpha^{(k)}) \end{pmatrix} \right\}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

де $P_{G_{\alpha^{(k)}}}(\cdot)$ – операція проектування вектора параметрів $\alpha^{(k+1)}$ на множину $G_{\alpha^{(k)}} \subset G_{\alpha}$, ρ_k – крок градієнтного спуску.

Щоб урахувати вимоги (4), (5) на фіксованих $\alpha^{(k)}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, застосуємо алгоритми практичної стійкості [2] у просторі функцій чутливості. З цією метою задамо множину початкових умов у структурному вигляді $G_0 = \left\{ u_{p_0}(\alpha): \sum_{j=1}^m u_{p_0}^{(j)*} B_j u_{p_0}^{(j)} \leq c^2 \right\}$, де B_j , $j = 1, 2, \dots, m$ – відомі додатно визначені квадратні матриці вимірності m . Параметр c ,

залежно від типу обмежень, будемо вибирати згідно із такими нерівностями:

$$c^2 \leq \min_{i=p_0, p_0+1, \dots, P} \min_{s=1, 2, \dots, N_i} \frac{\left(1 - \left| \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} a_{i-1}^{(j)} \right| \right)^2}{\sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} X_{i, p_0} B_j^{-1} X_{i, p_0}^* l_{si}^{(j)}},$$

$$\left| \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} a_{i-1}^{(j)} \right| < 1, \quad s=1, 2, \dots, N_i, \quad i = p_0, p_0+1, \dots, P; \quad (7)$$

$$c^2 \leq \min_{i=p_0, p_0+1, \dots, P} \min_{\bar{u}_i \in \bar{\Psi}_i} \frac{\left[g^{(i)*}(\bar{u}_i)(\bar{u}_i - a_{i-1}) \right]^2}{g^{(i)*}(\bar{u}_i) Q_i^{-1} g^{(i)}(\bar{u}_i)},$$

$$g^{(i)*}(\bar{u}_i)(\bar{u}_i - a_i) > 0, \quad \bar{u}_i \in \bar{\Psi}_i, \quad i = p_0, p_0+1, \dots, P. \quad (8)$$

Тут $g^{(i)}(\bar{u}_i) = \text{grad}_{\bar{u}_i} \psi^{(i)}(\bar{u}_i)$; $a_{i-1}^{(j)} = A_{i-1} A_{i-2} \dots A_{p_0+1} b_{p_0}^{(j)} + A_{i-1} A_{i-2} \dots A_{p_0+2} b_{p_0+1}^{(j)} + \dots + A_{i-1} b_{i-2}^{(j)} + b_{i-1}^{(j)}$;
 $A_i = \frac{\partial f_i(x_i, \bar{\alpha})}{\partial x_i} \Big|_{x_i=x_i(\bar{\alpha})}$; $b_i^{(j)} = \frac{\partial f_i(x_i, \bar{\alpha})}{\partial \alpha_j} \Big|_{x_i=x_i(\bar{\alpha})}$; $a_{i-1}^* = (a_{i-1}^{(1)*}, a_{i-1}^{(2)*}, \dots, a_{i-1}^{(m)*})$ — $n \cdot m$ -

вимірний вектор ($i = p_0, p_0+1, \dots, P-1, j=1, 2, \dots, m$). X_{i, p_0} — фундаментальна матриця розв'язків однорідної системи (2), що задовольняє матричне різницеве рівняння

$$X_{i+1, p_0} = A_i X_{i, p_0}, \quad X_{p_0, p_0} = E, \quad i = p_0, p_0+1, \dots, P-1.$$

Квадратна матриця Q_i^{-1} — вимірності $n \times m$ має вигляд:

$$Q_i^{-1} = \begin{pmatrix} X_{i, p_0} B_1^{-1} X_{i, p_0}^* & 0 & \dots & 0 \\ 0 & X_{i, p_0} B_2^{-1} X_{i, p_0}^* & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & X_{i, p_0} B_m^{-1} X_{i, p_0}^* \end{pmatrix}$$

та обчислюється згідно з рівнянням

$$Q_{i+1}^{(j)-1} = A_i Q_i^{(j)-1} A_i^*, \quad Q_{p_0}^{(j)-1} = B_j^{-1}, \quad i = p_0, p_0+1, \dots, P,$$

де $Q_i^{(j)-1} = X_{i, p_0} B_j^{-1} X_{i, p_0}^*$ ($j=1, 2, \dots, m$), $\bar{\Psi}_i$ — межа опуклої множини Ψ_i .

Отже, обмеження на функції чутливості в ітераційній процедурі (6) будуть справджуватися для кожного фіксованого значення вектора $\alpha^{(k)}$, якщо операцію проектування здійснювати на таку множину:

$$G_{\alpha^{(k)}} = G_{\alpha} \cap \left\{ \alpha : \sum_{j=1}^m \left(\frac{dx_0(\alpha)}{d\alpha_j} \right)^* B_j \frac{dx_0(\alpha)}{d\alpha_j} \leq c^2 \right\}, \quad (9)$$

де стала c задовольняє нерівність (7) або (8) відповідно.

Для того, щоб обмеження на функції чутливості виконувалися для кожного довільного значення α , потрібно будувати множину $G_{\alpha^{(k)}}$ для лінеаризованої системи (1).

Розглянемо спочатку лінійну дискретну систему

$$x_{i+1} = A_i x_i + \Omega_i \alpha, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1, \quad (10)$$

для якої рівняння чутливості мають такий вигляд:

$$u_{i+1}^{(j)} = A_i u_i^{(j)} + \omega_i^{(j)}, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1, \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Тут A_i , Ω_i – сталі матриці вимірності $n \times n$ та $n \times m$ відповідно; $\omega_i^{(j)}$ – n -вимірний вектор, що відповідає j -му стовпцю матриці Ω_i ($i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1$).

Для системи різницевих рівнянь (10) умови стійкості записуються аналогічно (7), (8). Але, на відміну від попереднього випадку, матриці A_i та вектори $\omega_i^{(j)}$, $j = 1, 2, \dots, m$ ($i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1$) є однаковими для всіх розрахункових режимів. Тому відповідні вимоги на функції чутливості будуть виконуватися для довільних α з множини (9).

Цей підхід поширюється на нелінійні системи типу (9). Так, лінеаризуючи систему (1) в околі будь-якого розрахункового руху, наприклад нульового – $x_i = 0$, $\alpha = 0$, $i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$, одержимо лінійну систему з постійно діючими збуреннями

$$x_{i+1} = A_i x_i + \Omega_i \alpha + R_i(x_i, \alpha), \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1,$$

де $A_i = \left\{ \frac{\partial f_i(x_i, \alpha)}{\partial x_i} \right\}_n \Big|_{x_i=0, \alpha=0}$, $\Omega_i = \left\{ \frac{\partial f_i(x_i, \alpha)}{\partial \alpha} \right\}_n \Big|_{x_i=0, \alpha=0}$ – відомі матриці, а $R_i(x_i, \alpha)$ –

вектор-функції вимірності n , що визначають похибку апроксимації ($i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1$).

Критерії стійкості для системи відносно функцій чутливості

$$u_{i+1}^{(j)} = A_i u_i^{(j)} + \omega_i^{(j)} + \frac{\partial R_i(x_i, \alpha)}{\partial \alpha_j}, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1$$

при відомих векторах $\omega_i^{(j)}$ та обмежених збуреннях $\frac{\partial R_i(x_i, \alpha)}{\partial \alpha_j}$ записуються

за аналогією з (7), (8) на підставі алгоритмів практичної стійкості [2,3].

Запропонований підхід можна застосовувати для оцінки області допусків на параметри за наявності обмежень на розкид фазових координат системи [2].

Результати досліджень. Для дискретних параметричних систем здійснено чисельне розв'язання задач обмеженої та гарантованої чутливості методами практичної стійкості.

Висновки

На підставі алгоритмів практичної стійкості для дискретних систем розроблено методи оцінювання областей початкових умов для функцій чутливості, зв'язаних з проектуванням малочутливих систем.

Список літератури

1. Бублик Б.Н. Структурно-параметрическая оптимизация и устойчивость динамики пучков / Бублик Б.Н., Гаращенко Ф.Г., Кириченко Н.Ф. – К.: Наук. думка, 1985. – 304 с.
2. Панталиенко Л.А. Анализ и оценка дискретных параметрических систем методами практической устойчивости / Л.А. Панталиенко // Кибернетика и вычислительная техника. Дискретные системы управления: межведомств. сб. научн. тр. – К.: Изд-во НАНУ, 1997. – Вып.113. – С.101 – 106.
3. Панталієнко Л.А. Алгоритми побудови областей стійкості для лінійних різницевих систем, залежних від параметрів / Л.А. Панталієнко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2006. – №3– 4. – С. 61– 65.
4. Розенвассер Е.Н. Чувствительность систем управления / Е.Н. Розенвассер, Р.М. Юсупов.– М.: Наука , 1981. – 464 с.

Приведены результаты расчета областей устойчивости для оптимизационных задач с ограниченной чувствительностью. Для линейных дискретных систем рассмотрены постановки задач гарантированной чувствительности, которые охватываются алгоритмами практической устойчивости.

Дискретная система, ограниченная чувствительность, параметры, практическая устойчивость.

The results of the calculation of stability regions for optimization problems with limited sensitivity. For linear discrete systems considered problem statement guaranteed sensitivity covered algorithms practical stability.

Discrete system, limited sensitivity, parameters, the practical stability.

УДК 517.51

КОНСТРУКТИВНА ХАРАКТЕРИСТИКА КЛАСІВ ФУНКЦІЙ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬСЯ D-МОДУЛЕМ ГЛАДКОСТІ

О. Ю. Дюженкова, кандидат фізико-математичних наук

Розглянуто аналог модуля гладкості Дітзіана-Томіка – D-модуль гладкості для функцій, неперервних на кусково-гладких кривих

Висновки

На підставі алгоритмів практичної стійкості для дискретних систем розроблено методи оцінювання областей початкових умов для функцій чутливості, зв'язаних з проектуванням малочутливих систем.

Список літератури

1. Бублик Б.Н. Структурно-параметрическая оптимизация и устойчивость динамики пучков / Бублик Б.Н., Гаращенко Ф.Г., Кириченко Н.Ф. – К.: Наук. думка, 1985. – 304 с.
2. Панталиенко Л.А. Анализ и оценка дискретных параметрических систем методами практической устойчивости / Л.А. Панталиенко // Кибернетика и вычислительная техника. Дискретные системы управления: межведомств. сб. научн. тр. – К.: Изд-во НАНУ, 1997. – Вып.113. – С.101 – 106.
3. Панталієнко Л.А. Алгоритми побудови областей стійкості для лінійних різницевих систем, залежних від параметрів / Л.А. Панталієнко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2006. – №3– 4. – С. 61– 65.
4. Розенвассер Е.Н. Чувствительность систем управления / Е.Н. Розенвассер, Р.М. Юсупов.– М.: Наука , 1981. – 464 с.

Приведены результаты расчета областей устойчивости для оптимизационных задач с ограниченной чувствительностью. Для линейных дискретных систем рассмотрены постановки задач гарантированной чувствительности, которые охватываются алгоритмами практической устойчивости.

Дискретная система, ограниченная чувствительность, параметры, практическая устойчивость.

The results of the calculation of stability regions for optimization problems with limited sensitivity. For linear discrete systems considered problem statement guaranteed sensitivity covered algorithms practical stability.

Discrete system, limited sensitivity, parameters, the practical stability.

УДК 517.51

КОНСТРУКТИВНА ХАРАКТЕРИСТИКА КЛАСІВ ФУНКЦІЙ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬСЯ D-МОДУЛЕМ ГЛАДКОСТІ

О. Ю. Дюженкова, кандидат фізико-математичних наук

Розглянуто аналог модуля гладкості Дітзіана-Томіка – D-модуль гладкості для функцій, неперервних на кусково-гладких кривих

комплексної площини. Наведено конструктивну характеристику класів функцій, що характеризуються D -модулем гладкості.

Наближення функцій, комплексна площа, множини з кусково-гладкою межею, D -модуль гладкості, конструктивна характеристика.

У теорії наближень широко використовують DT -модулі гладкості (модулі гладкості Дітзіана-Тотіка) для функцій, неперервних на відрізьку $[-1;1]$ [5]. Вперше конструктивна характеристика рівномірного наближення функцій на множинах комплексної площини з кусково-гладкою межею була одержана в роботах В.К. Дзядика [1], Г.А. Алібекова, Ю.І. Волкова та ін. Вона розглядалася в термінах модулів гладкості функції $\tilde{f}(\omega) = f(\psi(\omega))$, де $\psi(\omega)$ – конформне відображення зовнішності круга на зовнішність розглядуваної множини.

Мета досліджень – поширення теорії гладкостей З.Дітзіана і В.Тотіка на множини комплексної площини з кусково-гладкою межею, вивчення властивостей аналога DT -модуля гладкості $\overline{\omega}_k(f,t)$ на областях з кутами та побудова конструктивної характеристики в термінах введеного D -модуля гладкості функції f .

Матеріали та методика досліджень. У роботі використовуються методи рівномірного наближення функцій [1,3,4], зокрема інтерполяція функцій алгебраїчними многочленами і многочленами Лагранжа.

Результати досліджень. Досліджено властивості аналога модуля гладкості Дітзіана–Тотіка для функцій, неперервних на кусково-гладких кривих комплексної площини, побудовано конструктивну характеристику класів функцій у термінах D -модуля гладкості.

Нехай M – замкнена обмежена множина комплексної площини, межа Γ якої є жордановою кривою і складається із скінченного числа гладких дуг Γ_j , які утворюють у точках стику a_j зовнішні кути $\alpha_j\pi$, $0 < \alpha_j \leq 2$. Клас таких множин позначимо через (C) .

Для всіх $z \in \Gamma$ і $h > 0$ позначимо

$$\rho_h(z) := h(|z - a_{j_*}|^{\frac{1}{\alpha_{j_*}}} + h)^{\alpha_{j_*}},$$

де j_* – індекс найближчої до z точки стику.

Розглянемо довільну точку $\tilde{z} \in \Gamma$. Нехай $U[\tilde{z}, \rho]$ – круг з центром у точці $\tilde{z}$ і радіусом ρ . Позначимо через $T(\Gamma, \tilde{z}, k, \rho)$ множину всіх наборів $Z = \{z_1, \dots, z_k\}$ із k точок, кожний з яких задовольняє умови:

$$1) z_i \in \Gamma \cap U[\tilde{z}, \rho], \quad i = \overline{1, k}$$

$$2) |z_i - z_j| \geq \frac{1}{(k+1)(k+2)} \rho, \quad i \neq j, \quad i, j = \overline{1, k}.$$

Нехай $L(z, f) := L(z, f; z_1, \dots, z_k)$ – многочлен Лагранжа степеня $\leq k-1$, який інтерполює функцію f у k різних точках $z_i \in C$, $i = \overline{1, k}$.

Означення. D -модулем гладкості порядку k на кривій Γ неперервної на Γ функції f назовемо функцію

$$\bar{\omega}_k(\tau, f, \Gamma) := \sup_{h \in [0; \tau]} \sup_{\tilde{z} \in \Gamma} \sup_{Z \in T(\Gamma, \tilde{z}, k, \rho)} |f(z_0) - L(z_0, f; z_1, \dots, z_k)|, \quad \tau \geq 0.$$

Основним результатом роботи є пряма та обернена теореми рівномірного наближення функцій на множинах $M \subset (\mathbb{C})$. Внаслідок цих теорем побудовано конструктивну характеристику класів функцій, що визначаються D -модулем гладкості.

Позначимо через $A(M)$ клас функцій, аналітичних в області $M \setminus \Gamma$ та неперервних на множині M .

Величиною найкращого рівномірного наближення неперервної на M функції f алгебраїчними многочленами $P_n = P_n(z)$ степеня $\leq n$ називається число

$$E_n(f) = E_n(f)_M = \inf_{P_n} \|f - P_n\|_M.$$

Теорема 1. Нехай $k \in \mathbb{N}$. Якщо функція $f \in A(M)$, то при кожному натуральному $n \geq k - 1$ має місце нерівність

$$E_n(f) \leq c \bar{\omega}_k\left(\frac{1}{n}, f, \Gamma\right). \quad (1)$$

Для доведення прямої теореми 1 рівномірного наближення функцій використовуються многочленні ядра Дзядика [1]. Ця теорема є наслідком теореми про властивість нормальності [2] і теореми Тамразова [3].

Неперервна і неспадна на $[0; \infty)$ функція φ називається мажорантою, якщо $\varphi(0) = 0$. Клас всіх мажорант позначимо через Φ . Нехай $\underline{\alpha}$ – найменше, а $\bar{\alpha}$ – найбільше серед чисел $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$.

Теорема 2. Нехай $k \in \mathbb{N}$, $\varphi \in \Phi$. Якщо для заданої на множині M функції f при кожному натуральному $n \geq k - 1$ виконується нерівність

$$E_n(f) \leq \varphi\left(\frac{1}{n}\right), \quad (2)$$

то має місце оцінка

$$\bar{\omega}_k(\tau, f) \leq c \tau^{\underline{\alpha}k} \int_{\tau}^{\text{diam} M} \frac{\varphi(u)}{u^{\underline{\alpha}k+1}} du, \quad 0 < \tau < \frac{1}{2} \text{diam} M. \quad (3)$$

Для доведення оберненої теореми 2 використаємо наближення функцій за допомогою алгебраїчних многочленів $P_n(z)$ та многочленів Лагранжа $L(z, f)$.

Розглянемо довільну точку $z \in \Gamma$ і позначимо $\rho := \rho_{\frac{1}{n}}(z)$. На межі Γ множини M виберемо k точок так, щоб $\{z_1, \dots, z_k\} \in T(\Gamma, z, k, \rho)$. Нехай $P_n(z)$ – многочлен степеня $\leq n$, для якого справедлива нерівність

$$|f(z) - P_n(z)| \leq 2\varphi\left(\frac{1}{n}\right), \quad z \in M. \quad (4)$$

Подамо різницю $f(z) - L(z, f)$ у вигляді

$$f(z) - L(z, f) = (f(z) - P_n(z)) - L(z, f - P_n) + (P_n(z) - L(z, P_n)). \quad (5)$$

Оцінимо кожний із доданків останньої рівності. Враховуючи нерівність (4), одержимо

$$|L(z, f - P_n)| \leq c \max_{i=1, k} |f(z_i) - P_n(z_i)| \leq c \|f - P_n\|_{\Gamma \cap U} \leq c \varphi\left(\frac{1}{n}\right). \quad (6)$$

Виберемо $l \in N$, $l_0 \in N$ так, щоб $2^l < n \leq 2^{l+1}$, $2^{l_0} < k-1 \leq 2^{l_0+1}$ і розкладемо $P_n(z)$ у суму Бернштейна

$$P_n(z) = P_{2^{l_0}}(z) + (P_{2^{l_0+1}}(z) - P_{2^{l_0}}(z)) + \dots + (P_{2^l}(z) - P_{2^{l-1}}(z)) + (P_n(z) - P_{2^l}(z)).$$

Нехай $\rho_{2^j} := \rho_{\frac{1}{2^j}}(z)$, $j = \overline{l_0, l}$. Скориставшись властивістю розділеної різниці та оцінкою В.К. Дзядика для похідної многочлена [1], маємо

$$|P_n(z) - L(z, P_n)| \leq \frac{1}{k!} \rho^k \|P_n^{(k)}\|_{\Gamma \cap U} \leq c \sum_{j=l_0}^l \frac{\rho^k}{\rho_{2^{j+1}}^k} \varphi\left(\frac{1}{2^j}\right) =: S. \quad (7)$$

Розглянувши різні випадки розташування точок на кривій Γ , отримаємо оцінку для величини S , а саме $S \leq ch^{\alpha k} \int_h^{\text{diam} M} \frac{\varphi(u)}{u^{\alpha k+1}} du$. (8)

Оскільки $\varphi(h) \leq ch^{\alpha k} \int_h^{\text{diam} M} \frac{\varphi(u)}{u^{\alpha k+1}} du$, то із подання (5) та оцінок (4), (6)–(8) випливає нерівність

$$|f(z) - L(z, f)| \leq |f(z) - P_n(z)| + |L(z, f - P_n)| + |P_n(z) - L(z, P_n)| \leq Ch^{\alpha k} \int_h^{\text{diam} M} \frac{\varphi(u)}{u^{\alpha k+1}} du$$

Тепер справедливості оцінки (3) випливає із означення D -модуля гладкості. Теорему 2 доведено.

Означення. Мажоранту φ назвемо l -мажорантою, якщо

$$\frac{\varphi(\tau_2)}{\tau_2^l} \leq \frac{\varphi(\tau_1)}{\tau_1^l}, \quad 0 < \tau_1 \leq \tau_2.$$

Множину всіх l -мажорант позначимо через Φ^l . Переформулюємо пряму теорему в термінах мажоранти φ .

Теорема 3. Нехай $k \in N$, $\varphi \in \Phi^{\alpha k}$. Якщо функція $f \in A(M)$ і

$$\bar{\omega}_k(\tau, f, \Gamma) \leq \varphi(\tau),$$

то при кожному натуральному $n \geq k-1$ має місце нерівність

$$E_n(f) \leq c \varphi\left(\frac{1}{n}\right).$$

Функція φ задовольняє типу умови Барі-Стєчка, якщо

$$h^{\underline{\alpha}k} \int_h^{\text{diam}M} \frac{\varphi(u)}{u^{\underline{\alpha}k+1}} du = O(\varphi(h)), \quad h \rightarrow 0. \quad (9)$$

Зауважимо, що із виконання умови (9) для функції $\varphi \in \Phi$ випливає $\varphi \in \Phi^{\underline{\alpha}k}$, а отже, $\varphi \in \Phi^{\bar{\alpha}k}$.

Наслідком прямої теореми 3 та оберненої теореми 2 рівномірного наближення функцій на областях з кутами є конструктивна характеристика класів функцій у термінах D-модуля гладкості.

Теорема 4. Нехай мажоранта φ задовольняє умову (9). Для того, щоб $E_n(f) = O\left(\varphi\left(\frac{1}{n}\right)\right)$, $n \rightarrow \infty$, необхідно й достатньо, щоб $f \in A(M)$ і $\bar{\omega}_k(\tau, f, \Gamma) = O(\varphi(\tau))$, $\tau \rightarrow 0$.

Зауважимо, що для функції $\varphi^\tau = \tau^\beta$, $\beta > 0$ виконується умова (30) при $k > \frac{\beta}{\underline{\alpha}}$. Тоді має місце теорема.

Теорема 5. Нехай $\beta > 0$, $k > \frac{\beta}{\underline{\alpha}}$. Для того, щоб $E_n(f) = O\left(\frac{1}{n^\beta}\right)$, $n \rightarrow \infty$, необхідно й достатньо, щоб $f \in A(M)$ і $\bar{\omega}_k(\tau, f, \Gamma) = O(\tau^\beta)$, $\tau \rightarrow 0$.

Висновки

У роботі поширено теорію модулів гладкості З.Дітзіана і В.Тотіка на функції, неперервні на кусково-гладких кривих комплексної площини. Розглянуто властивості D-модуля гладкості та наведено конструктивну характеристику класів функцій, що визначаються цим модулем.

Список літератури

1. Дзядык В.К. Введение в теорию равномерного приближения функций полиномами / В.К. Дзядык– М.: Наука, 1977.– 512 с.
2. Дюженкова О.Ю. Модулі гладкості на множинах комплексної площини з кусково-гладкою межею / О.Ю. Дюженкова // Науковий вісник НУБіП України, Серія: «Техніка та енергетика АПК» – К., 2013. – Вип.184, ч.1. – С.278–282.
3. Тамразов П.М. Гладкости и полиномиальные приближения/ П.М. Тамразов. – К.: Наук. думка, 1975. – 272с.
4. Шевчук И.А. Приближение многочленами и следы непрерывных на отрезке функций/ И.А.Шевчук. – К.: Наук. думка, 1992. – 223 с.
5. Ditzian Z. Moduli of smoothness/ Ditzian Z., Totik V. Springer-Verlag, New York/Berlin, 1987. – 300 p.

Рассмотрен аналог модуля гладкости Дитзиана-Тотика - D -модуль гладкости для функций, непрерывных на кусочно-гладких кривых комплексной плоскости. Приведена конструктивная характеристика классов функций, характеризующихся D -модулем гладкости.

Приближение функций, комплексная плоскость, множества с кусочно-гладкой границей, D -модуль гладкости, конструктивная характеристика.

We introduce the analog of modules of smoothness Ditziana-Totika - D -module of smoothness for functions on continuous piecewise smooth curves of the complex plane. We consider the structural characterization of functions classes that are characterized by D -modules of smoothness.

Function approximation, complex plane, piecewise smooth curves, D -module of smoothness, structural characterization.

УДК 517.51

ЕКВІВАЛЕНТНІСТЬ ФУНКЦІЙ, ЗАДАНИХ НА КОЛІ

**Ю.Б. Гнучій, доктор фізико-математичних наук
Т.Г. Криворот, асистент**

У термінах інваріанта розглянуто топологічну еквівалентність неперервних функцій, заданих на колі зі скінченним числом екстремумів. Інваріантом функції, що дає можливість підрахувати число топологічно нееквівалентних функцій, є $\Omega(f)$ – розбиття S^1 на дуги S_i , значення функцій в їх локальних екстремумах, що утворюють змій певного типу.

Критерій, еквівалентність, функція, многовид, екстремум, послідовності.

Питання класифікації та дослідження умов топологічної еквівалентності функцій на многовидах є важливим напрямком топології. Цією проблемою займалися В.І. Арнольд, Дж.Дженкінс, В.Каплана, С.І. Максименко, М.Морс, О.О. Пришляк, В.В. Шарко.

Мета досліджень – встановлення критерію топологічної еквівалентності функцій, що задані на колі та приймають скінченне число критичних значень.

Матеріали та методика досліджень. Для побудови інваріанта неперервних функцій, заданих на колі, використовувалися методи топології та топологічної комбінаторики. Це дало можливість підрахувати число топологічно нееквівалентних функцій. Інваріантом функції, що дає

Рассмотрен аналог модуля гладкости Дитзиана-Тотика - D -модуль гладкости для функций, непрерывных на кусочно-гладких кривых комплексной плоскости. Приведена конструктивная характеристика классов функций, характеризующихся D -модулем гладкости.

Приближение функций, комплексная плоскость, множества с кусочно-гладкой границей, D -модуль гладкости, конструктивная характеристика.

We introduce the analog of modules of smoothness Ditziana-Totika - D -module of smoothness for functions on continuous piecewise smooth curves of the complex plane. We consider the structural characterization of functions classes that are characterized by D -modules of smoothness.

Function approximation, complex plane, piecewise smooth curves, D -module of smoothness, structural characterization.

УДК 517.51

ЕКВІВАЛЕНТНІСТЬ ФУНКЦІЙ, ЗАДАНИХ НА КОЛІ

***Ю.Б. Гнучій, доктор фізико-математичних наук
Т.Г. Криворот, асистент***

У термінах інваріанта розглянуто топологічну еквівалентність неперервних функцій, заданих на колі зі скінченним числом екстремумів. Інваріантом функції, що дає можливість підрахувати число топологічно нееквівалентних функцій, є $\Omega(f)$ – розбиття S^1 на дуги S_i , значення функцій в їх локальних екстремумах, що утворюють змій певного типу.

Критерій, еквівалентність, функція, многовид, екстремум, послідовності.

Питання класифікації та дослідження умов топологічної еквівалентності функцій на многовидах є важливим напрямком топології. Цією проблемою займалися В.І. Арнольд, Дж.Дженкінс, В.Каплана, С.І. Максименко, М.Морс, О.О. Пришляк, В.В. Шарко.

Мета досліджень – встановлення критерію топологічної еквівалентності функцій, що задані на колі та приймають скінченне число критичних значень.

Матеріали та методика досліджень. Для побудови інваріанта неперервних функцій, заданих на колі, використовувалися методи топології та топологічної комбінаторики. Це дало можливість підрахувати число топологічно нееквівалентних функцій. Інваріантом функції, що дає

відповідь на поставлене питання, виступають A_{2n-1} –змії та R_m^n – змії [4].

Результати досліджень. Досліджено інваріант неперервних функцій, заданих на колі зі скінченним числом екстремумів, що дало можливість підрахувати число топологічно нееквівалентних функцій. Розглянуто загальний випадок, коли число критичних значень функції не дорівнює числу локальних екстремумів та функція має m глобальних максимумів (мінімумів). Інваріантом такої функції є $\Omega(f)$ – розбиття S^1 на дуги S_i , значення функцій в їх локальних екстремумах, утворюють L_m^n – змії

Розглянемо випадок неперервних функцій Морса із скінченним числом критичних точок (локальних екстремумів), які задані на 1-вимірному компактному многовиді без краю (колі).

Задача про знаходження числа топологічно нееквівалентних функцій Морса на колі зводиться до комбінаторики перестановок [1]. Це лише частковий випадок, виникають функції, для яких одному критичному значенню відповідає принаймні два локальних екстремуми.

Нехай X, Y — топологічні простори; $f, g: X \rightarrow Y$ неперервні відображення. Неперервне відображення $f: X \rightarrow Y$ між топологічними просторами X і Y називається гомеоморфізмом, якщо f є бієкцією та обернене відображення $f^{-1}: X \rightarrow Y$ – неперервне.

Неперервні відображення $f, g: X \rightarrow Y$ називаються топологічно еквівалентними, якщо існують гомеоморфізми $h: X \rightarrow X$ і $h': Y \rightarrow Y$, для яких виконується рівність $g \circ h = h' \circ f$.

Альтернуючі послідовності будуються згідно з послідовністю значень функції в екстремальних точках, яка задана на відрізку. В послідовностях всіх типів можливі випадки, коли не всі числа $1, 2, \dots, l$ присутні. Якщо в альтернуючій послідовності присутні всі числа $1, 2, \dots, l$, то будемо говорити, що альтернуюча послідовність відповідного типу є повною.

З визначення топологічної еквівалентності для неперервних функцій зі скінченною кількістю екстремумів випливає, що в кожному класі еквівалентності присутня невід'ємна функція, яка приймає в точках екстремумів всі цілочислові значення з множини $0, 1, 2, \dots, l$ [2, 5].

Позначимо через S^1 коло, тобто множину комплексних чисел z таких, що $|z|=1$. Розглядаємо S^1 як диференційований многовид розмірності 1. Зафіксуємо на S^1 орієнтацію і розглянемо довільну неперервну функцію f на S^1 зі скінченним числом локальних екстремумів. Точкою локального максимуму (мінімуму) функції f є точка $x^0 \in S^1$, для якої існує окіл $(-\varepsilon, \varepsilon) \subset S^1$ точки x^0 такий, що для всіх точок y з інтервалів $(-\varepsilon, x^0)$, (x^0, ε) справедлива нерівність $f(y) < f(x^0)$ ($f(y) > f(x^0)$), причому точками локального екстремуму функції f будуть всі точки локальних максимумів (мінімумів) функції f . Оскільки $\chi(S^1) = 0$ (Ейлерова характеристика), то число локальних екстремумів завжди парне (число локальних мінімумів дорівнює числу локальних максимумів).

Позначимо через m_i та M_j , $i, j = \overline{1, n}$ відповідно точки мінімуму та максимуму цієї функції. Рухаючись по колу в заданому напрямку та нумеруючи окремо локальні мінімуми та максимуми, отримаємо одну із двох можливих послідовностей, які утворюють локальні екстремуми: $M_1, m_1, M_2, m_2, \dots, M_n, m_n$ або $m_1, M_1, m_2, M_2, \dots, m_n, M_n$.

Перша послідовність справедлива тоді, коли починаємо рух з локального максимуму функції, а друга – з локального мінімуму.

Нехай деяка функція $f: S^1 \rightarrow R$ приймає в $2n$ локальних екстремумах k різних значень. Глобальним мінімумом (максимумом) назовемо локальний екстремум, що відповідає найменшому (найбільшому) значенню функції. У загальному випадку їх число скінченне.

Нехай $2n = k$.

Функція f називається спеціальною, якщо в довільних двох локальних екстремумах вона приймає різні значення.

Розглянемо S^1 та спеціальну функцію f , яка має $2n$ локальних екстремуми. Починаючи з глобального мінімуму та в заданому напрямку на S^1 , позначимо локальні екстремуми через $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{2n-1}$ та отримаємо послідовність значень функції $y_0 = f(x_0), y_1 = f(x_1), y_2 = f(x_2), \dots, y_{2n-1} = f(x_{2n-1})$, які задовольняють таку систему нерівностей:

$$y_0 < y_1 > \dots < y_{2n-3} > y_{2n-2} < y_{2n-1}. \quad (1)$$

Задамо відображення $y_i \rightarrow z_i$, де $i; z_i \in [0, 1, \dots, 2n-1]$ і z_i рівне числу значень y_i таких, що $y_i < y_j$. Числа z_i утворюють *up down* послідовність, яка визначає A_{2n-1} змію. Запишемо цю систему нерівностей у такому вигляді:

$$0 < z_1 > z_2 < \dots < z_{2n-1}. \quad (2)$$

За допомогою гомеоморфізму осі z , який змінює напрямки осі і зберігає порядок, перетворимо (2) у *up down* послідовність та отримаємо $z'_0 < z'_1 > \dots < z'_{2n-2}$, де $0 < z'_0 < 2n-3$. Звідки випливає, що число послідовностей рівне числу a_{2n-2} . Тому справедливі такі теореми.

Теорема 1. Число топологічно нееквівалентних спеціальних функцій f , заданих на S^1 , з $2n$ локальними екстремумами, рівне Tn .

Зауважимо, що змія є інваріантом цього класу функцій: топологічно нееквівалентним функціям відповідають різні змії і навпаки – кожна змія реалізує деяку функцію.

Теорема 2. Число топологічно нееквівалентних функцій f з $2n$ локальними екстремумами, серед яких лише один глобальний мінімум (максимум) та k різних значень, які приймає функція в цих екстремумах ($k < 2n$), рівне μ_{k-1}^{2n-1} .

Доведення. Не обмежуючи загальності, розглянемо випадок єдиного глобального мінімуму. Тоді, починаючи з нього та в заданому напрямку на S^1 , позначимо локальні екстремуми через $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{2n-1}$ та отримаємо таку послідовність критичних значень функцій $y_0, y_1, y_2, \dots$,

y_{2n-1} , серед яких є k різних. Задамо відображення $y_i \rightarrow z_i$, де $z_i \in [0, \dots, k]$, і z_i рівне числу критичних значень y_i таких, що $y_i < y_i$. Згідно з умовою, існує єдиний локальний екстремум – мінімум x_0 для якого $z_0=0$. Рухаючись по колу в заданому напрямку, утворимо деяку послідовність цілих чисел $0 < z_1 > z_2 < \dots < z_{2n-1}$, де $z_i \neq 0$, $z_i \leq k-1$. Тоді, згідно з означенням, це зм'я типу R_{k-1}^{2n-1} , причому лише $z_0=0$ і решта $z_i \neq 0$. Число таких змій рівне μ_{k-1}^{2n-1} .

Для доведення твердження у випадку одного глобального максимуму достатньо розглянути функцію $-f$.

Нехай $f : S^1 \rightarrow R$ деяка неперервна функція зі скінченним $(2n)$ числом локальних екстремумів, серед яких m глобальних максимумів та k різних значень, які приймає функція в $2n$ екстремумах ($k < 2n$). Зрозуміло, що тоді серед локальних екстремумів існує принаймні два, значення функції в яких збігаються.

Побудуємо комбінаторний інваріант для функції f . Зафіксуємо деякий напрямок обходу на колі і позначимо m глобальних максимумів через $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{m-1}$. Для кожного x_i знайдемо дугу S_i^0 таку, що значення функції y_i в локальних екстремумах дуги S_i^0 є різними. Причому, кінцями цих дуг будуть локальні мінімуми. Нехай $x_{1,i}$ – перший локальний екстремум (мінімум), що лежить на колі за максимумом x_i в напрямку, що протилежний до напрямку обходу, а $x^{i,1}$ перший локальний екстремум (мінімум) у напрямку, що збігається з напрямком обходу, $x_{2,i}$ і $x^{i,2}$ відповідно другі і т.д. Утворимо таку послідовність локальних екстремумів $x_{l^i,i}, \dots, x_{1,i}, x_i, x^{i,1}, \dots, x^{i,r^i+1}$ що відповідає глобальному максимуму x_i і належить дузі S_i^0 , кінцями якої є $x_{l^i,i}$ і x^{i,r^i+1} (локальні мінімуми).

Кожній такій послідовності екстремумів відповідає послідовність значень функції, оскільки вони є різними і локальний мінімум чергується з локальним максимумом, то справедлива така система нерівностей $y_{l^i,i} < \dots > y_{1,i} < y_i > y^{i,1} < \dots < y^{i,r^i}$ (відкинемо значення y^{i,r^i} , що відповідає x^{i,r^i+1}), а згідно з означенням – це елементарна зм'я $L_{k-1}^{l^i+r^i}$.

Можливі такі випадки:

- 1) $S_0^j \cap S_{j+1}^0 = \emptyset$;
- 2) $S_0^j \cap S_{j+1}^0 = x^{j,t^j+1} = x_{t^j,j+1}$;
- 3) $S_0^j \cap S_{j+1}^0 = S_{j,j+1}^0$, де $S_{j,j+1}^0 = S_0^j \cup S_{j+1}^0$.

Будемо вважати, що деякій функції f відповідає розбиття кола $\Omega(f)$ на дуги S_i , у яких кінці в локальних мінімумах, а значення функції в локальних екстремумах цих дуг, утворюють елементарні зм'ї $L_{k-1}^{a_i}$.

Лема. Для довільної функції f існує з точністю до циклічного порядку дуг S_i єдине $\Omega(f)$ розбиття.

Доведення впливає з наведених вище міркувань та однозначності побудови $\Omega(f)$ розбиття.

Теорема 3. Дві функції f та g на колі топологічно еквівалентні тоді і тільки тоді, коли $\Omega(f) \sim \Omega(g)$.

Доведення. Необхідність. Доведення необхідності впливає з леми 1 та означення топологічної еквівалентності.

Достатність. Нехай f та g – деякі функції на колі такі, що $\Omega(f) \sim \Omega(g)$, де $\Omega(f)$, $\Omega(g)$ розбиття кола, що їм відповідають. Доведемо, що функції f та g топологічно еквівалентні. Зрозуміло, що число дуг для $\Omega(f)$ та $\Omega(g)$ одне й те ж, приймемо його рівним q . Оскільки набори чисел $\{a_i\}$ і $\{b_j\}$ збігаються, то числа локальних екстремумів функцій f та g , які визначаються за допомогою рівностей $\sum_i a_i + q$ та $\sum_j b_j + q$, відповідно, рівні між собою.

Розглянемо $S_0 \subset \Omega(f)$, тоді згідно з означенням існує $S'_0 \subset \Omega(f)$ така, що $L_{k-1}^{a_0} = L_{k-1}^{b_i}$ і $a_0 = b_i$. Запишемо такі дві послідовності, що утворені елементарними зміями $(L_{k-1}^{a_0}, L_{k-1}^{a_1}, \dots, L_{k-1}^{a_q})$ та $(L_{k-1}^{b_i}, L_{k-1}^{b_{i+1}}, \dots, L_{k-1}^{b_{i-1}})$. Зрозуміло, що вони збігаються і $f \sim g$.

Позначимо через $G(2n, k)$ число топологічно нееквівалентних функцій на S^1 з $2n$ локальними екстремумами та k різними значеннями. Справедлива така оцінка $G(2n, k) < R_{2n-1}^{k-1}$, оскільки, дві різні змії задають одну і ту саму функцію на колі.

Висновки

Досліджено число топологічно нееквівалентних функцій деяких класів на колі: у випадку, коли число локальних екстремумів функції збігається з числом критичних значень, інваріантом є A_{2n-1} – змія; для функцій, які мають один глобальний мінімум (максимум) і число критичних значень яких менше числа їх локальних екстремумів, інваріантом є R_m^n – змії.

Розглянуто загальний випадок, коли число критичних значень функції не дорівнює числу локальних екстремумів та функція має m глобальних максимумів (мінімумів). Інваріантом такої функції є $\Omega(f)$ – розбиття S^1 на дуги S_i , значення функцій в їх локальних екстремумах утворюють L_m^n – змії (елементарні). Умовою топологічної еквівалентності двох функцій на колі є ізоморфізм розбиттів $\Omega(f)$ та $\Omega(g)$, що їм відповідають.

Список літератури

1. Арнольд В.И. Исчисление змей и комбинаторика чисел Бернулли, Эйлера и Спрингера групп Кокстера / В.И. Арнольд // Успехи мат. наук. – 1992. – Т.47, №1(283). – С. 3 – 45.
2. Арнольд В.И. Особенности дифференцируемых отображений. Т.1. / В.И. Арнольд, А.Н. Варченко, С.М. Гусейн-Заде. – М.: Наука, 1982. – 440с.
3. Куратовский К. Топология. Т.1. / К. Куратовский. – М.: Мир, 1966. – 594 с.

4. Куратовский К. Топология. Т.2. / К. Куратовский. – М.: Мир, 1969. – 624 с.
5. Шарко В.В. Гладкая и топологическая эквивалентность функций на поверхностях / В.В. Шарко // Укр. мат. журн. – 2003. – Т.55, №5. – С.687 – 700.

В терминах инварианта рассмотрена топологическая эквивалентность непрерывных функций, заданных на окружности с конечным числом экстремумов. Инвариантом функции, что дает возможность подсчитать число топологически неэквивалентных функций, есть $\Omega(f)$ – разбивка S^1 на дуги S_i , значение функций в их локальных экстремумах, образующих змеи определенного типа.

Критерий, эквивалентность, функция, многообразие, экстремум, последовательность.

In terms of the invariants considered topological equivalence of continuous functions defined on a circle with a finite number of extrema. Invariant function, which enables to calculate the number of topologically different functions, there is $\Omega(f)$ – on the partition S^1 arc S_i , value functions in their local extrema forming snake

Criterion, equivalence, function, diversity, extremum, sequence.

UDC 620.92

ANALYSIS SOLAR WATER-HEATING SYSTEMS ON THE BASIS OF EVACUATED TUBE COLLECTORS

***L. Martyniuk, PG students
V. Kozyrsky, doctor of technical science***

This paper presents main aspects the use of solar systems for heating domestic water on the example standard solar installation constructed as an object of o research in Education and Research Institute of Energetics Automatics and Energy Saving (NULES Ukraine). Obtained charts with the input and output temperature of vacuum solar collector.

Solar energy, hot water systems, collector efficiency, vacuum solar collector.

Solar hot water system comprises several innovations and many mature renewable energy technologies, which have been accepted in most countries for many years. Nowadays, the demand on heat energy has increased, and it is the natural, safe and costless process to collect hot water by solar radiations. There are many applications of the hot water heated by the solar radiations. Where the solar hot water is used in the domestic purposes, it also is used in industrial applications, e.g. used for electricity generation [1].

The effective sunshine occurs only about 5–6 h per day and since

4. Куратовский К. Топология. Т.2. / К. Куратовский. – М.: Мир, 1969. – 624 с.
5. Шарко В.В. Гладкая и топологическая эквивалентность функций на поверхностях / В.В. Шарко // Укр. мат. журн. – 2003. – Т.55, №5. – С.687 – 700.

В терминах инварианта рассмотрена топологическая эквивалентность непрерывных функций, заданных на окружности с конечным числом экстремумов. Инвариантом функции, что дает возможность подсчитать число топологически неэквивалентных функций, есть $\Omega(f)$ – разбивка S^1 на дуги S_i , значение функций в их локальных экстремумах, образующих змеи определенного типа.

Критерий, эквивалентность, функция, многообразие, экстремум, последовательность.

In terms of the invariants considered topological equivalence of continuous functions defined on a circle with a finite number of extrema. Invariant function, which enables to calculate the number of topologically different functions, there is $\Omega(f)$ – on the partition S^1 arc S_i , value functions in their local extrema forming snake

Criterion, equivalence, function, diversity, extremum, sequence.

UDC 620.92

ANALYSIS SOLAR WATER-HEATING SYSTEMS ON THE BASIS OF EVACUATED TUBE COLLECTORS

***L. Martyniuk, PG students
V. Kozyrsky, doctor of technical science***

This paper presents main aspects the use of solar systems for heating domestic water on the example standard solar installation constructed as an object of o research in Education and Research Institute of Energetics Automatics and Energy Saving (NULES Ukraine). Obtained charts with the input and output temperature of vacuum solar collector.

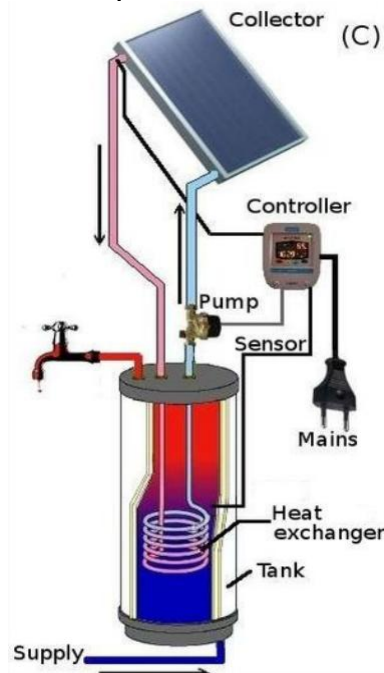
Solar energy, hot water systems, collector efficiency, vacuum solar collector.

Solar hot water system comprises several innovations and many mature renewable energy technologies, which have been accepted in most countries for many years. Nowadays, the demand on heat energy has increased, and it is the natural, safe and costless process to collect hot water by solar radiations. There are many applications of the hot water heated by the solar radiations. Where the solar hot water is used in the domestic purposes, it also is used in industrial applications, e.g. used for electricity generation [1].

The effective sunshine occurs only about 5–6 h per day and since

heating and hot water loads occur up to 24 h a day. Some type of energy storage system is needed when using the solar energy. Practical experiences in the industry as well as computer simulations and experiments have resulted in rules of thumb for storage sizing. These guidelines provide storage sizes for which the optimized and relatively insensitive to changes within the range indicated [2].

Materials and methods research. Most solar water-heating systems for buildings consist of a solar collector, a storage tank, circuit pump and a control system (pic.1). The most common collector used in solar hot water systems is the flat-plate collector (FPC), but evacuated tube collectors (ETC) are gaining in popularity as their price comes down, and they are more efficient than FPC's at the higher temperature differences expected in winter.

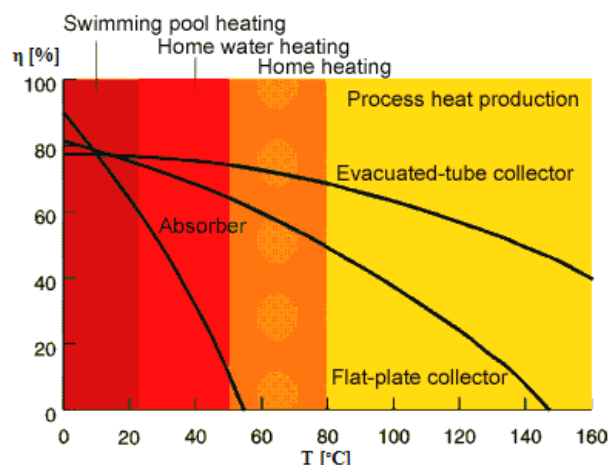


Pic. 1. Typical solar water-heating systems

Solar system is controlled by solar controller SR1188. Controller compares the temperature between collector T1 and storage tank T2 (bottom part), if the temperature difference (DT) rises up to the preset switch-on DT (DTon) or is over it, circuit pump is triggered, and then storage is heated until DT drops to the switch-off DT (DToff) or when the storage temperature rises up to its preset maximum temperature. Then circuit pump is ceased.

For the home water heating evacuated tube solar collector can achieve efficiency (pic. 2) close to the 80% (within solar radiation: 1000W/m²).

Our investigation was analyzed with the real experimental data. Solar system for heating the domestic water with one vacuum tube collector (pic.3) has also high efficiency (almost 70%).



Pic. 2. Graph of efficiency and temperature ranges of various types of collectors (radiation: 1000 W/m^2)

The ambient temperatures for each investigated day were from $-1,4$ to 8 $^{\circ}\text{C}$ with the solar radiation from 746 to 843 $[\text{W/m}^2]$. High efficiency depends mostly on solar dose of radiation. Vacuum tube collector (compared with flat plate solar collector) passively track the sun through the day. Besides special reflector behind the tubes with an optimally located focus point directs solar radiation onto the absorber tubes in an ideal way, even when the radiation angles are different.

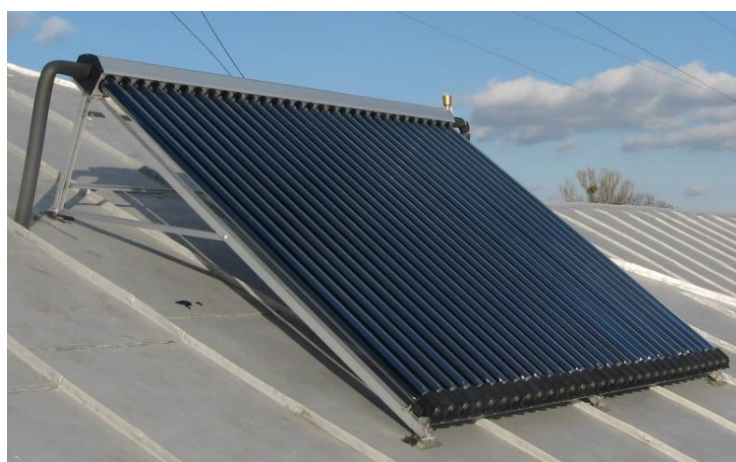


Fig.3. General view a vacuum tube solar collector that installed on the roof building № 8 Education and Research Institute of Energetic, Automatic and Energy Saving

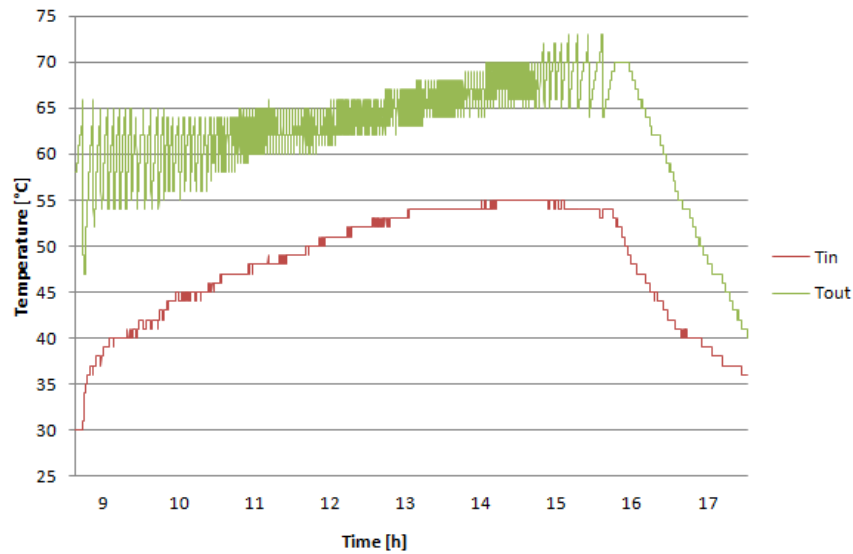
For the reliable analysis the data about the daily temperature and dose of solar radiation are also needed. The daily temperatures are read from Central Geophysical Observatory in Kiev (Ukraine). The average daily solar irradiance is calculated by on-line calculator from the International Geographical Information System site.

There were compared three days from the autumn and winter season. Solar collector efficiency was determined for each day selected for analysis [3]:

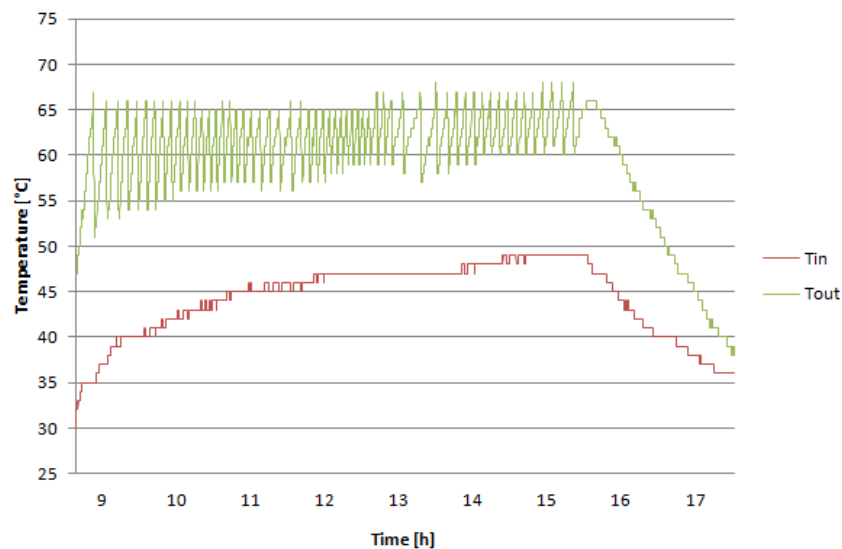
$$\eta_{s,c} = \eta_{on} - k_1 \frac{T_{s,c} - T_a}{q_c} - k_2 \frac{(T_{s,c} - T_a)^2}{q_c}, \quad (1)$$

where: $\eta_{s,c}$ – solar collector efficiency; η_o – solar collector optical efficiency; k_1 , k_2 – empirical coefficients; q_c – heat flux density, W/m²; $T_{s,c}$ – output temperature of solar collector, °C; T_a – ambient temperature, °C.

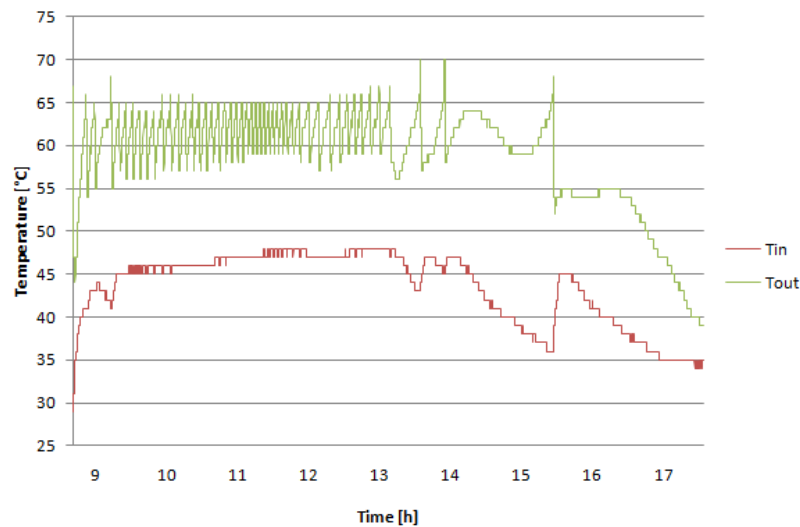
Results. The results of three compared days (18.11.2013, 14.12.2013 and 07.01.2014) were presented by charts and table. There were chosen days with very good weather conditions. The charts with the input and output temperature of solar collector (pic. 4-6) were presented from 9 a.m. to 5 p.m., because of the highest operational conditions for the solar system [4].



Pic. 4. Inlet (Tin) and outlet (Tout) temperature of the vacuum tube collector on 18.11.2013



Pic. 5. Inlet (Tin) and outlet (Tout) temperature of the vacuum tube collector on 14.12.2013



Pic. 6. Inlet (Tin) and outlet (Tout) temperature of the vacuum tube collector on 07.01.2014

Parameters like solar collector optical efficiency, empirical coefficients and heat flux density are constant for each kind of solar collector. For vacuum tube solar collector with 30 tubes and aperture area $2,81 \text{ m}^2$ it is shown in the table 1. Output temperature of the solar collectors for each day (12:00) was about 65°C . The ambient temperature was different for each day. The solar irradiance (G) is read at 12:00 for each day. Solar collector efficiency oscillated from 0,67 to 0,69.

Tab.1. Parameters and appearance of the solar collector for each investigated day

Parameter	Date		
	18.11.2013	14.12.2013	07.01.2014
η_o	0,76		
k_1	1,362		
k_2	0,002		
$q_c [\text{W/m}^2]$	1000		
$T_{s,c} [^\circ\text{C}]$	65		
$T_a [^\circ\text{C}]$	8	-1,4	0,1
$G [\text{W/m}^2]$	843	746	804
$\eta_{s,c}$	0,69	0,67	0,68

Conclusions

For the autumn-winter period the solar collector efficiency for the days with very good weather conditions reached nearly 70%. The highest efficiency was at particular point (or period, as 'DT' was almost constant from 10 a.m. to 3 p.m.) of the day, when operational conditions of solar collector were the highest.

The average efficiency of the solar system for the all autumn-winter period will be probably about 30%, maybe less, because of different and hard weather conditions (mostly cloudy, windy and cold days). About 20% of all

days from this period can achieve high efficiency, but it is possible.

For the home water heating evacuated tube solar collector can achieve efficiency close to 80% (within solar radiation 1000W/m^2). Our investigation was conducted using the real experimental data. Solar system for heating the domestic water with one vacuum tube collector has also high efficiency (almost 70%). So it is well verified.

References

1. Wu S, Fang G, Liu X. *Dynamic discharging characteristics simulation on solar heat storage system with spherical capsules using paraffin as heat storage material*. *Renewable Energy* 2011; 36:1190–5.

2. I. Publishing, *Solar Energy*, 2011, Chapter 15: <http://www.tpub.com/content/construction/14259/index.htm>;

3. Nakorczewsyj A.Y. *The calculation of the absorbing ability of solar collectors area* // *Industrial Thermal Engineering*, 2009. – 31/2. – P. 70-75

4. Aleksiejuk J., Obstawski P. *The use of parametric identification in modelling the dynamic labor of the vacuum tube collectors*. *Polish Solar Energy* 2-3/2011. – P. 27-32.

В статті представлені основні аспекти використання сонячних систем для нагрівання води для побутових потреб на прикладі стандартної сонячної установки, створеної як об'єкт дослідження в Навчально-науковому інституті енергетики, автоматики та енергозбереження НУБіП України. Отримані діаграми вхідної і вихідної температури вакуумного сонячного колектора.

Сонячна енергія, гаряче водопостачання, ефективність колектора, вакуумний сонячний колектор.

В статье представлены основные аспекты использования солнечных систем для нагрева воды для бытовых нужд на примере стандартной солнечной установки, созданной как объект исследования в Учебно-научном институте энергетики, автоматики и энергосбережения НУБиП Украины. Получены диаграммы входящей и выходящей температуры вакуумного солнечного коллектора.

Солнечная энергия, горячее водоснабжение, эффективность коллектора, вакуумный солнечный коллектор.